

Volume 8 Nomor 3 Tahun 2024
D e s e m b e r 2 0 2 4

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.

Pengaruh faktor hidrologi terhadap pencemaran sampah padat di sungai (Studi kasus: Sungai Citarum, Jawa Barat)

The influence of hydrological factors on solid waste pollution in rivers (Case study: Citarum River, West Java)

Jauhar Zainalarifin^{1,2,3*}, Hefni Effendi^{2,3}, Taryono³

¹Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan, IPB University, Bogor, Indonesia

²Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, IPB University, Bogor, Indonesia

³Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, IPB University, Bogor, Indonesia

Abstrak.

Faktor hidrologi sungai diduga mempengaruhi tingkat pencemaran sampah padat yang terjadi di Sungai Ciliwung, hal tersebut menjadi salah satu permasalahan yang menyebabkan penurunan kualitas air sungai serta mengancam kesehatan lingkungan sekitar. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh faktor hidrologi terhadap kondisi pencemaran sampah padat di sungai tersebut. Penelitian dilakukan pada April-Juni dan Agustus-November 2021 di lima lokasi pemantauan yang tersebar di Kabupaten Bandung, Kabupaten Bandung Barat, Kabupaten Purwakarta dan Kabupaten Bekasi. Analisis yang digunakan berupa regresi linear dengan peubah lebar sungai (X_1), tinggi muka air (X_2) dan kecepatan arus (X_3) terhadap kelimpahan sampah padat (Y). Model persamaan yang diperoleh dari analisis tersebut adalah $Y = 0,0394 - 0,0041 X_1$ dengan nilai koefisien determinasi sebesar 9,33% dan koefisien korelasi yang mencapai 30,55%. Penelitian ini membuktikan bahwa semakin sempit lebar sungai maka dapat meningkatkan kelimpahan sampah padat. Meskipun faktor hidrologi mempengaruhi kelimpahan sampah padat, namun pengaruh yang lebih kuat diduga berasal dari faktor perilaku manusia yang membuang sampah secara langsung ke sungai.

Kata kunci: kelimpahan sampah padat, faktor hidrologi, Sungai Ciliwung

Abstract.

River hydrological factors are thought to influence the level of solid waste pollution that occurs in the Ciliwung River, this is one of the problems that causes a decline in river water quality and threatens the health of the surrounding environment. This research aims to analyze the influence of hydrological factors on the condition of solid waste pollution in the river. The research was conducted in April-June and August-November 2021 at five monitoring locations spread across Bandung Regency, West Bandung Regency, Purwakarta Regency and Bekasi Regency. The analysis used is a linear regression with the river width (X_1), water level (X_2) and current speed (X_3) on solid waste reporting (Y). The analytical equation model obtained from this is $Y = 0.0394 - 0.0041 X_1$ with a coefficient of determination value of 9.33% with a correlation coefficient reaching 30.55%. This research proves that narrow river width can increase the distribution of solid waste. Although hydrological factors influence forest ecosystems, a stronger influence is thought to come from human behavior factors that throw rubbish directly into rivers.

Keywords: solid waste abundance, hydrological factors, Ciliwung River

1. PENDAHULUAN

Pencemaran sampah yang terjadi di Sungai Citarum merupakan salah satu permasalahan lingkungan perairan yang dapat memberikan dampak negatif terhadap makhluk hidup dan lingkungan sekitar. Pencemaran tersebut diduga berasal dari limbah domestik dan industri yang berdiri di sekitar aliran sungai (Djuwita *et al.* 2021). Secara umum timbunan sampah padat di badan air sungai berasal dari aktivitas manusia yang kurang peduli terhadap kelestarian sungai dan sebagian besar dilakukan oleh masyarakat di sekitar aliran sungai (Kaza *et al.* 2018).

* Korespondensi Penulis
Email : jauharzainalarifin@apps.ipb.ac.id

Dampak timbunan sampah yang muncul di permukaan air sungai dapat menurunkan kualitas air dan mengganggu kesehatan lingkungan perairan, termasuk mengganggu biota akuatik yang hidup di dalam kolom perairan (Owa 2013). Limbah yang masuk ke dalam lingkungan perairan mengandung bahan pencemar perairan berupa gas, bahan terlarut dan partikulat (Effendi 2003, 2016). Pencemaran sampah padat pada lingkungan perairan sungai dapat ditandai dengan menurunnya konsentrasi oksigen terlarut yang dapat mempengaruhi proses metabolisme organisme perairan. Benbow *et al.* (2020) menyatakan bahwa proses dekomposisi secara anaerob dapat terjadi ketika kandungan oksigen terlarut dalam perairan habis, sehingga dapat menyebabkan kematian pada biota perairan karena toksik yang dihasilkan dari senyawa yang tidak stabil.

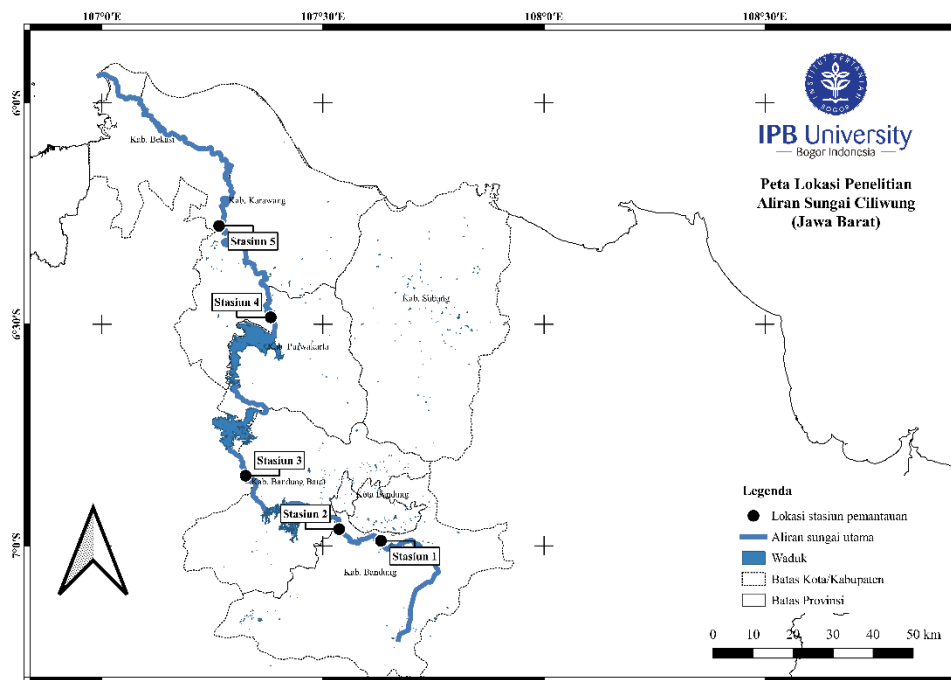
Faktor hidrologi sungai dapat mempengaruhi kondisi perairan yang mengalir, terutama debit sungai. Kondisi hidrologi sungai yang bervariasi dari hulu hingga hilir sungai menyebabkan terjadinya perubahan kondisi lingkungan. Hal tersebut secara umum disebabkan perbedaan kondisi geologi sehingga mempengaruhi kualitas air sungai, keberadaan biota perikanan dan ekosistem perairan (Zhao *et al.* 2020). Kondisi hidrologi tersebut merupakan faktor pendukung penting dalam ekosistem sungai karena berperan dalam mempengaruhi proses perubahan energi, interaksi biologi dan kondisi fisik habitat. Menurut Guo *et al.* (2022), aktivitas manusia memegang peran penting dalam perubahan kondisi hidrologi sungai. Faktor lain yang dapat mempengaruhi perubahan kondisi hidrologi sungai yaitu curah hujan dan potensi evapotranspirasi.

Pencemaran sampah padat yang terjadi di Sungai Citarum secara umum disebabkan oleh aktivitas manusia. Kondisi perairan sungai yang mengalir dari hulu hingga hilir memiliki peran penting dalam menentukan kondisi hidrologi sungai. Perubahan kondisi hidrologi sungai tersebut diduga dapat mempengaruhi tingkat pencemaran sampah padat di sungai. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh faktor hidrologi terhadap kondisi pencemaran sampah padat di Sungai Citarum.

2. METODOLOGI

2.1. Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai bulan April hingga Juni dan Agustus hingga November 2021. Pengambilan contoh dilakukan setiap bulan dengan tiga kali ulangan, yaitu pagi, siang dan sore pada lima stasiun pemantauan. Lokasi pengambilan dilakukan pada sungai utama (Sungai Citarum) dan anak sungai (Sungai Cibeet dan Sungai Cikapundung) yang terletak di Kabupaten Bandung, Kabupaten Bandung Barat, Kabupaten Purwakarta dan Kabupaten Bekasi (**Gambar 1**).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian pada aliran Sungai Citarum, Jawa Barat.

2.2. Pengumpulan data

2.2.1. Pengambilan contoh sampah padat

Pengambilan contoh sampah padat dilakukan menggunakan *framed pocket net* (FPN) yang berukuran 2 m x 1 m x 2 m. FPN ditempatkan pada bagian tengah dan pinggir aliran sungai dan ditingkatkan selama 10-30 menit sehingga sampah yang mengalir di permukaan terkumpul di jaring. Contoh sampah padat tersebut kemudian diangkat, dikeringkan dan diukur bobotnya menggunakan neraca digital.

2.2.2. Pengambilan data hidrologi sungai

Data hidrologi sungai yang diambil secara langsung adalah lebar sungai, tinggi muka air (TMA) dan kecepatan arus. Pengukuran lebar sungai dan TMA dapat menggunakan alat pengukur berskala, sementara kecepatan arus diperoleh menggunakan alat *flow meter*. Debit air merupakan data hidrologi yang dapat diketahui berdasarkan perhitungan luas penampang sungai dan kecepatan arus dengan **Persamaan 1** berikut.

$$Q = A \times v \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

Q = Debit air sungai (m³/s)

A = Luas penampang sungai (m²)

v = Kecepatan arus (m/s)

2.3. Prosedur analisis data

2.3.1. Perhitungan kelimpahan sampah padat

Kelimpahan sampah padat dihitung berdasarkan bobot contoh sampah yang ditemukan, kemudian distandarkan terhadap kondisi debit yang terjadi. Perhitungan tersebut merupakan modifikasi perhitungan kelimpahan plankton di perairan berdasarkan APHA (2017). Kondisi debit sungai berbeda setiap stasiun pemantauan, sehingga dalam pendugaan kelimpahan sampah padat perlu dikonversi melalui penyetaraan waktu pengukuran yaitu selama satu jam. Hal tersebut menyebabkan dalam perhitungan rumus dilakukan penyetaraan waktu pengamatan selama 60 menit atau setara dalam satu jam. Perhitungan kelimpahan sampah padat tersebut dapat diperoleh melalui **Persamaan 2** berikut.

$$D = \frac{N}{As} \times \frac{60}{t} \times \frac{Ac}{Q} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

D = Kelimpahan sampah padat (kg/m³/jam)

N = Bobot total sampah padat (kg)

As = Luas penampang FPN yang dimasuki sampah padat (m²)

t = Waktu pengamatan (menit)

Ac = Luas penampang sungai (m²)

Q = Debit air sungai (m³/s)

2.3.2. Analisis pengaruh faktor hidrologi

Analisis pengaruh faktor hidrologi terhadap kelimpahan sampah padat menggunakan Uji Regresi Linear Berganda (RLB) yang ditunjukkan **Tabel 1**. RLB digunakan untuk menentukan hubungan peubah terikat dengan peubah bebas yang jumlahnya lebih dari satu (Padilah dan Adam 2019). Peubah pengujian tersebut berupa lebar sungai (X_1), TMA (X_2) dan kecepatan arus (X_3) terhadap kelimpahan sampah padat (Y). Analisis dilakukan menggunakan *software* Microsoft Excel 365.

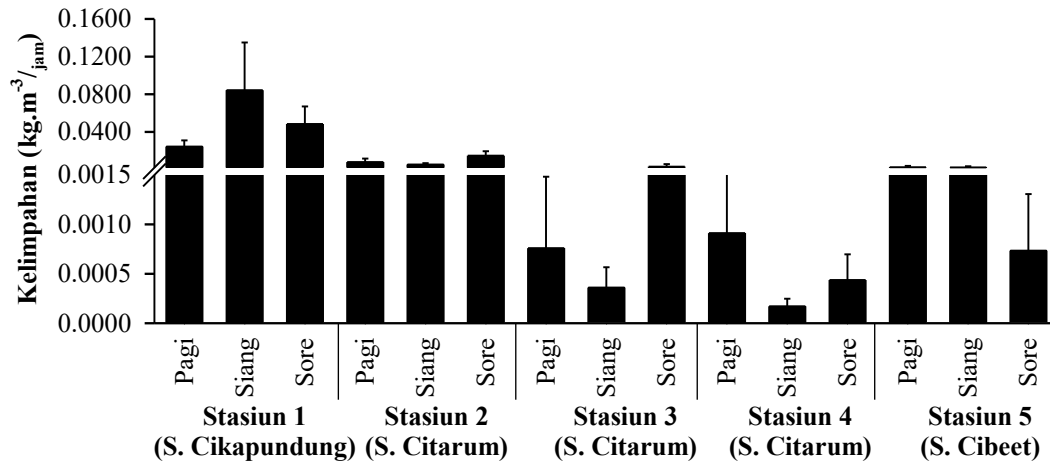
Tabel 1. Uji regresi linear pada beberapa peubah.

Uji regresi	Model persamaan	Peubah	Keterangan
Regresi linear berganda	$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \varepsilon$	X_1	Lebar sungai
		X_2	Tinggi muka air
		X_3	Kecepatan arus
		Y	Kelimpahan sampah padat

Y = peubah terikat, yaitu rata-rata kelimpahan sampah padat; X = peubah bebas; a = konstanta; b = koefisien regresi; ε = error term.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

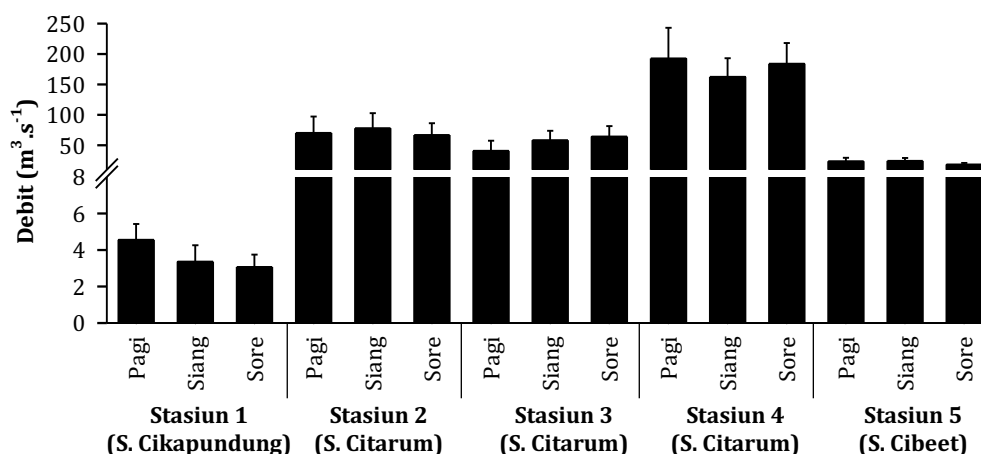
Kelimpahan sampah padat dan kondisi hidrologi yang terpantau di Sungai Citarum menunjukkan kondisi yang berfluktuasi (**Gambar 2**). Kelimpahan sampah padat tertinggi terjadi di Stasiun 1 (Sungai Cikapundung) yang nilainya mencapai $0,0522 \pm 0,0180$ kg/m³/jam, sementara yang terendah terjadi di Stasiun 4 (Sungai Citarum) yang hanya mencapai $0,0005 \pm 0,0002$ kg/m³/jam. Stasiun 1 (Sungai Cikapundung) merupakan anak Sungai Citarum yang melewati wilayah perkotaan yaitu Kota Bandung dan Kabupaten Bandung. Kondisi aliran di sekitar sungai tersebut didominasi dari banyaknya rumah-rumah warga, pasar dan beberapa industri skala kecil yang dibangun di sepanjang aliran. Menurut Aguilar *et al.* (2021), tingginya jumlah penduduk yang tinggal di sekitar aliran sungai mengindikasikan adanya aktivitas pembuangan sampah secara langsung ke sungai, sehingga dapat meningkatkan kelimpahan sampah padat.



Gambar 2. Kelimpahan sampah padat yang terjadi di Sungai Citarum.

Debit sungai yang terjadi selama pemantauan cenderung berfluktuasi di setiap ruas sungai (**Gambar 3**). Debit sungai tertinggi cenderung terjadi di Stasiun 4 (Sungai Citarum) yang mencapai 162-193 m³/s, sementara debit terendah cenderung terjadi di Stasiun 1 (Sungai Cikapundung) yang hanya mencapai 3-4 m³/s. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat gap debit yang besar antar ruas sungai karena variasi jenis sungai yang berbeda pada stasiun pemantauan. Alif *et al.* (2019) menyatakan bahwa kondisi debit yang terjadi di suatu ruas sungai menjadi faktor penentu dalam melakukan pengelolaan daerah aliran sungai di suatu wilayah.

Kondisi hidrologi yang terjadi di Sungai Citarum cenderung berfluktuasi, namun jika ditinjau berdasarkan jenis alirannya maka aliran utama memiliki kondisi debit yang lebih tinggi dari anak sungai. Secara umum, kondisi sungai terbesar dalam lima stasiun tersebut adalah Stasiun 4 yang merupakan aliran utama Sungai Citarum, sementara yang terkecil adalah Stasiun 1 yang merupakan anak sungai yaitu Sungai Cikapundung. Depetris (2021) menyatakan bahwa debit sungai dapat mendeteksi perubahan kondisi iklim dan lingkungan karena dapat merepresentasikan beberapa kondisi seperti kualitas air, iklim, kondisi biologi, geologi dan topografi.



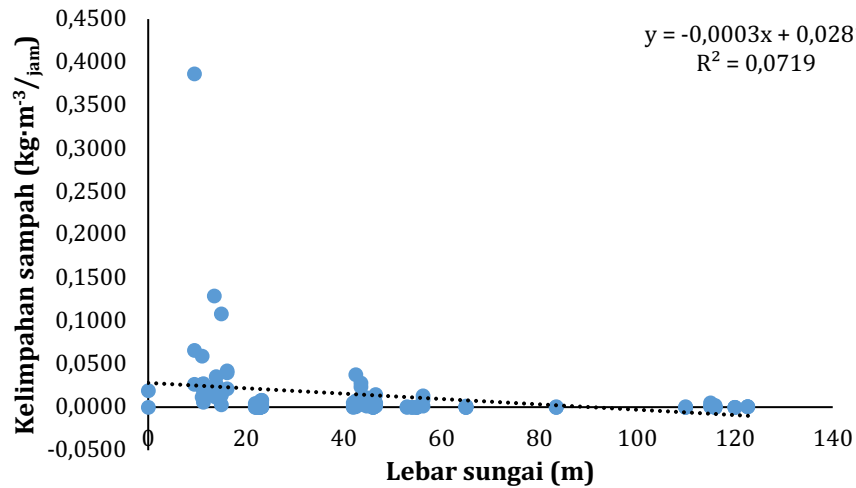
Gambar 3. Debit yang terukur pada setiap ruas sungai.

Kondisi debit di aliran Sungai Citarum menunjukkan kondisi yang selaras dengan lebar sungai, tinggi muka air dan kecepatan arus yang merupakan faktor yang diperhitungkan dalam menentukan nilai debit (**Tabel 2**). Oleh karena itu, perbedaan kondisi hidrologi tersebut diduga memiliki pengaruh terhadap kelimpahan sampah padat yang mengalir di Sungai Citarum.

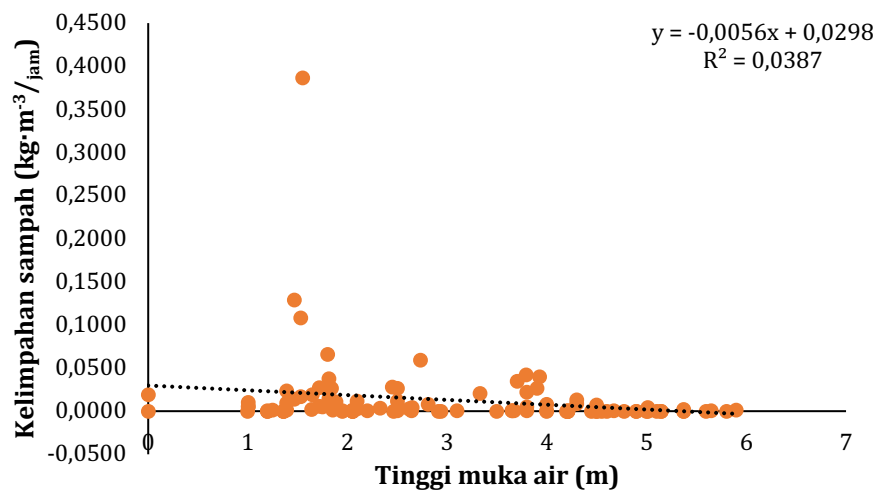
Tabel 2. Hasil pemantauan kelimpahan sampah padat dan kondisi hidrologi sungai.

Stasiun pemantauan	Debit (m^3/s)	Lebar sungai (m)	Tinggi muka air (m)	Kecepatan Arus (m/s)
Stasiun 1	$3,66 \pm 2,02$	$12,95 \pm 2,40$	$2,41 \pm 0,96$	$0,11 \pm 0,02$
Stasiun 2	$71,84 \pm 61,53$	$45,89 \pm 4,73$	$2,07 \pm 0,99$	$0,68 \pm 0,17$
Stasiun 3	$58,36 \pm 32,27$	$54,28 \pm 8,67$	$2,93 \pm 1,93$	$0,43 \pm 0,16$
Stasiun 4	$179,23 \pm 97,42$	$111,88 \pm 13,13$	$3,76 \pm 1,06$	$0,39 \pm 0,15$
Stasiun 5	$23,21 \pm 11,50$	$22,80 \pm 0,54$	$3,97 \pm 0,73$	$0,25 \pm 0,11$
Rata-rata	$67,26 \pm 38,95$	$49,56 \pm 5,05$	$3,03 \pm 0,46$	$0,37 \pm 0,05$

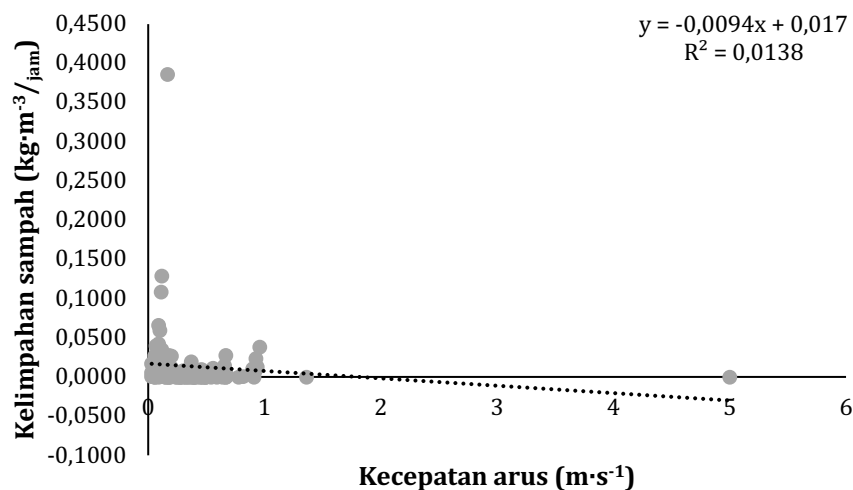
Jika ditinjau berdasarkan hubungan antara kelimpahan sampah padat dan faktor hidrologi sungai, kondisi yang terjadi menunjukkan hubungan yang negatif. Baik pada faktor lebar sungai (**Gambar 4**), tinggi muka air (**Gambar 5**) dan kecepatan arus (**Gambar 6**) memiliki hubungan pengaruh yang negatif terhadap nilai kelimpahan sampah. Berdasarkan hal tersebut dapat dinyatakan bahwa setiap penurunan lebar sungai, tinggi muka air dan kecepatan arus dapat meningkatkan jumlah timbunan sampah padat di permukaan sungai. Meskipun demikian, perlu dilakukan analisis lebih lanjut terkait pengaruh faktor hidrologi terhadap kelimpahan sampah padat.



Gambar 4. Hubungan antara lebar sungai dengan kelimpahan sampah padat di Sungai Citarum.



Gambar 5. Hubungan antara tinggi muka air dengan kelimpahan sampah padat di Sungai Citarum.



Gambar 6. Hubungan antara kecepatan arus dengan kelimpahan sampah padat di Sungai Citarum.

Analisis pengaruh faktor hidrologi sungai terhadap kelimpahan sampah padat melalui uji regresi linear dengan tiga peubah bebas yaitu lebar sungai (X_1), tinggi muka air (X_2) dan kecepatan arus (X_3) (**Tabel 3**). Nilai F hitung dalam analisis tersebut menunjukkan nilai yang lebih besar dari F tabel, hal tersebut mengindikasikan bahwa terdapat setidaknya satu faktor hidrologi sungai yang memiliki pengaruh terhadap kelimpahan sampah padat. Jika ditinjau lebih lanjut, maka diperoleh nilai *p-value* dalam analisis tersebut menunjukkan salah satu faktor hidrologi yang memiliki pengaruh terhadap kelimpahan sampah padat yaitu lebar sungai pada selang kepercayaan 95%.

Tabel 3. Hasil uji regresi linear.

	db	JK	KT	F hit	F tab
Regresi	3	0,0169	0,0056	3,4664	1,3855
Sisa/galat	101	0,1646	0,0016		
Total	104	0,1816			

	Coefficients	Standard error	t Stat	P-value
Intercept	0,0394	0,0099	3,9873	0,0001
X_1 (Lebar sungai)	-0,0003	0,0001	-2,1537	0,0336*
X_2 (Tinggi muka air)	-0,0041	0,0028	-1,4729	0,1439
X_3 (Kecepatan arus)	-0,0043	0,0079	-0,5415	0,5893

*Berpengaruh nyata karena *p-value* lebih kecil dari $\alpha=0.05$.

Pengaruh faktor hidrologi yang terjadi di Sungai Citarum tersebut dapat diilustrasikan melalui model persamaan: $Y = 0,0394 - 0,0041 X_1$. Jika ditinjau dari nilai koefisien determinasi (R^2), maka berdasarkan model persamaan tersebut dapat dimaknai bahwa kelimpahan sampah padat di Sungai Citarum dipengaruhi oleh lebar sungai dan tinggi muka air sebesar 9,33%. Namun dalam persamaan tersebut nilai koefisien korelasi (r) hanya mencapai 30,55%, sehingga persamaan tersebut dinilai lemah dalam menggambarkan kondisi nyata pengaruh faktor hidrologi terhadap kelimpahan sampah padat di sungai.

Hubungan lebar sungai terhadap kelimpahan sampah padat memiliki kondisi yang cenderung negatif. Lebar sungai tersebut berpengaruh negatif terhadap kelimpahan sampah padat, yaitu semakin rendah nilai faktor tersebut maka dapat meningkatkan nilai kelimpahan sampah padat yang mengalir di sungai. Menurut Mattotorang (2019), faktor hidrologi sungai dapat mempengaruhi kondisi debit sungai, jika kondisinya semakin besar maka dapat menyebabkan gerusan pada tebing dan dasar sungai sehingga memicu proses erosi dan deposisi dalam tubuh sungai.

Jenis timbunan sampah padat yang ditemukan pada daerah aliran sungai secara umum didominasi jenis sampah anorganik yang berbentuk potongan sampah plastik, kain, besi, pampers dan jenis sampah organik seperti potongan kayu (Zainalarifin *et al.* 2023). Penggunaan bahan-bahan berbasah dasar plastik banyak digunakan masyarakat untuk berbagai keperluan karena kepraktisan dan bentuk yang dapat dimodifikasi (Liu *et al.* 2019). Bobot sampah plastik yang ringan mengakibatkan mudah terapung pada permukaan aliran sungai, sehingga secara visual dapat diamati secara langsung (Moningga *et al.* 2021). Prayoga *et al.* (2023) menyatakan bahwa timbunan sampah padat yang ditemukan tersebut diduga dapat mengganggu kualitas perairan sungai melalui peningkatan kandungan bahan organik dan peningkatan kekeruhan pada sungai.

Timbunan sampah padat yang ditemukan di aliran sungai dipengaruhi kuat akibat perilaku manusia yang membuang sampah secara langsung ke aliran tersebut. Produktivitas sampah dapat dipengaruhi oleh tingkat penduduk yang tinggal di suatu wilayah (Aguilar *et al.* 2021). Penelitian Alpiyah (2022) membuktikan bahwa jarak tempat tinggal dengan aliran sungai dapat memungkinkan masyarakat untuk melakukan tindakan membuang sampah ke sungai. Pencemaran yang terjadi di aliran sungai banyak bersumber dari limbah industri dan rumah tangga (Djuwita *et al.* 2021). Menurut Aprilia *et al.* (2022), kondisi sungai yang mengalami pencemaran dapat diindikasikan dari parameter kualitas air yang tidak memenuhi baku mutu, seperti kandungan oksigen yang rendah dan kandungan bahan organik yang tinggi.

Sumber pencemar pada sungai yang melewati kawasan perkotaan secara umum berasal dari aktivitas manusia, terutama pada kegiatan rumah tangga, hotel, rumah sakit, restoran dan industri skala kecil (Effendi *et al.* 2021). Meskipun manusia menjadi faktor utama dalam menentukan tingkat kelimpahan sampah padat yang ditemukan di aliran sungai, faktor hidrologi juga dapat mempengaruhi kelimpahan sampah padat tersebut terutama lebar dan tinggi muka air. Oleh karena itu, pengelolaan lingkungan perairan dalam menghadapi masalah pencemaran sampah tersebut perlu diperkuat dengan melibatkan berbagai *stakeholder* dalam menghadapi permasalahan tersebut.

4. KESIMPULAN

Faktor hidrologi sungai terutama lebar sungai dapat mempengaruhi kelimpahan sampah padat, yaitu semakin sempit lebar sungai maka dapat meningkatkan kelimpahan sampah padat di Sungai Citarum. Model hubungan persamaan lebar dan tinggi muka air terhadap tingkat kelimpahan sampah padat tersebut dapat dipercaya pada selang kelas 95%, namun hanya memiliki pengaruh sebesar 9,33% dengan hubungan linear yang cenderung lemah.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada beberapa institusi berikut: Norwegian Institute for Water Research (NIVA) yang telah memberikan pendanaan riset kepada ASEANO Project untuk melakukan aktivitas penelitian; Pusat Penelitian Lingkungan Hidup IPB University (PPLH-IPB) yang telah melaksanakan aktivitas pemantauan riset sampah plastik pada 2021; dan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi-Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia yang telah memberikan kesempatan beasiswa pendidikan kepada penulis melalui Program Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU).

6. DAFTAR PUSTAKA

Aguilar JAA, Valencia MNR, Aguilar HAN, Hernández RFG, Salinas RIM and Lara CMG. 2021. Prioritization and analysis of watershed: A study applied to municipal solid waste. Sustainability 13(15):1–18.

- Alif F, Lestari DL, Putri MD and Azmi KN. 2019. Optimization of water resources management of Depok City with Water Stress Index and SWOT Analysis. *CSID-JID* 2(1):84.
- Alpiyah S. 2022. Produksi dan perilaku membuang sampah rumah tangga ke sungai di Desa Sundawenang, Sub-DAS Cicatih, Sukabumi, Jawa Barat [Skripsi]. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University. Bogor.
- APHA. 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association. Washington DC.
- Aprilia M, Effendi H and Hariyadi S. 2022. Water quality status based on Pollution Index and Water Quality Index of Ciliwung River, DKI Jakarta Province. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci* 1109(1):012051.
- Benbow ME, Receveur JP and Lamberti GA. 2020. Death and decomposition in aquatic ecosystems. *Front Ecol Evol* 8(17):1–12.
- Depetris PJ. 2021. The importance of monitoring river water discharge. *Front Water* 3:745912.
- Djuwita MR, Hartono DM, Mursidik SS and Soesilo TEB. 2021. Pollution load allocation on water pollution control in the Citarum River. *Journal of Engineering and Technology Sciences* 53(1):1–15.
- Effendi H. 2003. *Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Effendi H. 2016. Evaluation of water quality status of Ciliwung River based on Pollution Index. A paper presented at 36th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment (IAIA 16), Aichi-Nagoya, Japan, 11-14 May 2016.
- Effendi H, Prayoga G, Azhar AR and Azhar R. 2021. Pollution source of Cileungsi-Cikeas-Bekasi River. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci* 744(1):012014.
- Guo W, Zhou H, Jiao X, Huang L and Wang H. 2022. Analysis of alterations of the hydrological situation and causes of river runoff in the Min River, China. *Water* 14(7).
- Kaza S, Yao LC, Bhada-Tata P and Van Woerden F. 2018. *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank. Washington DC.

- Liu J, Li Q, Gu W and Wang C. 2019. The impact of consumption patterns on the generation of municipal solid waste in China: Evidences from Provincial Data. *IJERPH* 16(10):1717.
- Mattotorang UH. 2019. Studi pengaruh lebar sungai terhadap karakteristik aliran sedimen di dasar. *JlIT* 4(1):77.
- Moningga ITL, Sangari JRR, Wantasen AS, Lumingas LJL, Moningkey RD dan Pelle WE. 2021. Distribusi spasial sampah laut di esisir Pantai Perairan Minahasa Bagian Utara. *Jurnal Ilmiah PLATAX* 9(1):145–156.
- Owa FD. 2013. Water pollution: Sources, effects, control and management. *Mediterranean Journal of Social Sciences* 4(8):65–68.
- Padilah TN dan Adam RI. 2019. Analisis regresi liner berganda dalam estimasi produktivitas tanaman padi di Kabupaten Karawang. *FBC* 5(2):117–128.
- Prayoga G, Zainalarifin J, Mufawwaz T, Firmansyah FS, Rizal H, Mursalin, Effendi H, Liyantono, Panggabean G, Supalal Y, *et al.* 2023. Spatio-temporal analysis of river water pollution levels in the Angke-Pesanggrahan watershed. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1266(1): 012049.
- Zhao CS, Yang Y, Yang ST, Xiang H, Ge YR, Zhang ZS, Zhao Y, and Yu Q. 2020. Effects of spatial variation in water quality and hydrological factors on environmental flows. *Science of The Total Environment* 728:138695.
- Zainalarifin J, Effendi H and Taryono. 2023. Abundance and composition of solid waste in the Citarum River, West Jawa Province. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1266(1):012056.

Sebaran logam berat terlarut di Perairan Teluk Jakarta

Distribution of dissolved heavy metals in Jakarta Bay

Dwianka Rahman Maisalda^{1*}, Yonvitner¹, Hefni Effendi¹

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

Abstrak.

Teluk Jakarta merupakan daerah yang aktif dan menerima pencemaran dari daratan melalui 13 sistem sungai di DKI Jakarta. Penelitian ini membandingkan distribusi logam berat terlarut pada musim barat dan musim timur di Teluk Jakarta untuk memahami proses dan sumber logam berat. Pengambilan sampel dilaksanakan satu kali di setiap zona dan sampel air laut yang disimpan dalam botol HDPE (*high-density polyethylene*) dan dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) dengan tingkat akurasi pengukuran 0,001 mg/L. Aplikasi GIS digunakan untuk memetakan distribusi parameter logam berat. Konsentrasi logam berat yang ditemukan adalah merkuri (Hg) 0,0002 hingga 0,0005 mg/L, tembaga (Cu) 0,0062 hingga 0,0089 mg/L, timbal (Pb) 0,006 hingga 0,007 mg/L, seng (Zn) 0,0247 hingga 0,0334 mg/L dan nikel (Ni) 0,0044 hingga 0,0088 mg/L. Secara ringkas, penelitian menunjukkan bahwa kondisi fisika-kimia Teluk Jakarta secara signifikan mempengaruhi distribusi logam berat terlarut seperti Hg, Cu, Pb, Zn dan Ni.

Kata kunci: aktivitas pesisir, kualitas air, Sistem Informasi Geografis

Abstract.

Jakarta Bay is an active area and receives pollution from the mainland through 13 river systems in DKI Jakarta. This waste enters Jakarta Bay through 13 rivers. This study compared the distribution of dissolved heavy metals in the West and East Monsoons of Jakarta Bay to understand the processes and sources of heavy metals. Sampling was carried out once in each zone, and sea water samples stored in HDPE (high-density polyethylene) bottles were taken to the laboratory for analysis using AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry), with a measurement accuracy of 0.001 mg/L. GIS was used to map heavy metal parameters. The concentrations of heavy metals found were mercury (Hg) 0.0002 to 0.0005 mg/L, copper (Cu) 0.0062 to 0.0089 mg/L, lead (Pb) 0.006 to 0.007 mg/L, zinc (Zn) 0.0247 to 0.0334 mg/L, and nickel (Ni) 0.0044 to 0.0088 mg/L. In summary, the study shows that the physical-chemical conditions of Jakarta Bay significantly affect the distribution of dissolved heavy metals such as Hg, Cu, Pb, Zn and Ni.

Keywords: coastal activities, water quality, Geographic Information Systems

1. PENDAHULUAN

Teluk Jakarta merupakan daerah yang aktif dan menerima polutan dari daratan melalui 13 sistem sungai yang bermuara dari DKI Jakarta dan sekitarnya. Sisa sampah industri, pelabuhan, perikanan dan sampah merupakan sumber pencemaran terbesar di teluk ini yang berasal dari beberapa aktivitas manusia memiliki pengaruh yang cukup besar, limbah-limbah ini mengandung zat-zat berbahaya dan beracun, salah satunya adalah logam berat (Kusuma *et al.* 2014). Sumber logam berat di perairan laut dapat berasal dari berbagai aktivitas, seperti pertambangan, limbah pertanian, limbah industri dan juga limbah rumah tangga (Effendi 2003, 2016, 2021, Rochyatun dan Rozak 2007).

* Korespondensi Penulis
Email: rahmandwianka@gmail.com

Selain dari aktivitas manusia, logam berat juga dapat memasuki ekosistem perairan melalui proses alami, seperti erosi batuan, serta pengendapan debu logam yang terbawa oleh hujan dan terlarut dalam air (Wisha *et al.* 2018). Sebagian besar logam tersebut dibuang ke laut tanpa melalui proses pengolahan (Cordova *et al.* 2017). Akumulasi logam berat di lingkungan telah menyebabkan berbagai masalah, seperti kematian massal pada ikan, udang dan rajungan, serta berdampak negatif pada ribuan nelayan yang kehilangan sumber mata pencaharian, yang memperparah kondisi ekonomi mereka.

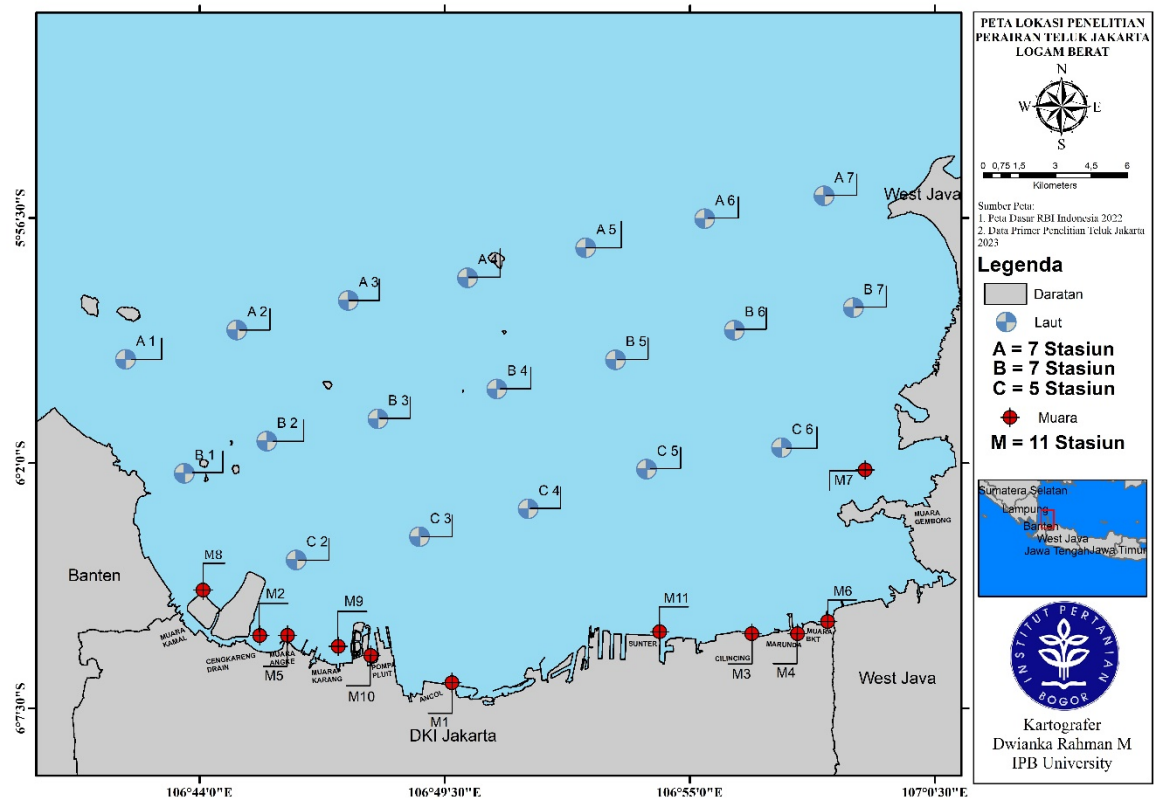
Rantai makanan mengakumulasi logam berat melalui biomagnifikasi. Meski pada awalnya logam berat dibutuhkan dalam jumlah kecil untuk mendukung proses metabolisme, peningkatan kadarnya di air laut dapat berbalik menjadi racun bagi organisme laut (Sachomar dan Dwi 2007). Secara umum, logam berat memiliki sifat yang serupa dengan logam lainnya, namun dampaknya sebagai polutan sangat berbahaya. Selain itu, masyarakat yang tinggal di sekitar Teluk Jakarta juga mengalami masalah kesehatan akibat pencemaran ini (Permana *et al.* 2022).

Penelitian ini menganalisis sebaran logam berat di perairan Teluk Jakarta yang terkait dengan material daratan dan dampaknya terhadap lingkungan perairan. Penelitian ini membandingkan profil sebaran logam berat terlarut di wilayah Teluk Jakarta pada musim barat maupun musim timur untuk memahami proses dan sumber logam berat. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi tentang sebaran logam berat di air laut, yang dapat dimanfaatkan oleh pihak terkait untuk merancang, mengelola dan mengevaluasi lingkungan pesisir secara berkelanjutan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Pengambilan contoh di Teluk Jakarta terdiri dari 30 lokasi pengamatan yang mencakup 4 zona perairan untuk pengambilan sampel. Zona-zona tersebut adalah Muara Sungai (M) yang berjarak 0,5 km dari bibir pantai, Zona C (10 km), Zona B (15 km) dan Zona A (20 km). Setiap zona memiliki jumlah stasiun pengamatan yang berbeda, yaitu 11 stasiun di Zona M, 7 stasiun masing-masing di Zona A dan Zona B, serta 5 stasiun di Zona C (**Gambar 1**). Penelitian ini dilakukan dalam dua waktu pengamatan, yaitu pada Maret 2023 (musim barat) dan September 2023 (musim timur).



Gambar 1. Lokasi penelitian logam berat di Teluk Jakarta, DKI Jakarta.

2.2. Metode pengumpulan data

Sampel diambil setiap dua musim. Pengambilan sampel air laut memakai *Van Dorn Water Samplers* berbahan PVC (*Polivinil klorida*) berkapasitas 2 liter. Setelahnya sampel air dimasukkan ke dalam botol HDPE (*high-density polyethylene*) yang telah memenuhi standar prosedur pengambilan sampel (Cordova et al. 2017). Parameter logam berat yang diamati beserta alat dan metode pengukurannya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter kualitas air yang diamati dan alat/metode pengukurannya.

Parameter	Tipe analisis	Metode
Raksa (Hg)	Sekunder	IK-LAB-Logam-04 (<i>Cold Vapor</i>)
Tembaga (Cu)	Sekunder	IK-LAB-Logam-11 (Ekstraksi-GFAAS)
Timbal (Pb)	Sekunder	IK-LAB-Logam-11 (Ekstraksi-GFAAS)
Seng (Zn)	Sekunder	IK-LAB-Logam-11 (Ekstraksi-GFAAS)
Nikel (Ni)	Sekunder	IK-LAB-Logam-11 (Ekstraksi-GFAAS)

2.3. Metode analisis data

Sampel air laut disimpan dalam botol HDPE dan dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis logam berat menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) dengan akurasi 0,001 mg/L. Analisis tersebut dilakukan di Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan (Proling), Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan (MSP), Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK), Institut Pertanian Bogor (IPB). Logam berat yang diamati mencakup Hg, Cu, Pb, Zn, As dan Ni. Selain itu, analisis spasial dilakukan untuk memetakan pola sebaran logam berat menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk memvisualisasikan distribusi spasial parameter logam berat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sebaran logam berat

Distribusi logam berat di perairan Teluk Jakarta menunjukkan adanya variasi kadar logam berat di setiap lokasi pengamatan (**Tabel 2**). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 pada lampiran VIII menetapkan kriteria mutu logam berat bagi biota laut, hasil pengamatan menunjukkan bahwa beberapa parameter logam berat melebihi ambang batas yang diizinkan, hal tersebut menandakan ketidaksesuaian dengan standar kualitas lingkungan perairan yang diperlukan untuk mendukung kelangsungan hidup biota laut.

Tabel 2. Kadar rerata logam berat terlarut di perairan Teluk Jakarta.

Parameter*	Lokasi**								Baku mutu***
	Musim barat				Musim timur				
	A	B	C	M	A	B	C	M	
Raksa (Hg)	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0002	0,0004	0,0003	0,0004	0,001
Tembaga (Cu)	0,0066	0,0071	0,0072	0,0089	0,0067	0,0067	0,0062	0,0085	0,008
Timbal (Pb)	0,0066	0,0064	0,0064	0,0069	0,0064	0,0060	0,0070	0,0070	0,008
Seng (Zn)	0,0247	0,0264	0,0252	0,0270	0,0334	0,0330	0,0296	0,0275	0,05
Nikel (Ni)	0,0061	0,0066	0,0060	0,0080	0,0051	0,0044	0,0052	0,0059	0,05

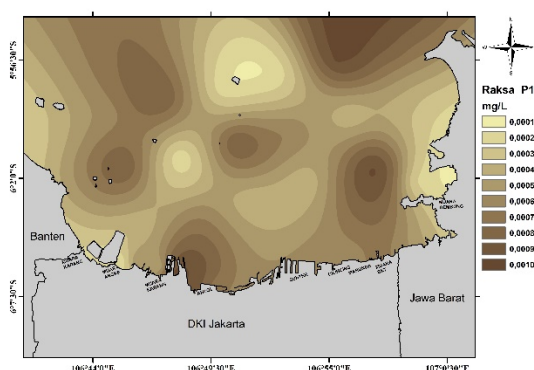
Keterangan: * Satuan mg/L ** Zona A,B dan C di titik laut dan M di titik muara ***Lampiran VIII PP No. 22 Tahun 2021.

Logam berat terlarut (Hg, Cu, Pb, Zn dan Ni) di perairan Teluk Jakarta bervariasi di antara zona pengamatan, tetapi secara umum konsisten dengan penelitian sebelumnya. Kandungan raksa (Hg) terlarut di Zona A, B, C dan M pada musim barat

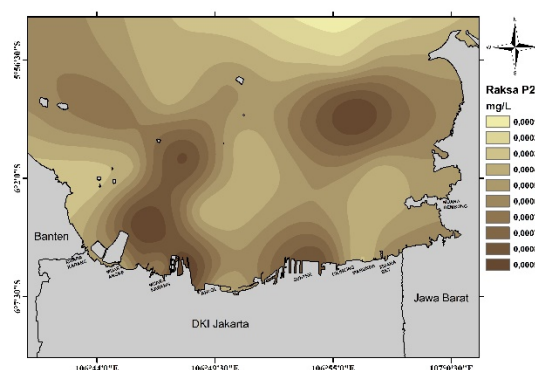
dan timur adalah 0,0002 hingga 0,0005 mg/L yang berada di bawah baku mutu (**Gambar 2** dan **Gambar 3**).

Kandungan tembaga (Cu) rata-rata di keempat zona untuk kedua musim adalah 0,0062 hingga 0,0089 mg/L (**Gambar 4** dan **Gambar 5**). Lokasi muara (M) memiliki konsentrasi Cu melebihi baku mutu, yaitu sebesar 0,0089 mg/L pada musim barat dan 0,0085 mg/L pada musim timur. Penelitian sebelumnya mengatakan Tembaga (Cu) terlarut perairan Teluk Jakarta berkisar 0,001 hingga 0,036 ppm (Arifin *et al.* 2003).

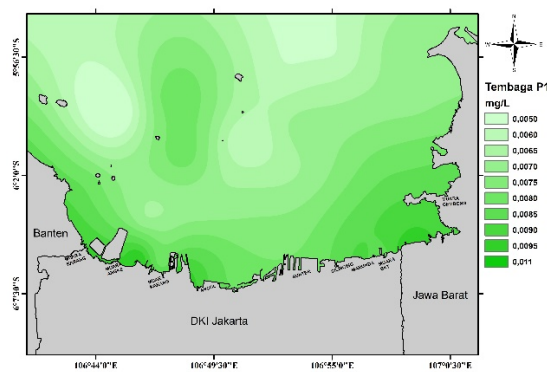
Kadar Pb rata-rata nilai 0,006 sampai dengan 0,007 mg/L (**Gambar 6** dan **Gambar 7**), sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan 0,001 sampai dengan 0,012 mg/L (Arifin *et al.* 2003). Kadar Zn terlarut di perairan Teluk Jakarta berkisar antara 0,0247 sampai dengan 0,0334 mg/L, di bawah baku mutu 0,05 mg/L dan stabil (**Gambar 8** dan **Gambar 9**). Sebelumnya, perairan Teluk Jakarta memiliki kadar Zn terlarut sebesar 0,001 sampai dengan 0,041 ppm (Hamzah dan Setiawan 2010). Konsentrasi Ni terlarut berkisar antara 0,0044 sampai dengan 0,0088 mg/L, rerata 0,006 ppm (**Gambar 10** dan **Gambar 11**). Hasil pengamatan sebelumnya mengatakan Ni terlarut perairan Teluk Jakarta berkisar 0,001-0,045 ppm (Arifin *et al.* 2003).



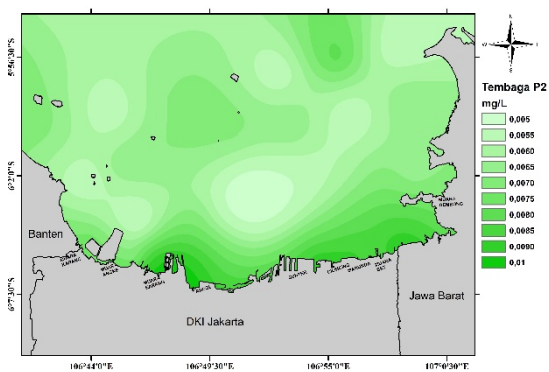
Gambar 2. Sebaran raksa (Hg) musim barat.



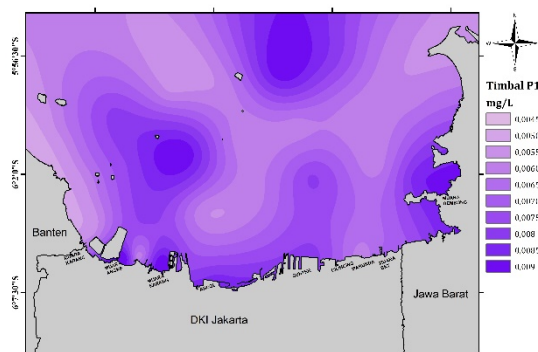
Gambar 3. Sebaran raksa (Hg) musim timur.



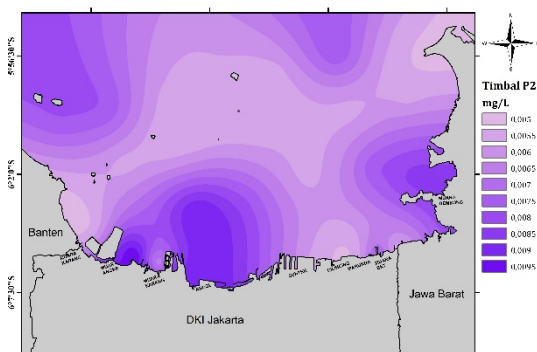
Gambar 4. Sebaran tembaga (Cu) musim barat.



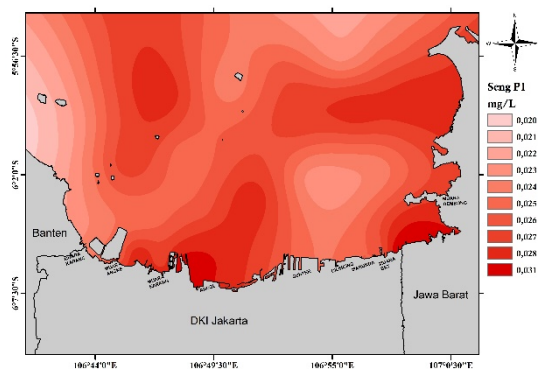
Gambar 5. Sebaran tembaga (Cu) musim timur.



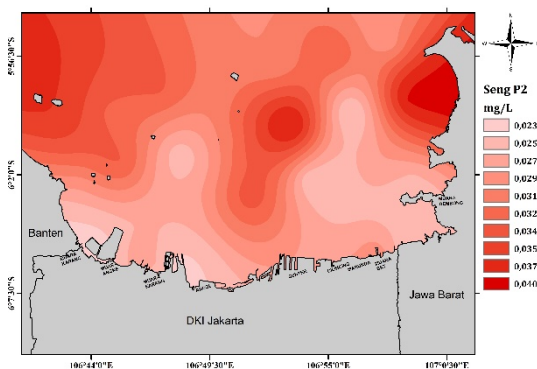
Gambar 6. Sebaran timbal (Pb) musim barat.



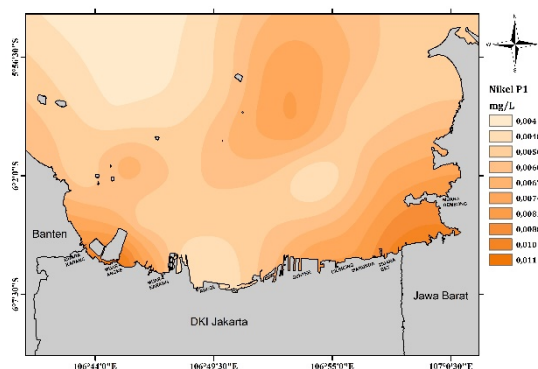
Gambar 7. Sebaran timbal (Pb) musim timur.



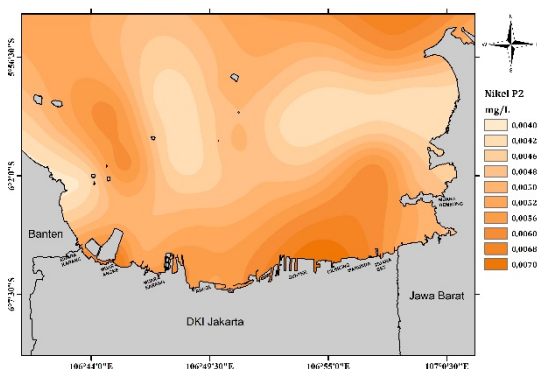
Gambar 8. Sebaran seng (Zn) musim barat.



Gambar 9. Sebaran seng (Zn) musim timur.



Gambar 10. Sebaran nikel (Ni) musim barat.



Gambar 11. Sebaran nikel (Ni) musim timur.

Meskipun konsentrasi logam berat meningkat, perbedaannya tidak signifikan. Konsentrasi Ni rendah di wilayah pesisir dan tinggi di lautan yang lebih dalam, tidak seperti Pb, Cu dan Zn. Pola distribusi ini menunjukkan bahwa Pb, Cu maupun Zn dari aktivitas terestrial maupun Ni dari sumber maritim. Adanya logam berat bisa berasal dari sumber alami maupun aktivitas manusia. Misalnya seperti logam timbal (Pb) yang bersumber dari penggunaan cat pelapis logam untuk mencegah korosi dan mempercepat pengeringan cat (Mokoagow 2008). Sementara itu, merkuri (Hg) secara alami bisa dilepaskan dari gas vulkanik di dasar laut, namun aktivitas antropogenik seperti industri pengecoran logam dan penggunaan pestisida juga berkontribusi terhadap pencemaran merkuri (Verma dan Dwivedi 2013).

Aktivitas daratan termasuk operasi pelabuhan dan industri memberikan kontribusi terbesar terhadap pencemaran logam berat di Teluk Jakarta (Arifin dan Fadhlin 2009). Pencemaran logam berat dari pengecatan kapal, pembuangan air pemberat, dok dan pengisian bahan bakar berkontribusi cukup signifikan. Perusahaan kimia, cat, tekstil dan baterai di wilayah pesisir juga membuang limbahnya sehingga terjadi pencemaran ke Teluk Jakarta melalui sungai atau saluran drainase (Rumanta *et al.* 2008).

Sebaran logam berat Hg, Cu, Pb, Zn, dan Ni terlarut belum mampu menjelaskan secara rinci mengenai proses dan sumber logam berat di perairan Teluk Jakarta. Hal ini karena kondisi permukaan laut bersifat dinamis sehingga banyak terjadi gangguan akibat pengaruh dari fisika-kimia perairan (Sophia *et al.* 2014). Singkatnya, penelitian ini mengungkapkan bahwa karakteristik fisika-kimia Teluk Jakarta secara signifikan mempengaruhi dispersi logam berat.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Konsentrasi logam berat yang ditemukan adalah merkuri (Hg) 0,0002 hingga 0,0005 mg/L, tembaga (Cu) 0,0062 hingga 0,0089 mg/L, timbal (Pb) 0,006 hingga 0,007 mg/L, seng (Zn) 0,0247 hingga 0,0334 mg/L dan nikel (Ni) 0,0044 hingga 0,0088 mg/L. Secara ringkas, penelitian menunjukkan bahwa kondisi fisika-kimia Teluk Jakarta secara signifikan mempengaruhi distribusi logam berat terlarut seperti Hg, Cu, Pb, Zn dan Ni.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan untuk Pihak Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta Ibu Rahmawati, ST. M.Si. dan Team dalam kegiatan monitoring perairan laut Teluk Jakarta dan Team PKSPL (Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan).

6. DAFTAR PUSTAKA

- Arifin Z, Susana T, Purwati P, Muchsin R, Hindarti D, Riyono S, Razak H, Matondang A, Salim E and Farida N. 2003. Ecosystem and productivity of Jakarta Bay and it Summary Report of Competition Research. P20LIPI. Jakarta.
- Arifin Z dan Fadhlina D. 2009. Fraksinasi logam berat Pb, Cd, Cu dan Zn dalam sedimen dan bioavailibitas-nya bagi biota di perairan Teluk Jakarta. *Ilmu Kelautan* 14 (1):27-32.
- Cordova RM, Purbonegoro T, Puspitasari R and Hindarti D. 2017. Assessing contamination level of Jakarta Bay nearshore sediments using green mussel (*Perna viridis*) larvae. *Journal Marine Resources Indonesia* 41(2):67-76.
- Effendi H. 2003. Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan. Kanisius. Yogyakarta.
- Effendi H. 2016. Evaluation of water quality status of Ciliwung River based on Pollution Index. A paper presented at 36th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment (IAIA 16), Aichi-Nagoya, Japan, 11-14 May 2016.
- Effendi H, Prayoga G, Azhar AR, and Azhar R. 2021. Pollution source of Cileungsi-Cikeas-Bekasi river. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 744 (1), 012014
- Hamzah F dan Setiawan A. 2010. Akumulasi logam berat Pb, Cu dan Zn di hutan mangrove Muara Angke, Jakarta Utara. *Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 2(2):41-52.
- Kusuma AH, Prartono T, Atmadipoera AS dan Arifin T. 2014. Sebaran logam berat terlarut dan terendapkan di perairan Teluk Jakarta pada bulan September 2014. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan* 6(1):41-49.

- Mokoagow D. 2008. Diversity index of aquatic biotas as a biological indicator of heavy metal pollution in Bitung Beach, North Sulawesi. *Ekoton* 8(2):31-40.
- Permana B, Rafii A dan Eryati R. 2022. Kandungan logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) pada air dan sedimen di muara perairan Kecamatan Muara Jawa Kabupaten Kutai Kartanegara. *Tropical Aquatic Sciences* 1(1):62-68.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
- Rochyatun E dan Rozak A. 2007. Pemantauan kadar logam berat dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta. *Makara Sains* 11(1):28-36.
- Rumanta M, Latief A, Rahayu U, Ratnaningsih A dan Nurdin G. 2008. Konsentrasi timbal (Pb) pada perairan di sekitar Teluk Jakarta. *Jurnal Matematika, Sains dan Teknologi* 9(1): 31-36.
- Sachomar SI dan Dwi HW. 2007. Kondisi pencemaran lingkungan perairan di Teluk Jakarta. *Jurnal Air Indonesia* 3(1):1-14.
- Sophia LS, Bramawanto R, Kuswardania ARTD dan Pranowo WS. 2014. Distribusi logam berat di Perairan Natuna. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 6(2): 297-310.
- Verma R and Dwivedi P. 2013. Heavy metals water pollution-a case study. *Recent Research in Science and Technology* 5(5): 98-99.
- Wisha UJ, Heriati A, Ramdhan M, Mustikasari E, Mutmainah H and Ilham. 2018. Spatial distribution of dissolved heavy metals (Hg, Cd, Cu, Pb, Zn) on the surface waters of Pare Bay, South Sulawesi. *Ilmu Kelautan* 23(4):199-206.

Persepsi mahasiswa terhadap program *Green Campus* dalam mewujudkan perguruan tinggi yang berkelanjutan (studi kasus: Universitas Negeri Malang)

Student perceptions of the Green Campus program in realizing a sustainable university (case study: State University of Malang)

Robby Hilmi Rachmadian^{1*}, Sumarmi Sumarmi¹, Heni Masruroh¹, Sugeng Utaya¹, Yusuf Suharto¹

¹Departemen Geografi, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia

Abstrak.

Perguruan tinggi sebagai institusi pendidikan berkewajiban memberikan pemahaman dan sikap kepada mahasiswa. Universitas Negeri Malang (UM) sebagai perguruan tinggi yang menerapkan program *green campus* telah melakukan berbagai upaya mulai dari penyediaan infrastruktur ramah lingkungan pengelolaan sampah, air, hingga transportasi. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah mengetahui persepsi mahasiswa terhadap program *green campus* dalam mewujudkan perguruan tinggi yang berkelanjutan. Penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif deskriptif. Teknik pengumpulan data menggunakan survey lapangan dan kuesioner dalam bentuk formulir *online*. Penentuan sampel bersifat nonprobabilistik dengan jenis *proportionate stratified random sampling*. Teknik analisis data menggunakan uji validitas dan uji reliabilitas untuk mengukur validitas instrumen. Responden penelitian adalah mahasiswa UM sebanyak 92 orang yang berasal dari 9 fakultas. Mahasiswa UM memiliki pemahaman relatif tinggi terhadap program *green campus* yang dibuktikan dengan 73,9% mahasiswa berkomitmen untuk mendukung lingkungan perguruan tinggi berkelanjutan. Selain itu, mahasiswa UM beranggapan menjaga keberlanjutan lingkungan hidup dapat berdampak pada kualitas pembelajaran dan meningkatkan perasaan positif di area kampus. Namun, dalam mempertahankan lingkungan perguruan tinggi berkelanjutan dan meningkatkan pemahaman mahasiswa di UM, perlu dilakukan pengkajian tersendiri dan penetapan regulasi yang mengatur keberlanjutan lingkungan hidup yang melibatkan seluruh civitas akademika.

Abstract.

Universities as educational institutions are obliged to provide understanding and attitudes to students. State University of Malang (UM) as a university that implements the green campus program has made various efforts such as green building for waste management, water and transportation. Therefore, the aim of this research is to determine student perceptions of the green campus program in realizing sustainable university. This research was conducted using descriptive quantitative methods. Data collection techniques use field surveys and questionnaires. Proportionate stratified random sampling was used to determine the sample. Data analysis techniques use validity and reliability tests to measure the validity of the instrument. The research respondents were 92 UM students from 9 faculties. UM students have a relatively high understanding of the green campus program as evidenced by 73.9% of students being committed to supporting a sustainable university environment. Apart from that, UM students think that maintaining environmental sustainability can have an impact on the quality of learning and increase positive feelings in the campus area. However, in order to maintain a sustainable university environment and increase student understanding at UM, it is necessary to carry out a separate study and establish regulations governing environmental sustainability involving the entire academic community.

Keywords: *green campus, higher education institution, sustainability*

Kata kunci: *green campus*, perguruan tinggi, berkelanjutan

* Korespondensi Penulis
Email: robby.hilmi.2307218@students.um.ac.id

1. PENDAHULUAN

Terdapat banyak tantangan dalam mewujudkan institusi perguruan tinggi yang ramah lingkungan, sehat dan mencerdaskan. Kondisi lingkungan yang harus tercipta pada institusi perguruan tinggi khususnya meningkatkan pemahaman terhadap program *Green Campus* harus didasarkan pada beberapa indikator yang harus dipenuhi (Anthony 2021; Bautista-Puig and Sanz-Casado 2021; Edsand and Broich 2020; Rybarczyk 2018). Beberapa indikator dalam mewujudkan program *Green Campus*, antara lain pengelolaan penataan bangunan dan infrastruktur, pengelolaan energi berkelanjutan dan penanganan perubahan iklim, pengelolaan sampah, pengelolaan air, pengelolaan transportasi dan pengelolaan pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat (Safarkhani and Örnek 2022; Saputro 2022). Namun, saat ini banyak institusi perguruan tinggi yang belum maksimal mengimplementasikan program *Green Campus* yang berdampak pada peningkatan pemahaman mahasiswa (Handoyo *et al.* 2021; Lualhati *et al.* 2018; Mkumbachi *et al.* 2020; Ribeiro 2019; Yildiz and Budur 2019). Hal tersebut menyebabkan mahasiswa masih kurang sadar terhadap keberlanjutan lingkungan.

Kurangnya kesadaran ekologis pada mahasiswa terhadap keberlanjutan lingkungan kampus, memberikan dampak pada kualitas lingkungan hidup (Abubakar *et al.* 2016; Khoiri *et al.* 2021; Yildiz and Budur 2019). Beberapa perguruan tinggi yang mengembangkan program *Green Campus*, namun keberhasilan implementasinya memerlukan pertimbangan yang cermat dan mendalam, seperti aspek kognitif, sosio-kultural, hingga infrastruktur (Aliman *et al.* 2019; Arent *et al.* 2020; Sumarmi *et al.* 2020; Sumarmi *et al.* 2022a; Sumarmi *et al.* 2022b). Masih kurangnya pemahaman dalam menyikapi lingkungan perguruan tinggi berkelanjutan membuat mahasiswa perlu mendapatkan edukasi berupa ranah kognitif untuk membentuk pemahaman yang mendalam (Amin 2022; Schweizer *et al.* 2019; Sumarmi *et al.* 2022b; Sumarmi *et al.* 2022c; Sumarmi *et al.* 2023; Wibowo *et al.* 2023; Yáñez *et al.* 2019).

Universitas Negeri Malang (UM) merupakan perguruan tinggi keagamaan di Indonesia yang mengusung konsep kampus hijau dan berkelanjutan. UM memiliki peran untuk menanamkan pemahaman kepada para mahasiswa. Menanamkan kesadaran ekologis perlu dilaksanakan secara mendalam dan komprehensif untuk mengubah cara berpikir, sikap dan kebiasaan mahasiswa (Aleixo *et al.* 2018; Hermann

and Bossle 2020; Mahat 2022). Meningkatkan kesadaran lingkungan, sangat penting dalam mempersiapkan mahasiswa dengan pengetahuan, keterampilan dan pemahaman untuk mencapai keberlanjutan lingkungan dengan program *Green Campus*. Berdasarkan pemeringkatan UI *GreenMetric*, UM menempati peringkat 28 di Indonesia dan peringkat 210 di dunia, terdapat beberapa indikator yang perlu dimaksimalkan hasil skornya, seperti pengelolaan sampah, pengelolaan air dan pengelolaan transportasi. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan sistem pengelolaan program *Green Campus* yang melibatkan seluruh civitas akademika.

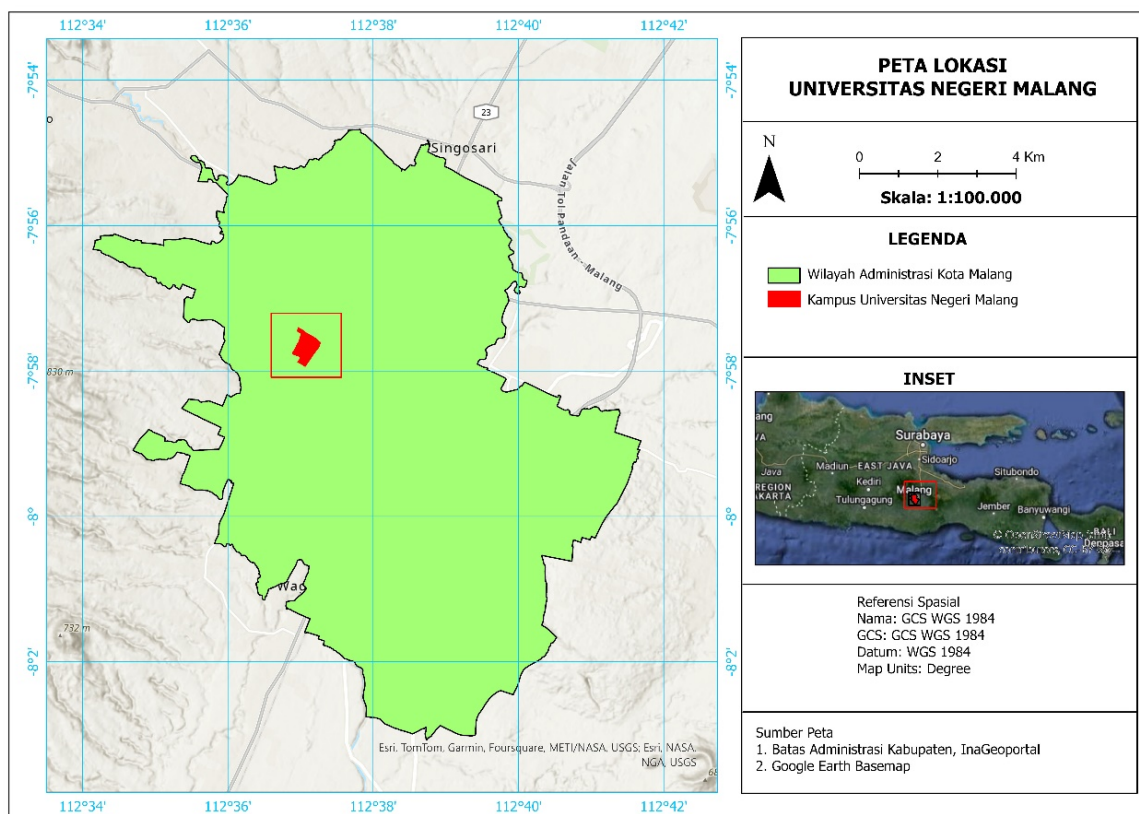
Pelaksanaan program *Green Campus* memerlukan adanya monitoring dan evaluasi untuk mengetahui perkembangan dampak dari adanya program tersebut terhadap pemahaman mahasiswa. Hal ini juga harus diperkuat dengan komunikasi yang konsisten, kepemimpinan yang proaktif, kajian multidisplin dan keterlibatan semua civitas akademika untuk meningkatkan pemahaman melalui program *Green Campus* (Radinger-Peer and Pflitsch 2017; Wakkee *et al.* 2019). Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah mengetahui persepsi mahasiswa terhadap program *Green Campus* dalam mewujudkan perguruan tinggi yang berkelanjutan dan penelitian ini bermanfaat untuk memberikan pemahaman dan langkah pengembangan program dalam mewujudkan perguruan tinggi yang berwawasan lingkungan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan di Universitas Negeri Malang (UM) yang merupakan salah satu Perguruan Tinggi Negeri yang berlokasi di Malang, Indonesia (**Gambar 1**). Perguruan Tinggi ini memainkan peran sebagai institusi pendidikan yang bergerak dalam bidang inovasi pembelajaran, menguatkan visi sehat dan mencerdaskan kepada civitas akademika untuk mengembangkan *Sustainable Development* (SD).

Berdasarkan laporan UM *Green Campus* tahun 2019 – 2021, UM telah mengambil langkah strategis dalam melakukan inovasi selama lima tahun terakhir dengan menerapkan kampus sehat dan mencerdaskan yang dikemas dalam *Green Campus Program* (GCP). Penelitian ini dilakukan selama Bulan Desember 2023 – Januari 2024 untuk mengukur persepsi mahasiswa sikap sadar ekologi dan program *Green Campus* di UM.



Gambar 1. Peta lokasi Universitas Negeri Malang (UM) sebagai lokasi penelitian.

2.2. Prosedur pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan kepada mahasiswa UM di delapan fakultas dan sekolah pascasarjana dapat dilihat pada **Tabel 1** menggunakan kuesioner dalam bentuk formulir *online* untuk memperoleh data yang berkaitan dengan tujuan penelitian ini. Pengambilan sampel pada penelitian ini bersifat nonprobabilistik dengan jenis *purposive sampling* dengan tujuan untuk mendapatkan responden yang representatif dan dapat memecahkan permasalahan dan tujuan penelitian. Total responden yang terlibat dalam pengumpulan data ini berjumlah 92 orang yang tersebar pada delapan fakultas dan sekolah pascasarjana (**Tabel 1**).

Tabel 1. Sampel fakultas pada penelitian.

No.	Fakultas	Jumlah responden
1	Fakultas Ilmu Sosial	43
2	Fakultas Sastra	14
3	Fakultas MIPA	10
4	Fakultas Ilmu Pendidikan	9
5	Fakultas Ekonomi dan Bisnis	7
6	Sekolah Pascasarjana	4

No.	Fakultas	Jumlah responden
7	Fakultas Psikologi	2
8	Fakultas Teknik	2
9	Fakultas Ilmu Keolahragaan	1
Total		92

Terdapat 9 fakultas dan sekolah pascasarjana di UM, namun pada penelitian ini hanya melibatkan 9 fakultas dan sekolah pascasarjana, hal ini dikarenakan 2 fakultas lainnya (Fakultas Vokasi dan Fakultas Kedokteran) masih tergolong baru dan memiliki jumlah mahasiswa yang relatif sedikit. Penyusunan instrumen mengadaptasi standar kuesioner UI *GreenMetric* (UIGM) untuk menilai komitmen, praktik pribadi mahasiswa dan persepsi tentang program *Green Campus*. Mengoptimalkan validitas survei dengan melakukan beberapa modifikasi antara lain konversi dari bahasa Inggris ke bahasa Indonesia dan penyesuaian dengan kondisi lingkungan mahasiswa. Survei ini terdiri dari 7 bagian dengan total 35 pertanyaan.

2.3. Prosedur analisis data

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini, melewati serangkaian uji instrumen yang terdiri dari uji validitas konstruk dan uji reliabilitas. Uji validitas konstruk bertujuan untuk melakukan seleksi item setelah mengetahui hasil skor dari jawaban responden dengan cara menghitung korelasi dan akan menghasilkan item yang valid. Menghitung korelasi terhadap setiap pertanyaan dengan skor total menggunakan rumus teknik korelasi *product moment*.

Setelah melakukan tahapan pengumpulan data, peneliti menganalisis data dengan melakukan *data cleaning* bertujuan untuk memastikan semua pertanyaan dalam kuesioner terjawab dengan baik dan benar. Tahap selanjutnya melakukan *coding* pada setiap bagian dan pertanyaan dengan bantuan *software* SPSS versi 22 dan *Microsoft Excel*. Analisis data meliputi tabulasi tabel frekuensi dan perhitungan persentase valid, standar deviasi dan rata-rata.

Dalam menentukan tingkat persepsi mahasiswa terhadap program *Green Campus* peneliti menggunakan analisis data berdasarkan kriteria penilaian yang telah ditetapkan. Pada tahap analisis ini, nilai maksimal ditetapkan berdasarkan nilai tertinggi berdasarkan pertanyaan yang terdapat pada instrumen penelitian. Persepsi mahasiswa yang telah dianalisis kemudian disajikan dalam bentuk persentase untuk

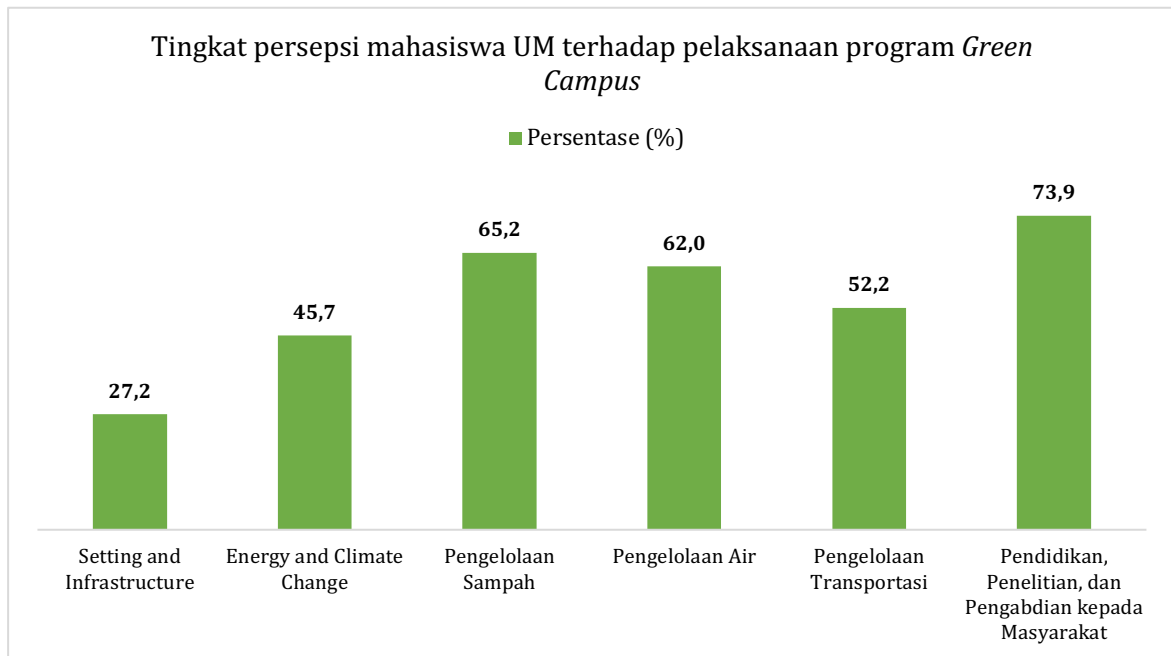
mengetahui tingkat pemahaman mahasiswa terhadap beberapa indikator dalam program *Green Campus*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Persepsi mahasiswa terhadap pelaksanaan program *Green Campus* di Universitas Negeri Malang

Pelaksanaan program *Green Campus* di Universitas Negeri Malang (UM) telah berjalan sejak tahun 2017 dan UM rutin mengikuti pemeringkatan UI GreenMetric yang mengukur kesiapan dan pelaksanaan implementasi program *Green Campus* berdasarkan beberapa indikator. Indikator yang diukur antara lain pengelolaan infrastruktur, energi dan penanganan perubahan iklim, pengelolaan sampah, konservasi air, pengelolaan transportasi dan pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Berdasarkan hasil pengukuran persepsi dan pemahaman mahasiswa UM terhadap pelaksanaan program *Green Campus* ditunjukkan pada **(Gambar 2)**.

Sebagian besar responden mahasiswa (73,9%) memahami kegiatan pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat yang bertemakan pengelolaan lingkungan dan keberlanjutan banyak dilaksanakan oleh civitas UM. Universitas Negeri Malang menerapkan kurikulum berbasis kehidupan yang mengajak mahasiswa untuk berpikir kritis memecahkan masalah yang terdapat di lingkungan sekitar. UM sebagai kampus dengan semboyan *excellence in learning innovation* terus melakukan berbagai inovasi di bidang pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat di bidang penanganan lingkungan hidup dan *Sustainable Development Goals* (SDGs). Namun, perlu adanya peningkatan untuk keterlibatan semua civitas UM dalam kegiatan konservasi dan pengelolaan lingkungan kampus agar dapat mewujudkan perguruan tinggi yang berkelanjutan.



Gambar 2. Tingkat persepsi mahasiswa UM terhadap pelaksanaan *Green Campus*.

Peran perguruan tinggi sebagai institusi pendidikan dan pengembangan kurikulum pembelajaran sangat penting dalam meningkatkan pemahaman pada mahasiswa (Wibowo *et al.* 2023). Mahasiswa saat ini cenderung masih acuh terhadap kondisi lingkungan di sekitarnya, hal ini membuktikan masih rendahnya pemahaman pada mahasiswa. Perguruan tinggi dapat menerapkan pembelajaran yang memberikan pengetahuan lingkungan hidup dalam program *Green Campus* kepada mahasiswa. Oleh karena itu, penanaman pemahaman perlu dilaksanakan secara mendalam dan komprehensif untuk mengubah cara berpikir dan kebiasaan mahasiswa.

Melibatkan peran serta mahasiswa dalam penerapan program *Green Campus* menjadi hal yang penting. Peran mahasiswa sebagai *agent of change* dan generasi muda sebagai sumber informasi yang berkaitan dengan kondisi dan kebutuhan dari kalangan mahasiswa, tanpa keterlibatan tersebut suatu program akan mengalami hambatan (Anggraeni *et al.* 2021; Chairani *et al.* 2023). Mahasiswa juga akan percaya terhadap program jika dilibatkan dalam proses perencanaan dan pelaksanaannya, karena dinilai terdapat rasa memiliki terhadap program tersebut. Selain keterlibatan civitas UM, perlu adanya perbaikan dari segi infrastruktur pendukung dan regulasi yang mengatur pelaksanaan program *Green Campus*.

Selain berbagai upaya yang berkaitan dengan peningkatan pemahaman mahasiswa dan pelaksanaan pembelajaran di kampus, diperlukan pertimbangan serta kajian lebih mendalam dari segi kemampuan fiskal perguruan tinggi, daya dukung lingkungan, hingga regulasi pemerintah daerah setempat. Oleh karena itu, hal dasar yang perlu diperbaiki dan ditingkatkan adalah kesadaran sumber daya manusia yang ada di kampus agar pelaksanaan program *Green Campus* dapat maksimal dalam mewujudkan perguruan tinggi yang berkelanjutan.

3.1.1. Demografi responden mahasiswa Universitas Negeri Malang

Komposisi demografi dari penelitian ini melibatkan 92 responden yang terdiri dari delapan fakultas dan sekolah pascasarjana di UM (**Tabel 2**). Sebagian besar responden adalah perempuan sebanyak 67,4% dan laki-laki sebanyak 32,6% hal ini mencerminkan banyaknya populasi perempuan di perguruan tinggi di UM. Selain itu, sebagian besar responden adalah mahasiswa angkatan 2023 sebesar 54,3%, mahasiswa angkatan 2022 sebesar 13% dan mahasiswa angkatan 2019, 2020 dan 2021 masing-masing sebesar 10,9%.

Tabel 2. Demografi responden penelitian.

Deskripsi	Persentase (%)	Deskripsi	Persentase (%)
A. Fakultas		B. Angkatan	
Fakultas Ilmu Sosial	46,7	2023	54,3
Fakultas Sastra	15,2	2022	13
Fakultas MIPA	10,9	2021	10,9
Fakultas Ilmu Pendidikan	9,8	2020	10,9
Fakultas Ekonomi dan Bisnis	7,6	2019	10,9
Sekolah Pascasarjana	4,3	C. Jenis kelamin	
Fakultas Psikologi	2,2	Perempuan	67,4
Fakultas Teknik	2,2	Laki-laki	32,6
Fakultas Ilmu Keolahragaan	1,1	D. Tempat tinggal	
		Kos	47,8
		Kontrakan	9,8
		Rumah	35,9
		Asrama	6,5

3.1.2. Persepsi mahasiswa mengenai indikator *setting and infrastructure* di UM

Universitas Negeri Malang menyediakan infrastruktur berupa gedung perkuliahan, perkantoran, ruang terbuka hijau dan laboratorium alam yang tersebar di beberapa kampus UM, yaitu Kampus 1 Lowokwaru, Kampus 2 Sawojajar, Kampus 3 Blitar, *Science Techno Park* Dillel Wilis Trenggalek, Laboratorium alam *Clungup Mangrove Conservation* dan Laboratorium alam Padusan. Pada bidang konservasi, UM telah menyediakan Laboratorium alam *Clungup Mangrove Conservation* sebagai garda terdepan dalam upaya konservasi dan penyelamatan ekosistem mangrove.

Tabel 3. Persepsi mahasiswa terhadap indikator *setting and infrastructure* di UM.

Deskripsi / pertanyaan	Jumlah responden	Persentase (%)
1. UM memiliki luasan ruang terbuka hijau lebih dari yang ada saat ini		
▪ Setuju	84	91,3
▪ Tidak setuju	8	8,7
2. UM perlu melakukan penanaman pohon secara masif untuk memperluas ruang terbuka hijau di area kampus		
▪ Setuju	87	94,6
▪ Tidak setuju	5	5,4
3. Apakah Anda selalu merawat fasilitas kampus khususnya gedung perkuliahan?		
▪ Selalu	42	45,7
▪ Sering	37	40,2
▪ Jarang	9	9,8
▪ Tidak pernah	4	4,3
4. Apakah Anda pernah melakukan upaya konservasi di area kampus UM?		
▪ Pernah	62	67,4
▪ Tidak pernah	30	32,6
5. UM menyediakan ruang hijau yang cukup untuk mendukung kualitas hidup yang lebih baik		
▪ 4 (Sangat setuju)	25	27,2
▪ 3 (Setuju)	55	59,8
▪ 2 (Tidak setuju)	12	13
▪ 1 (Sangat tidak setuju)	0	0

Berdasarkan hasil persepsi mahasiswa terhadap indikator *setting and infrastructure* (**Tabel 3**) menunjukkan bahwa pemahaman mahasiswa terhadap upaya yang telah dilakukan oleh UM tergolong tinggi, hal ini dibuktikan dengan 91,3% responden mahasiswa memahami bahwa UM memiliki luas Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang lebih luas dan 94,6% responden mahasiswa menginginkan pihak UM untuk lebih masif dalam melakukan penanaman pohon yang berdampak pada perluasan RTH di area kampus.

Program *Green Campus* mengajak mahasiswa untuk peduli terhadap lingkungan sekitarnya, hal ini dibuktikan 67,4% responden mahasiswa pernah melakukan upaya konservasi di area kampus UM. Terdapat berbagai kegiatan yang dilakukan oleh pihak UM yang berkolaborasi dengan para organisasi kemahasiswaan untuk meningkatkan pemahaman, salah satunya adalah pembentukan relawan lingkungan. Aktivitas relawan lingkungan UM rutin dilaksanakan setiap minggu seperti Jum'at Bersih, pengelolaan sampah organik menjadi kompos dan *eco enzyme*, penanaman pohon dan tanaman pangan, hingga pembuatan konten media sosial. Oleh karena itu, sebagian besar mahasiswa UM memiliki tingkat pemahaman yang tinggi dalam melakukan konservasi lingkungan dan menjaga ruang terbuka hijau di area kampus.

3.1.3. Persepsi mahasiswa mengenai indikator *energy and climate change* di UM

Universitas Negeri Malang berkomitmen untuk mencapai peningkatan efisiensi energi melalui praktik pengelolaan energi yang cermat. Peralatan hemat energi dan sumber energi terbarukan seperti lampu LED, sistem pendingin udara dan peralatan elektronik dengan konsumsi daya rendah, mayoritas bersumber dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang berada di seluruh area kampus. Penggunaan PLTS di Universitas Negeri Malang dapat menghemat 152 kWh setiap harinya. Pemasangan PLTS di UM telah dilakukan di Gedung Kuliah Bersama (GKB), Gedung Rektorat dan gedung-gedung di masing-masing fakultas yang penggunaan listriknya telah mengoptimalkan energi dari tenaga surya. Selain itu, gedung perkuliahan UM saat ini juga menggunakan energi pintar berupa lampu otomatis yang dilengkapi sensor dengan menggunakan kartu sebagai kunci listriknya. Pembangunan dengan konsep *smart building* ini merupakan salah satu upaya untuk mengurangi pemborosan energi.

Tabel 4. Persepsi mahasiswa terhadap indikator *energy and climate change* di UM.

Deskripsi / pertanyaan	Jumlah responden	Persentase (%)
1. Menyadari bahwa penggunaan sensor lampu di UM merupakan implementasi <i>green building</i>		
▪ Setuju	49	53,3
▪ Tidak setuju	43	46,7
2. Mematikan lampu maupun peralatan elektronik lain apabila tidak digunakan		
▪ 4 (Sangat setuju)	68	73,9
▪ 3 (Setuju)	22	23,9
▪ 2 (Tidak setuju)	1	1,1
▪ 1 (Sangat tidak setuju)	1	1,1

Deskripsi / pertanyaan	Jumlah responden	Persentase (%)
3. Apakah Anda pernah melakukan inisiatif penanggulangan perubahan iklim?		
▪ Pernah	46	50
▪ Tidak pernah	46	50
4. Apakah Anda pernah menyalakan lampu di ruang kelas saat siang hari?		
▪ Pernah	67	72,8
▪ Tidak pernah	25	27,2
5. Praktik penghematan energi yang dilakukan Universitas Negeri Malang mendukung kualitas hidup yang lebih baik		
▪ 4 (Sangat setuju)	42	45,7
▪ 3 (Setuju)	43	46,7
▪ 2 (Tidak setuju)	7	7,6
▪ 1 (Sangat tidak setuju)	0	0

Berdasarkan hasil persepsi mahasiswa terhadap indikator *energy and climate change* menunjukkan bahwa perlu adanya peningkatan kesadaran terhadap penanggulangan iklim pada mahasiswa UM, hal ini 50% dari responden mahasiswa pernah melakukan penanggulangan perubahan iklim dan masih terdapat 72,8% responden mahasiswa yang menyalakan lampu ruang kelas saat siang hari (**Tabel 4**). Penanggulangan perubahan iklim perlu diimplementasikan secara menyeluruh untuk memberikan pemahaman kepada mahasiswa dalam menjaga keberlanjutan lingkungan di area kampus.

3.1.4. Persepsi mahasiswa mengenai indikator pengelolaan sampah di UM

Program pengurangan sampah di UM difokuskan pada pengurangan konsumsi dan pembuangan sampah plastik. UM sudah memiliki peraturan rektor yang mengatur hal tersebut. Salah satu contoh inisiatif yang dilakukan adalah mengurangi penggunaan plastik dan kertas sekali pakai (menggantikannya dengan *e-office*) di lingkungan UM. Selain itu, UM juga meluncurkan kampanye edukasi untuk mendorong civitas akademika UM agar menggunakan barang-barang yang dapat didaur ulang atau digunakan kembali.

Tabel 5. Persepsi mahasiswa terhadap indikator pengelolaan sampah di UM.

Deskripsi / pertanyaan	Jumlah responden	Persentase (%)
1. Apakah Anda pernah membuang sampah sembarangan?		
▪ Pernah	31	33,7
▪ Tidak pernah	61	66,3
2. Apakah Anda selalu memilah sampah di area kampus UM?		
▪ Selalu	33	35,9
▪ Jarang	51	55,4

Deskripsi / pertanyaan	Jumlah responden	Persentase (%)
Tidak pernah	8	8,7
3. Pernah melakukan upaya pengolahan sampah organik menjadi pupuk atau barang yang bermanfaat lainnya di lingkungan kampus UM		
Pernah	17	18,5
Tidak pernah	75	81,5
4. Pernah melakukan upaya pengolahan sampah non organik menjadi barang yang bermanfaat di lingkungan kampus UM		
Pernah	22	23,9
Tidak pernah	70	76,1
5. Pengelolaan sampah di Universitas Negeri Malang mendukung kualitas hidup yang lebih baik		
▪ 4 (Sangat setuju)	60	65,2
▪ 3 (Setuju)	23	25
▪ 2 (Tidak setuju)	9	9,8
▪ 1 (Sangat tidak setuju)	0	0

Berdasarkan hasil persepsi mahasiswa terhadap indikator pengelolaan sampah (**Tabel 5**) menunjukkan bahwa perilaku mahasiswa dalam menjaga kebersihan kampus tergolong tinggi, 66,3% responden mahasiswa mengungkapkan tidak pernah membuang sampah sembarangan di area kampus. Terdapat beberapa hal yang perlu ditingkatkan dalam menanamkan pemahaman mahasiswa antara lain melibatkan mahasiswa dalam pengelolaan sampah organik dan non organik, hal ini dibuktikan bahwa 81,5% responden tidak pernah terlibat dalam pengolahan sampah organik dan 76,1% responden tidak pernah terlibat dalam pengolahan sampah non organik di area kampus.

Perlu adanya upaya bersama dalam penanganan sampah di area kampus, mahasiswa, dosen, hingga tenaga kependidikan harus dilibatkan dalam menjaga kampus selalu bersih dan nyaman. Universitas Negeri Malang (UM) telah melakukan upaya untuk mengelola sampah, mulai dari membentuk bank sampah mahasiswa, pembuatan *UM Green Product* (pupuk kompos, *eco enzyme* dan *eco brick*), penyediaan tempat sampah yang terpilah dan pembuatan TPS 3R. Berbagai macam upaya tersebut terus dilakukan secara berkelanjutan dan melibatkan mahasiswa, dengan hal tersebut dapat menanamkan pemahaman mahasiswa dan menciptakan kampus sehat dan berkelanjutan.

3.1.5. Persepsi mahasiswa mengenai indikator pengelolaan air di UM

Pengelolaan daerah tangkapan air hujan efektif mengendalikan limpasan air di UM, meningkatkan kualitas tanah, yang berimplikasi pada tumbuhnya tanaman subur

dan rindang dengan terpenuhinya ketersediaan air dan pada akhirnya berdampak positif terhadap kehidupan hewan. Hal ini menciptakan suasana dan iklim segar dengan pepohonan rindang sehingga mencegah area kampus mengering dan menjaga kelestarian air di dalam dan sekitar area kampus.

Tabel 6. Persepsi mahasiswa terhadap indikator pengelolaan air di UM.

Deskripsi / pertanyaan	Jumlah responden	Persentase (%)
1. Apakah Anda pernah mengabaikan air keran/wastafel yang menyala/mengalir?		
▪ Pernah	6	6,5
▪ Tidak pernah	86	93,5
2. Apakah Anda pernah berpikir memanfaatkan air hujan untuk menyiram tanaman?		
▪ Pernah	86	93,5
▪ Tidak pernah	6	6,5
3. Apakah Anda pernah menjumpai dan mengetahui manfaat biopori?		
▪ Pernah menjumpai dan mengetahui manfaatnya	57	62
▪ Tidak pernah menjumpai dan mengetahui manfaatnya	18	19,6
▪ Tidak pernah menjumpai dan tidak mengetahui manfaatnya	17	18,5
4. Apakah Anda pernah memanfaatkan fasilitas UM <i>drinking fountain</i> yang telah tersebar di beberapa gedung di UM?		
▪ Pernah	64	69,6
▪ Tidak pernah	28	30,4
5. Pengelolaan air (<i>water saving</i>) yang dilakukan Universitas Negeri Malang mendukung kualitas hidup yang lebih baik		
▪ 4 (Sangat setuju)	57	62
▪ 3 (Setuju)	32	34,8
▪ 2 (Tidak setuju)	3	3,2
▪ 1 (Sangat tidak setuju)	0	0

Berdasarkan hasil persepsi mahasiswa terhadap indikator pengelolaan air (**Tabel 6**) menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa telah menunjukkan pemahamannya dalam pengelolaan air di dalam kampus. Sebesar 93,5% responden mengungkapkan tidak pernah mengabaikan kran air yang masih menyala dan 93,5 % responden ingin memanfaatkan air wudhu untuk menyiram tanaman. Upaya pengelolaan dan konservasi air telah diterapkan dalam kehidupan dan pembelajaran di dalam kampus.

Mahasiswa juga banyak yang memanfaatkan fasilitas UM *drinking fountain* yang disediakan oleh pihak kampus. Sebanyak 69,6% responden mahasiswa telah memanfaatkan penyediaan mesin air isi ulang, hal ini mencerminkan mahasiswa telah menerapkan *zero waste lifestyle* dengan mengurangi pemakaian kemasan botol minum

sekali pakai. Berdasarkan laporan Direktorat Sarana Prasarana dan Aset UM, lebih dari 90.000 kemasan botol air mineral kemasan telah terselamatkan tidak terbuang dari adanya penggunaan mesin UM *drinking fountain*. Oleh karena itu, peran mahasiswa dalam pengelolaan dan konservasi air di UM sangat berdampak pada keberlanjutan lingkungan perguruan tinggi.

3.1.6. Persepsi mahasiswa mengenai indikator pengelolaan transportasi di UM

UM berkomitmen untuk mengurangi jumlah kendaraan yang masuk kampus dengan mengadakan program *Car Free Day* yang dilaksanakan setiap hari Jumat. Langkah berani ini bertujuan untuk mengurangi dampak negatif emisi karbon dari kendaraan bermotor, serta mengedukasi warga kampus tentang pentingnya transportasi berkelanjutan. Dengan kebijakan dimana kendaraan bermotor dilarang memasuki kawasan kampus. Mahasiswa, dosen dan staf universitas diharapkan menggunakan transportasi alternatif seperti berjalan kaki atau bersepeda. Langkah ini sekaligus merangkul semangat kebersamaan dan kepedulian terhadap lingkungan.

Tabel 7. Persepsi mahasiswa terhadap indikator pengelolaan transportasi di UM.

Deskripsi / pertanyaan	Jumlah responden	Persentase (%)
1. Moda transportasi yang digunakan untuk pergi ke kampus		
▪ Jalan kaki	18	19,6
▪ Sepeda Motor	67	72,8
▪ Sepeda Kayuh	1	1,1
▪ Ojek Online	1	1,1
▪ Angkutan umum	2	2,1
▪ Mobil	3	3,3
2. Mengendarai kendaraan bermotor saat menuju ke kampus		
▪ Sangat setuju	74	80,4
▪ Sangat tidak setuju	18	19,6
3. Apakah Anda merasakan kendaraan bermotor yang masuk ke lingkungan UM semakin bertambah?		
▪ Setuju	90	97,8
▪ Tidak setuju	2	2,2

Deskripsi / pertanyaan	Jumlah responden	Persentase (%)
4. UM perlu menambah luas lokasi parkir kendaraan bermotor		
▪ Sangat perlu	46	50
▪ Cukup untuk saat ini	31	33,7
▪ Tidak perlu	15	16,3
5. <i>Car Free Day</i> (CFD) di UM membuat suasana kampus menjadi lebih nyaman		
▪ 4 (Sangat setuju)	48	52,2
▪ 3 (Setuju)	29	31,5
▪ 2 (Tidak setuju)	14	15,2
▪ 1 (Sangat tidak setuju)	1	1,1

Berdasarkan hasil persepsi mahasiswa terhadap indikator pengelolaan infrastruktur (**Tabel 7**) menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa UM belum mencerminkan pemahaman. Rendahnya pemahaman mahasiswa tersebut dikarenakan 80,4% dari total responden mahasiswa mengungkapkan masih mengendarai kendaraan bermotor ke area kampus dan 72,8% di antaranya menggunakan transportasi sepeda motor. Penggunaan kendaraan bermotor yang semakin meningkat berdampak pada kebutuhan lahan parkir, hal ini ditunjukkan 50% dari total responden mahasiswa mengungkapkan sangat membutuhkan lahan parkir dan 33,7% mengungkapkan lahan parkir yang ada saat ini sudah cukup untuk menampung kendaraan yang masuk ke kampus.

Pemahaman pada mahasiswa dapat diukur dari aktivitas mengendarai kendaraan bermotor ke kampus. Penggunaan kendaraan bermotor yang terlalu banyak dapat meningkatkan polusi udara dan dapat mengakibatkan pemanasan global. Perlu adanya edukasi pentingnya penggunaan transportasi ramah lingkungan dan perbaikan fasilitas yang dapat memaksimalkan pelaksanaan gerakan pengurangan penggunaan kendaraan bermotor di area kampus. Oleh karena itu, mahasiswa sebagai civitas akademika yang populasinya sangat besar perlu mendapatkan pemahaman dan pengalaman dalam menciptakan lingkungan perguruan tinggi berkelanjutan melalui penggunaan transportasi ramah lingkungan.

3.1.7. Persepsi mahasiswa mengenai indikator pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat di UM

UM sebagai perguruan tinggi yang menjunjung tinggi visi sebagai perguruan tinggi yang sehat dan mencerdaskan, memiliki perhatian yang kuat pada pelaksanaan Tri Dharma perguruan tinggi khususnya pelaksanaan pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat bertemakan pengelolaan lingkungan hidup. Berbagai aktivitas yang dilakukan oleh civitas akademika UM harus berbasis pengelolaan lingkungan hidup dan penanganan perubahan iklim. Aktivitas kemahasiswaan dan kegiatan pengabdian kepada masyarakat juga melibatkan instansi dan lembaga pengelolaan lingkungan hidup.

Tabel 8. Persepsi mahasiswa terhadap indikator pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat di UM.

Deskripsi / pertanyaan	Jumlah responden	Persentase (%)
1. Mengikuti mata kuliah berisikan materi pendidikan lingkungan hidup		
▪ Pernah	61	66,3
▪ Tidak pernah	31	33,7
2. Apakah Anda pernah melakukan kegiatan penelitian yang berkaitan dengan topik lingkungan hidup atau pembangunan berkelanjutan?		
▪ Pernah	40	43,5
▪ Tidak pernah	52	56,5
3. Apakah Anda pernah melakukan kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang berkaitan dengan topik lingkungan hidup atau pembangunan berkelanjutan?		
▪ Pernah	42	45,7
▪ Tidak pernah	50	54,3
4. Keinginan bergabung ke dalam organisasi kemahasiswaan bidang pelestarian lingkungan hidup		
▪ Setuju	54	58,7
▪ Ragu-ragu	31	33,7
▪ Tidak setuju	7	7,6
5. Apakah Anda pernah melakukan inisiatif penanggulangan perubahan iklim?		
▪ Pernah	46	50
▪ Tidak pernah	46	50
6. Setiap orang di lingkungan kampus harus berkomitmen dan mendukung program berkelanjutan		
▪ 4 (Sangat setuju)	68	73,9
▪ 3 (Setuju)	21	22,8
▪ 2 (Tidak setuju)	3	3,3
▪ 1 (Sangat tidak setuju)	0	0

Berdasarkan hasil persepsi mahasiswa terhadap indikator pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat (**Tabel 8**) menunjukkan bahwa implementasi pembelajaran berbasis lingkungan hidup di UM telah diperoleh sebagian besar mahasiswa yakni sebesar 66,3% dari seluruh responden. Namun, hal ini berbanding terbalik dengan kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat yang dilakukan oleh mahasiswa khususnya pada topik lingkungan hidup. Sebesar 56,5% dari total responden mahasiswa mengungkapkan bahwa tidak pernah melakukan penelitian dan 54,3% mengungkapkan tidak pernah melakukan pengabdian kepada masyarakat dengan topik lingkungan hidup.

Upaya penanganan perubahan iklim melalui kegiatan pembelajaran perlu ditingkatkan. Hal ini dikarenakan 50% mahasiswa tidak pernah melakukan inisiatif melakukan penanggulangan iklim. Penanggulangan perubahan iklim merupakan upaya yang harus dilakukan oleh setiap orang seperti mengurangi dan mendaur ulang sampah, mengurangi kendaraan bermotor dan konservasi tanaman sebagai tutupan lahan. Upaya penanggulangan perubahan iklim juga berdampak pada kesuksesan tujuan pembangunan berkelanjutan yang menjadi tanggung jawab mahasiswa sebagai *agent of change*. Oleh karena itu, setiap orang harus berkomitmen dan mendukung program berkelanjutan di lingkungan kampus agar berdampak kepada kehidupan.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Menanamkan pemahaman dan penilaian positif pada program *green campus* pada mahasiswa merupakan hal yang tidak mudah. Keterlibatan seluruh elemen civitas akademika kampus sangat dibutuhkan untuk mewujudkan pemahaman yang berimplikasi pada terciptanya kampus sehat, mencerdaskan dan berkelanjutan. Secara keseluruhan, mahasiswa UM telah memiliki pemahaman dan pemahaman terhadap program *Green Campus* yang cukup tinggi. Indikator pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat menunjukkan skor tertinggi yakni sebesar 73,9%, indikator pengelolaan sampah sebesar 65,2%, indikator pengelolaan air sebesar 62% dan indikator pengelolaan transportasi sebesar 52,2%. Terdapat beberapa indikator yang memerlukan peningkatan pemahaman, antara lain indikator *energy and climate change* sebesar 45,7% dan indikator *setting and infrastructure* sebesar 27,2%.

Pemahaman dan persepsi dapat membentuk pemahaman untuk mewujudkan perguruan tinggi yang berkelanjutan melalui program *Green Campus*. Oleh karena itu, upaya dan cara menanamkan pemahaman pada mahasiswa sangat diperlukan dalam penelitian lebih lanjut, peningkatan infrastruktur dan implementasi regulasi dalam mewujudkan perguruan tinggi yang berkelanjutan.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar IR, Al-Shihri FS and Ahmed SM. 2016. Students' assessment of campus sustainability at the University of Dammam, Saudi Arabia. *Sustainability (Switzerland)* 8(1):1–14.
- Aleixo AM, Leal S and Azeiteiro UM. 2018. Conceptualization of sustainable higher education institutions, roles, barriers, and challenges for sustainability: An exploratory study in Portugal. *Journal of Cleaner Production* 172(1):1664–1673.
- Aliman M, Budijanto, Sumarmi and Astina IK. 2019. Improving environmental awareness of high school students' in Malang City through Earthcomm Learning in the Geography Class. *International Journal of Instruction* 12(4):79–94.
- Amin S. 2022. Improving environmental sensivity through Problem-Based Hybrid Learning (PBHL): An experimental study. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia* 11(3):387–398.
- Anggraeni TP, Japar M dan Syafrudin I. 2021. Hubungan sikap peduli lingkungan dengan partisipasi dalam memelihara lingkungan pada pedagang di Pasar Kalibaru Cilincing, Jakarta Utara. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)* 5(2):699–708.
- Anthony Jnr B. 2021. Green Campus paradigms for sustainability attainment in higher education institutions – a comparative study. *Journal of Science and Technology Policy Management* 12(1):117–148.
- Arent E, Sumarmi S, Dwiyono HU and Ruja I. 2020. Improving students' environmental care character through Positive Character Camp (PCC) Program. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists* 8(4):1329–43.
- Bautista-Puig N and Sanz-Casado E. 2021. Sustainability practices in Spanish Higher Education Institutions: An Overview of status and implementation. *Journal of Cleaner Production* 295(1):1–12.
- Chairani C, Ropiah S dan Hidayatullah AF. 2023. Sikap dan pengetahuan mahasiswa

- Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang terhadap limbah pangan (food waste). *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)* 7(2):165–179.
- Edsand HE and Broich T. 2020. The Impact of environmental education on environmental and renewable energy technology awareness: empirical evidence from Colombia. *International Journal of Science and Mathematics Education* 18(4):611–634.
- Handoyo B, Astina IK and Mkumbachi RL. 2021. Students' environmental awareness and pro-environmental behaviour: preliminary study of Geography Students at State University of Malang [Proceeding]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Hermann RR and Bossle MB. 2020. Bringing an entrepreneurial focus to sustainability education: a teaching framework based on content analysis. *Journal of Cleaner Production* 246(1):119038.
- Khoiri A, Widha S, Sajidan S and Sukarmin S. 2021. Analysing students' environmental awareness profile using strategic environmental assessment. *F1000Research* 10(305):1–27.
- Lualhati GP, Frances JA, Catibog RAL, Holgado and Liwanag JMA. 2018. Discovering ecological awareness of filipino education students. *International Journal of Applied Science* 1(2):37–43.
- Mahat H. 2022. A study on the responsibility of environmental ethics among secondary school students in the 21st Century. *International Journal of Educational Methodology* 8(3):585–593.
- Mkumbachi RL, Astina IK and Handoyo B. 2020. Environmental awareness and pro-environmental behavior: a case of university students in Malang City. *Jurnal Pendidikan Geografi* 25(2):161–169.
- Radinger-Peer V and Pflitsch G. 2017. The role of higher education institutions in regional transition paths towards sustainability: the case of Linz (Austria). *Review of Regional Research* 37(2):161–187.
- Ribeiro JMP. 2019. Students' opinion about green campus initiatives: a South American University Case Study [Proceeding]. In *World Sustainability Series*, Springer International Publishing, 437–52.

- Rybarczyk G. 2018. Toward a spatial understanding of active transportation potential among a university population. *International Journal of Sustainable Transportation* 12(9):625–636.
- Safarkhani M and Örnek MA. 2022. The meaning of green campus in UI GreenMetric World University Rankings Perspective. *A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture* 19(2):315–334.
- Saputro HWA. 2022. Penerapan kriteria green campus pada aspek transportasi di area Universitas Negeri Malang berdasarkan rating tools UI Green Metric [Undergraduate Thesis]. Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang. Malang.
- Schweizer, Ruesch C, di Giulio A and Burkhardt-Holm P. 2019. Scientific support for redesigning a higher-education curriculum on sustainability. *Sustainability (Switzerland)* 11(21):6035.
- Sumarmi, Bachri S, Baidowi A and Aliman M. 2020. Problem-based service learning's effect on environmental concern and ability to write scientific papers. *International Journal of Instruction* 13(4):161–176.
- Sumarmi, Bachri S, *et al.* 2022a. Assessing Bedul Mangrove Ecotourism Using green and fair strategy empowerment to fulfill SDGs 2030 agenda for tourism. *Environmental Research, Engineering and Management* 78(2):73–87.
- Sumarmi, Masruroh H, Anggara A and Amin S. 2022b. Sapu Bumi Segoro (SABURO) gerakan peduli sampah menuju laut bersih berkelanjutan di Dusun Sendang Biru Kabupaten Malang. *Dinamika Sosial: Jurnal Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial* 1(3):209–222.
- Sumarmi, Wahyuningtyas N, Sahrina A and Aliman A. 2022c. The effect of Environmental Volunteer Integrated with Service Learning (EV_SL) to Improve student's environment care attitudes and soft skills. *Pegem Egitim ve Ogretim Dergisi* 12(1):168–176.
- Sumarmi, Putra AK and Tanjung A. 2023. Developing digital natural laboratory based on edutourism for Environmental Geography. *TEM Journal* 12(1):224–232.
- Wakkee I, van der Sijde P, Vaupell C and Ghuman K. 2019. The university's role in sustainable development: activating entrepreneurial scholars as agents of change. *Technological Forecasting and Social Change* 141(1):195–205.

- Wibowo NA, Sumarmi S, Utaya S and Bachri S. 2023. Students' environmental care attitude: a study at Adiwiyata Public High School based on the New Ecological Paradigm (NEP). *Sustainability (Switzerland)* 15(11): 8651.
- Yáñez S, Uruburu A, Moreno A and Lumbreras J. 2019. The Sustainability report as an essential tool for the holistic and strategic vision of higher education institutions. *Journal of Cleaner Production* 207(1):57–66.
- Yildiz Y and Budur T. 2019. Introducing environmental awareness to college students with curricular and extracurricular activities. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences* 9(3):666–675.

Marine gastropod at the intertidal zone of Rutong Village, Ambon Island as an indicator of water quality

Gastropoda laut pada zona intertidal Negeri Rutong, Pulau Ambon sebagai indikator kualitas perairan

Sara Haumahu^{1*}, Prulley A. Uneputty², Juliana Natan²

¹Jurusan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

²Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

Abstrak.

Studi tentang keragaman gastropoda laut di perairan Maluku sebagai indikator kualitas lingkungan masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari komposisi spesies dan menganalisis kepadatan ekologi, kelimpahan, dan frekuensi kehadiran gastropoda laut serta menganalisis indeks ekologi gastropoda pada zona intertidal Desa Rutong, Pulau Ambon, Maluku. Sebanyak 53 spesies gastropoda laut ditemukan pada zona intertidal Desa Rutong yang termasuk dalam 41 genera, 22 famili dan 6 ordo. Muricidae, Neritidae dan Tegulidae merupakan famili dari gastropoda laut yang memiliki kepadatan ekologi dan kelimpahan tertinggi. Beberapa spesies yang dominan ditemukan pada lokasi sampling adalah *Nerita patula*, *Rochia nilotica*, *Tenguella granulata*, *Nassarius pullus*, *Clypeomorus battilariaeformis*, *Monetaria annulus*, *Monodonta calanifera* dan *Conus miles*. Pada umumnya gastropoda laut yang ditemukan memiliki penyebaran yang terbatas. Indeks keragaman Shannon-Wiener (H') dari gastropoda laut berkisar 1,56 - 3,46, termasuk dalam kategori sedang sampai tinggi. Sebaliknya indeks Evenness Pielou's dari gastropoda laut termasuk kategori stabil, nilai E berkisar 0,61-0,95. Sebaliknya indeks dominansi Simpson (D) berkisar 0,05 - 0,30, termasuk kategori rendah. Perairan pantai Desa Rutong dapat dikategorikan sebagai perairan yang mengalami polusi yang moderat sampai ringan.

Kata kunci: Gastropoda laut, keragaman spesies, zona intertidal, Negeri Rutong

Abstract.

*Studies on marine gastropod diversity as an indicator of water quality in Maluku province are rare. The research objectives are to study marine gastropod species composition and analyze its ecological density, abundance and frequency of occurrence, as well as to analyze an ecological index at the intertidal zone of Rutong village, Ambon Island, Maluku. 53 species of marine gastropods found in the intertidal zone, belonging to 41 genera, 22 families and 6 order. Muricidae, Neritidae and Tegulidae were marine gastropod families with higher ecological density and abundance. Some dominant species known as key species in this region were *Nerita spatula*, *Rochia nilotica*, *Tenguella granulate*, *Nassarius pullus*, *Clypeomorus battilariaeformis*, *Monetaria annulus*, *Monodonta calanifera* and *Conus miles*. Generally, the species of marine gastropods in this study area have limited distribution. Shannon-Wiener diversity index (H') of marine gastropods is in a medium to high category, which varies between 1.56 to 3.46. Meanwhile, Pielou's evenness index (J') is in the stable category, in which the value was from 0.61 to 0.95. Whereas, Simpson's dominance index varied from 0.05-0.30, which is in the low category. The coastal water of Rutong village can be categorized as moderately polluted waters to unpolluted waters.*

Keywords: Marine gastropod, species diversity, intertidal zone, Rutong village

1. INTRODUCTION

The waters of Rutong village are semi-enclosed. Water quality is influenced by the activity of humans inhabiting coastal areas. Local community activities such as throwing domestic waste into the sea, making the waters of Rutong village rubbish dumps and development activity land-based around the Ambon area have resulted in a high volume of sediment entering the sea during the rainy season.

These human activities are the trigger factor in the anthropogenic process that occurs on Ambon Island and its surroundings, and they influence the water quality of

the southern part of Ambon Island. This will further affect the health of the marine environment. A healthy ocean is characterized by clear waters (goal 9 of IKLI) and high biodiversity (goal 10 of IKLI) (Nikijuluw *et al.* 2023). Nowadays, no information is available on this region's water quality.

Gastropods belong to the phylum Mollusca. Mollusca are the second largest phylum after Arthropoda in rich species, estimated at 80.000-100.000 described species. Of the seven molluscan classes, gastropods consisted of more than 80% species (Strong *et al.* 2008; Baharuddin *et al.* 2018). Gastropods are animals that have soft bodies and are covered by a single coiled and calcareous shell with various shape, color and size (Pechenik 2016). Gastropods play an important role in marine ecosystems, especially in the marine food chain. Gastropods are natural food for many fishes and birds. Gastropod also has an economically important as a source of protein, medicine, dye and decoration (Baharuddin *et al.* 2018).

Gastropods can be used as bioindicators of water quality because gastropods exhibit extremely limited mobility or sessile organisms. Gastropods are algae feeders, carnivores, deposit feeders and detritivores. These organisms are abundant in the intertidal zone and widely distributed because of their wide adaptation (Strong *et al.* 2008; Pechenik 2016). Gastropods are living organism that are sensitive to the change of water quality in the area in which they lives, so it can influence the density and population diversity of this class (Strong *et al.* 2008; Baharuddin *et al.* 2018).

Considering that the changes or disturbances in the marine environment will certainly affect the structure of the gastropod community. The existence and distribution of gastropods are strongly influenced by abiotic and biotic factors such as food sources, environmental conditions, predators and competition. Pressure and environmental changes affect the total family and composition of organisms. Changes in the structure of gastropod community can act as an indicator of pressure or disturbance in an ecosystem (Pawar and Al-Tawaha 2017).

Research in ecology and biodiversity of gastropod community has been widely conducted in Maluku Province, including Ambon Island (Rumahlatu and Leiwakabessy 2017; Supusepa 2018; Supusepa and Hulopi 2018; Supusepa and Saleky 2022;

Haumahu and Uneputty 2022a; Haumahu and Uneputty 2022b; Haumahu *et al.* 2023a; Haumahu *et al.* 2023b; Haumahu and Uneputty 2023; Natan *et al.* 2023); Saparua Island (Islami *et al.* 2018); Nusalaut Island (Islami 2015) and Haruku Island (Persuleddy and Arini 2018; Uneputty *et al.* 2018; Haumahu *et al.* 2014; Haumahu and Uneputty 2018; Uneputty *et al.* 2019; Uneputty *et al.* 2021; Haumahu and Uneputty 2021; Marasabessy 2022; Haumahu *et al.* 2023a) gastropods were found on the rocky shore, sandy shore and seagrass bed, which shows that they are important organisms in marine ecosystems.

Research on gastropod community structure at the Rutong intertidal zone, as well as its status of water quality, is scarce. Therefore, this study was conducted to identify species composition, estimate its ecological density, abundance and frequency of occurrence and analyze the ecological index of the marine gastropod communities. Because the marine gastropod diversity can be used as a bioindicator of water quality (Nikijuluw *et al.* 2023). The results of this study can be used to determine water quality based on gastropod community structure in Maluku province and to obtain new information on marine gastropod species diversities.

2. RESEARCH METHODS

2.1. Field work

The research was conducted at the intertidal zone of Rutong village, Ambon Island, in September 2023 with 3 sampling stations (**Figure 1**). Sampling was carried out using random sampling methods (Khouw 2016) with a 5 x 5 meter quadrant plot. Sampling was conducted at the low tide during the day. The number of plots at each location was 5 plots, so the total number of plots was 15 plots.

All gastropod specimens were identified, enumerated and recorded in the field. The specimens were collected, fixed with 10% formalin, placed in a labeled plastic bag and brought to the Marine Science Laboratory, Faculty of Fisheries and Marine Science, Pattimura University, Ambon, for further identification.

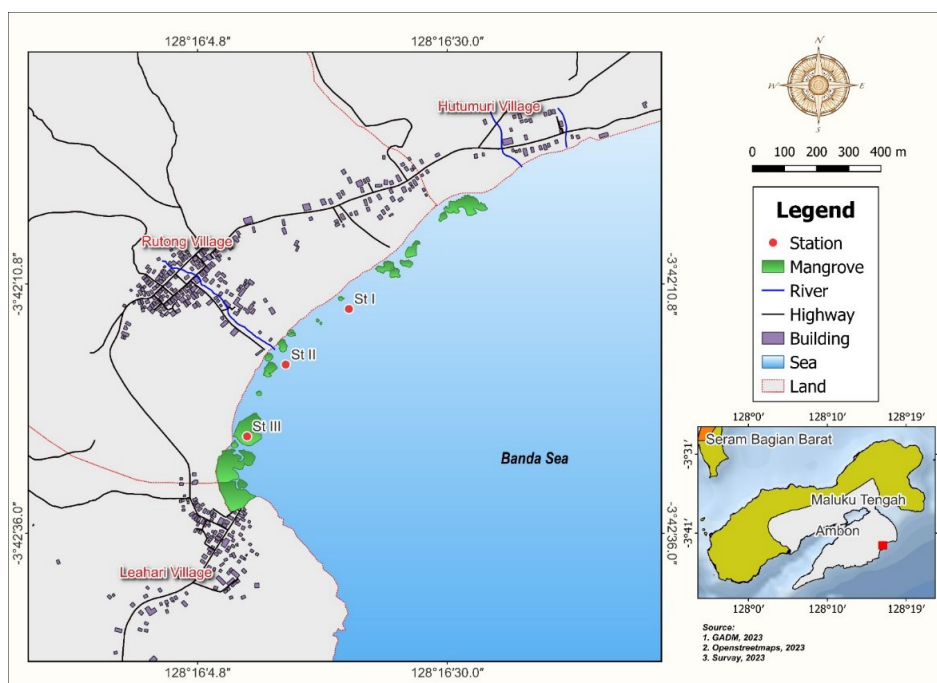


Figure 1. Research location.

The gastropods were identified to species level following keys by Dharma (2005) and the World Register of Marine Species (<https://www.marinespecies.org/>) were referred for the correct gastropod names. Physical parameters of water at each plot, such as temperature measured using handheld temperature, salinity measured by refractometer, pH measured by pH meter and dissolved oxygen was measured by DO meter.

2.2. Data Analysis

Ecological density, abundance and frequency of occurrence of marine gastropods were calculated based on Khouw (2016) as follow **Equation 1**, **Equation 2** and **Equation 3**.

$$\text{Ecological density (ind. m}^{-2}\text{)} = \frac{\text{Number of individu of } i \text{ species}}{\text{Total area of plot where species } i \text{ was found}} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Abundance (ind.)} = \text{number of individual of } i \text{ species} \times \text{total area} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Frequency of occurence (\%)} = \frac{N_{i.St}}{N.St} \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

Notes:

$N_{i.St}$ = The total number of plots where the species i was found.

$N.St$ = The total number of sampling plots.

The Shannon-Wiener diversity indices (H') are used to describe species/genera diversity and species/genera richness within marine gastropods of research (Krebs 2009; Odum and Barrett 2005) as follow **Equation 4**. The Shannon diversity is classified as three categories: low ($H' < 2$); moderate ($2 < H' < 4$); and high ($H' > 4$) (Magurran 2005).

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \dots\dots\dots(4)$$

Notes:

H' = The value of the Shannon-Wiener diversity index

P_i = The proportion of i^{th} species

$\ln$ = The natural logarithm of P_i

s = The number of species in the community

The evenness index of the species was calculated using Pielou's evenness index (Bakus 2007), as written as **Equation 5**. Species evenness index ranges from zero to one, with zero signifying no evenness and one is a complete evenness.

$$J' = H' / H'_{\max} \dots\dots\dots(5)$$

Notes:

H' = The Shannon-Wiener diversity index

$H'_{\max}$ = The natural logarithm of species richness.

The dominance index of marine gastropods was calculated using Simpson dominance index (Magurran and McGill 2011) as follow as **Equation 6**.

$$D = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2 \dots\dots\dots(6)$$

Notes:

D = The value of Simpson dominance index

n_i = The number of individuals of i^{th} species

N = The total number of individuals of gastropod found

To determine water quality based on marine environment health indicator, the gastropod species diversity index is used following the Shannon-Wiener criteria (**Table 1**).

Table 1. Shannon-Wiener criteria.

Shannon-Wiener Index	Category
< 1	heavy polluted waters
$1.0 \leq H' < 2.0$	moderate polluted waters
$2.0 \leq H' < 3.0$	lightly polluted waters
$3.0 \leq H' < 4.0$	very lightly polluted waters
$H' > 4.0$	unpolluted waters (clean waters)

Source: Magurran and McGill (2011)

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1. Water quality parameters

The analysis of the water quality parameters (**Table 2**) showed that the average temperature in the study site was 28.87°C, the average salinity was 18.68 psu, the pH was 8.37 and the average dissolved oxygen was 10.46 ppm. Salinity in this location was low because there is a river flow through the seawater, which decreased seawater salinity around this area. The pH value was in a stable range to support the ecological processes of gastropods (Haumahu *et al.* 2016). On the other hand, the value of dissolved oxygen was high due to the water conditions being quite heavy because of the strong wind. This in turn causes water to stir and increase oxygen level (Nybakken and Bertness 2009). Natan *et al.* (2023) found that during low tide, water temperature at Rutong village varied from 27-30 °C; salinity ranged between 26-33 psu and pH varied from 6-7. This means that temperature and pH were not significantly different, while salinity found in this study was lower than that found by Natan *et al.* (2023). This is because the weather was bad during the sampling, with heavy rain during the day.

Table 2. The average value of temperature (°C), salinity (psu), pH and dissolved oxygen (DO, ppm) at the Rutong intertidal zone

Station	Temperature (°C)	Salinity (psu)	pH	DO (ppm)
1	28.5±0	23.5±0.71	8.29±0.06	10.90±0.14
2	28.60±0.56	17.53±3.02	8.28±0.03	10.37±0.24
3	29.5±0.00	15.00±6.97	8.55±0.21	10.65±0.21
Average	28.87	18.68	8.37	10.64

3.2. Marine gastropod species composition

A total of 53 species of marine gastropod found in the intertidal zone of Rutong village, belonging to 41 genera, 22 families and 6 order (**Table 3**). Neogastropoda is the order which has high number of species (20 species), followed by Littorinimorpha (12 species) especially Cypraeidae family (6 species) and the order of Trochida (8 species). The higher number of marine gastropods from Neogastropoda due to Neogastropoda is dominant gastropod found in benthic environments in tropical seas. From the total of 60.000 species of marine gastropod, Neogastropoda has higher number of species or has high species richness (about 16.000 living species) including

Conidae, Muricidae, Volutidae, Terebridae and Buccinidae (Cunha *et al.* 2009; Geiger 2006).

Table 3. Marine gastropod species composition at Rutong intertidal zone, Ambon Island.

Oder	Family	Genera	Species
Cycloneritida	Neritidae	<i>Nerita</i>	<i>Nerita patula</i> Récluz, 1841 <i>Nerita chamaeleon</i> Linnaeus, 1758 <i>Patelloida saccharinoides</i> Habe & Kosuge, 1966
	Lottiidae	<i>Patelloida</i>	
Lepetellida	Haliotidae	<i>Haliotis</i>	<i>Haliotis varia</i> Linnaeus, 1758
Trochida	Trochidae	<i>Monodonta</i>	<i>Monodonta canalifera</i> Lamarck, 1816 <i>Monodonta labio</i> (Linnaeus, 1758)
		<i>Trochus</i>	<i>Trochus maculatus</i> Linnaeus, 1758
	Tegulidae	<i>Rochia</i>	<i>Rochia nilotica</i> (Linnaeus, 1767)
		<i>Tectus</i>	<i>Tectus fenestratus</i> (Gmelin, 1791)
	Turbinidae	<i>Lunella</i>	<i>Lunella cinerea</i> (Born, 1778)
		<i>Astrea</i>	<i>Astrea calcar</i> (Linnaeus, 1758)
		<i>Turbo</i>	<i>Turbo bruneus</i> (Röding, 1798)
Neogastropoda	Pisaniidae	<i>Engina</i>	<i>Engina zonalis</i> (Lamarck, 1822) <i>Engina mendicaria</i> (Linnaeus, 1758) <i>Polia undosa</i> (Linnaeus, 1758)
		<i>Polia</i>	
		<i>Pardalinops</i>	<i>Pardalinops testudinaria</i> (Link, 1807)
	Columbellidae	<i>Tylothais</i>	<i>Tylothais aculeata</i> (Deshayes, 1844)
		<i>Tenguella</i>	<i>Tenguella granulata</i> (Duclos, 1832)
		<i>Drupella</i>	<i>Drupella margariticola</i> (Broderip, 1833)
		<i>Reishia</i>	<i>Reishia bitubercularis</i> (Lamarck, 1822)
		<i>Nassa</i>	<i>Nassa sarta</i> (Bruguière, 1789)
	Nassaridae	<i>Nassarius</i>	<i>Nassarius pullus</i> (Linnaeus, 1758) <i>Nassarius reeveanus</i> (Dunker, 1847) <i>Nassarius limnaeiformis</i> <i>Nassarius niger</i> (Hombron & Jacquinot, 1848)
		<i>Volema</i>	<i>Volema myristica</i> Röding, 1798
		<i>Pugilina</i>	<i>Pugilina morio</i> (Linnaeus, 1758)
		<i>Mitra</i>	<i>Mitra edentula</i> Swainson, 1823
	Mitridae	<i>Nebularia</i>	<i>Nebularia eremitarum</i> (Röding, 1798)
		<i>Strigatella</i>	<i>Strigatella pica</i> (Dillwyn, 1817)
		<i>Pseudonebularia</i>	<i>Pseudonebularia tabanula</i> (Lamarck, 1811)
		<i>Oliva</i>	<i>Oliva guttata</i> Fischer von Waldheim, 1808
	Olividae		
Caenogastropoda	Conidae	<i>Conus</i>	<i>Conus marmoreus</i> Linnaeus, 1758 <i>Conus miles</i> Linnaeus, 1758 <i>Cymbiola vesperilio</i> (Linnaeus, 1758)
	Volutidae	<i>Cymbiola</i>	
Littorinimorpha	Cerithiidae	<i>Clypeomorus</i>	<i>Clypeomorus batillariaeformis</i> Habe & Kosuge, 1966
	Potamididae	<i>Terebralia</i>	<i>Terebralia sulcata</i> (Born, 1778) <i>Terebralia palustris</i> (Linnaeus, 1767)
	Littorinidae	<i>Littoraria</i>	<i>Littoraria scabra</i> (Linnaeus, 1758) <i>Littoraria melanostoma</i> (Gray, 1839) <i>Littoraria undulata</i> (Gray, 1839)
		<i>Monetaria</i>	<i>Monetaria moneta</i> (Linnaeus, 1758)
		<i>Luria</i>	<i>Luria isabella</i> (Linnaeus, 1758)
	Cypraeidae	<i>Staphylaea</i>	<i>Staphylaea limacina</i> (Lamarck, 1810)
		<i>Monetaria</i>	<i>Monetaria annulus</i> (Linnaeus, 1758)
		<i>Naria</i>	<i>Naria helvola</i> (Linnaeus, 1758)
		<i>Erronea</i>	<i>Erronea cylindrica</i> (Born, 1778)
		<i>Conomurex</i>	<i>Conomurex luhuanus</i> (Linnaeus, 1758)
		<i>Gibberulus</i>	<i>Gibberulus gibberulus</i> (Linnaeus, 1758)
		<i>Canarium</i>	<i>Canarium labiatum</i> (Röding, 1798) <i>Canarium mutabile</i> (Swainson, 1821)
	Bursidae	<i>Lampasopsis</i>	<i>Lampasopsis cruentata</i> (G. B. Sowerby II, 1835)
	Cymatidae	<i>Monoplex</i>	<i>Monoplex pilearis</i> (Linnaeus, 1758)
Total 6	22	41	53

Cypraeidae and Muricidae families also are gastropods with high number of species compare to other families in this study area. This is because Cypraeidae and Muricidae are marine gastropods generally inhabit coral flat at the coastal zone (Cunha

et al. 2009; Strong *et al.* 2008). Neritidae, such as *Nerita*, usually inhabit marine environment, while *Neritina* and *Clithon* commonly found at estuarine and fresh water (Geiger 2006; Poutiers 1998). Neritidae family has low number of species compare to that from this family found at Oma village (Haumahu and Uneputty 2018; Haumahu *et al.* 2023a).

A total of 10 species of *Nerita* from Neritidae found at intertidal zone of Oma village, i.e, *Nerita polita*, *Nerita patula*, *Nerita maxima*, *Nerita plicata*, *Nerita albicilla*, *Nerita chamaeleon*, *Nerita exuvia*, *Nerita undata*, *Nerita costata* and *Nerita signata* (Haumahu and Uneputty 2018). This difference is because of the different of type of substrate. The substrate at the intertidal zone of Rutong village is dominated by sandy substrate associated with seagrass bed and reef flat. Rocky substrate only exists at the upper part of intertidal zone (supralittoral zone) in which dominated by pebbles. Meanwhile, the substrate at intertidal zone of Oma village is made up of gravel sand and large stones (Haumahu *et al.* 2023a).

There were some species found in specific habitats on this sampling site. *Nerita patula* is dominant in rubble associated with sand. *Monetaria annulus*, *Clypeomorus battilaeriformis* and *Tenguella granulata* are commonly found in reef flats. *Nassarius pullus* is dominant in sandy substrate. Whereas *Rochia nilotica* is an inhabited reef flat associated with sandy substrate and seagrass. *Nerita albicilla* is usually found in open area of coastal zone with high waves. Unfortunately, this species was not found in this study, because the region is semi-enclosed with water.

Species richness of marine gastropod in this study was lowest compared to the previous study conducted in Maluku province. A total of 65 species and 78 species of marine gastropod found at intertidal zone of Ambon Island, respectively (Rumahlatu and Leiwakabessy 2017; Haumahu and Uneputty 2022b), whereas 85 species of marine gastropod found in Saparua Island (Islami *et al.* 2018). Moreover, a total of 92 species of marine gastropod found in Haruku Island (Oma village) (Haumahu *et al.* 2023a). Haumahu and Uneputty (2022a) in the previous study at the intertidal zone of Rutong Village found only 23 species of marine gastropod in this study area on November 2020. Natan *et al.* (2023) also found 47 genera of marine gastropod which consisted of 74 species from Rutong village at sampling May to December 2016. These differences are due to different sampling times and environmental conditions. When

the sampling was carried out at Rutong village, the water level on the tidal scale was 0.5. In addition, the high and low level of species richness of marine gastropod found indicating that the adaptability of marine gastropod to varying environmental conditions.

Gastropod is an organism that has high adaptability, so that this animal is able to survive in various habitats or location with widely distribution. The distribution of organisms in relation to habitat is very important factor in ecology. Distribution and aggregation pattern are strongly influenced by physical and biological factor such as sediment characteristic, water movement, seasonal, competition, predation, reproduction and recruitment (Shou *et al.* 2009).

3.3. Ecological density, abundance and frequency of occurrence

Ecological density is density which refers to a total area of habitat available to the species. Natural biotic component is characterized by a few species that are common, which represented by large number of individuals or biomass and large number of species that are rare in time and space (Krebs 2009).

Ecological density of marine gastropod at intertidal zone of Rutong village varied between 1.00 ind.m⁻² and 11.7 ind.m⁻². At Rutong 1, the ecological density varied from 1.00 ind.m⁻² to 11.7 ind.m⁻². At Rutong 2, the value ranges from 1.00 ind.m⁻² to 12 ind.m⁻². Meanwhile, at Rutong 3, the value varied from 1.00 ind. m⁻² dan 10.50 ind. m⁻² (Figure 2).

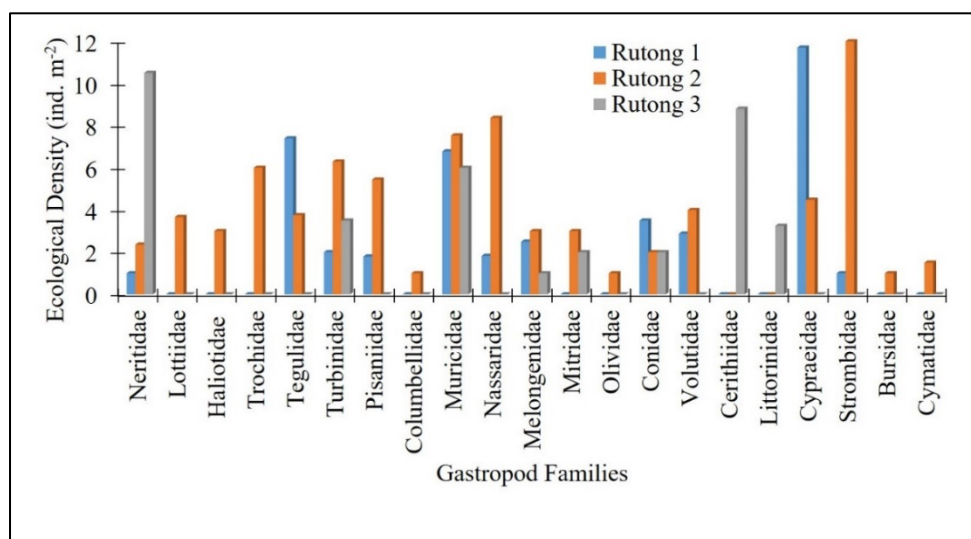


Figure 2. Ecological density of marine gastropod found in Rutong intertidal zone.

It can be seen from **Figure 2** that the families of Cypraeidae and Tegulidae have higher value of ecological density at Rutong 1 compared to another station in this study area. *Luria isabella* and *Monetaria moneta* were marine gastropods from Cypraeidae which have higher ecological density. This is because these species commonly found at the substrate of dead coral mixed with sand. Substrate at Rutong 1 is dominated by dead coral and sand associated with seagrass. Whereas the substrate at Rutong 2 and Rutong 3 are dominated by seagrass and gravel. *Luria isabella* and *Monetaria moneta* commonly found at rocky intertidal zone and coral flat substrate (Shou *et al.* 2009). At Rutong 2, Strombidae, Nassaridae and Muricidae have high value of ecological density.

Strombidae was represented by *Gibberulus gibberulus* and *Conomurex luhuanus*. This is because these species also found at sandy substrates mixed with coral and associated with seagrass. These species, eventought only found in some sampling plots, are relatively higher. Consequently, its ecological density is also higher.

In addition, gastropod from Nassaridae also has high value of ecological density in this sampling station. This is due to the higher number of individuals from these families (90 individual) which found on three sampling plots. At Rutong 3, Neritidae has a high value of ecological density, which represented by *Nerita patula*. *N. patula* commonly inhabits the upper intertidal zone and usually found at substrate consisted of gravel sand.

The abundance of gastropod varied between 1250 individual and 15000 individuals in total area of 5000 m² (**Figure 3**). Cypraeidae has the greatest value of abundance in Rutong 1 (14625 individual). This family was represented by *Luria isabella*, *Monetaria moneta* and *Naria helvola*. Marine gastropod which has high value of abundance in Rutong 2 was represented by family Strombidae (15000 individual) especially from *Gibberulus gibberulus*. Strombidae is marine gastropod commonly found with high abundance at the shallow water of seagrass ecosystems (Poutiers 1998). The families of Cerithidae and Neritidae have the greatest abundance in Rutong 3 (1000 individuals and 10625 individuals, respectively). Cerithidae family represented by *Terebralia palustris*. *Terebralia palustris* found with high abundance in Rutong 3 because almost this species found in mangrove community and at the substrate consist of coral mixed with sand. Neritidae represented by *Nerita patula*, which found at the upper intertidal zone (Haumahu *et al.* 2023b).

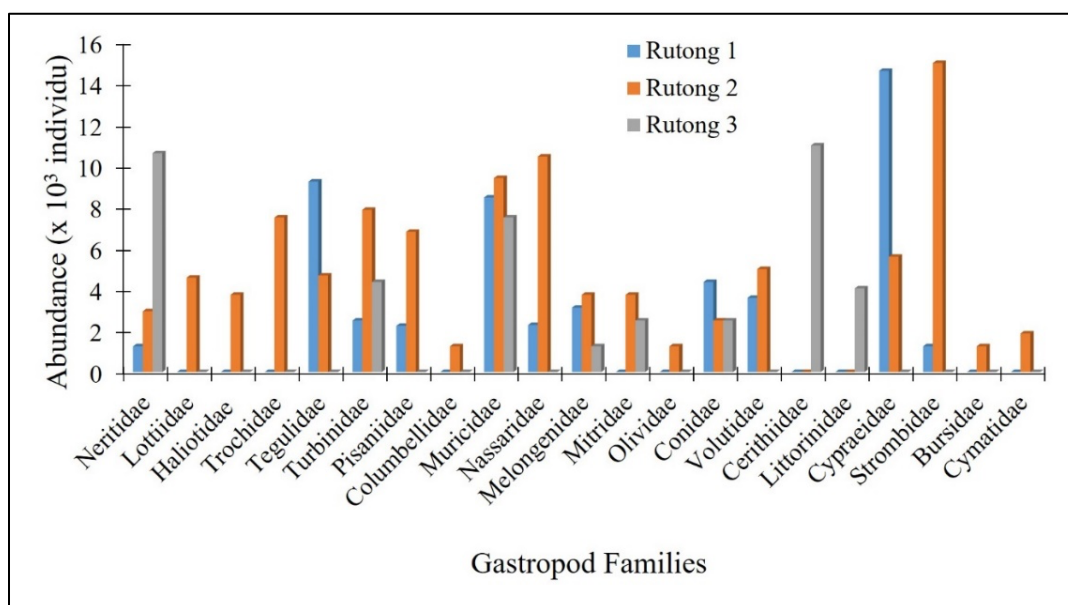


Figure 3. Abundance of marine gastropod found in Rutong intertidal zone.

Frequency of occurrence means that the ratio between the presence of one species at sampling plot and total sampling plots in one sampling area. Frequency of occurrence represents species distribution along study areas. Frequency of occurrence of marine gastropod at Rutong intertidal zone varied between 10% and 62.5% (**Figure 4**). This means that marine gastropod in this area only found at 10% to 62% of total sampling area.

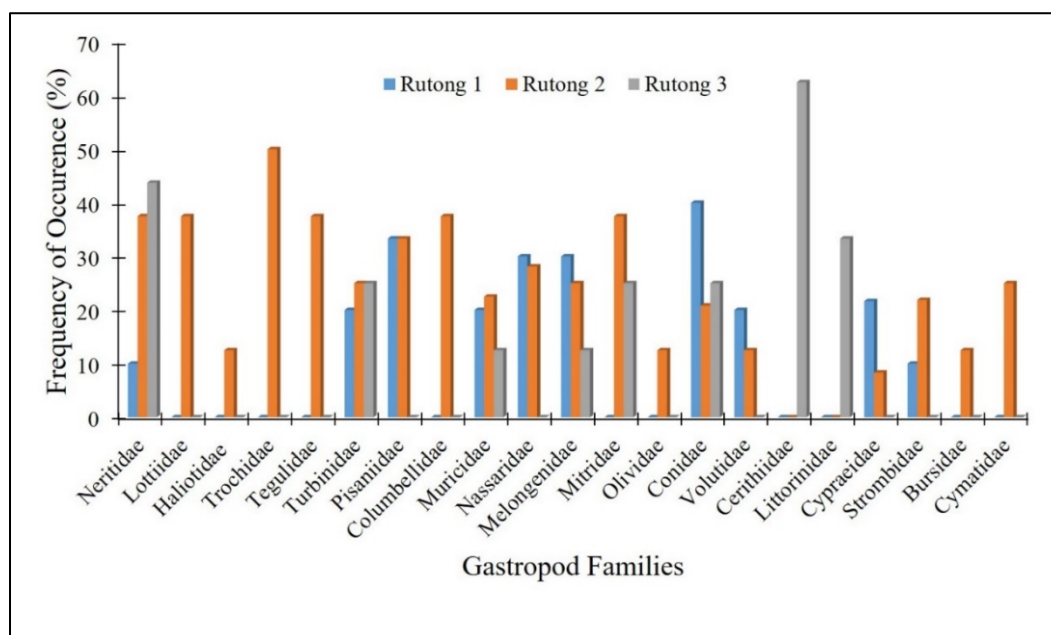


Figure 4. Frequency of occurrence of marine gastropod found in Rutong village.

The greatest value of frequency of occurrence of marine gastropod at Rutong 1 was represented by Conidae (40%). Compared to another marine gastropod species in Rutong 1, *P. undosa* is the species which has the greatest value of frequency of occurrence (70%), so it can be said that this species is distributed widely. Frequency of occurrence of marine gastropod at Rutong 2 varied from 12.5% to 50%. It means that mostly marine gastropod species have narrow distribution, because those species only found at some sampling plots.

In general, there were some species of marine gastropod found at 40-50% of total sampling area. These species were *N. patula*, *P. sacharinoides*, *P. testudinaria*, *T. aculeata*, *N. niger*, *G. gibberulus* and *Conus miles*. Based on its habitat characteristic, each species usually inhabit different habitat as well as different types of substrate (Cob *et al.* 2009; Shou *et al.* 2009). The frequency of occurrence of marine gastropod at Rutong 3 ranged between 12.5 % and 62.5%.

This results also showed that the distribution of the species is narrowed distribution, because those species cannot be found at whole sampling area and only at some sampling plots. *N. chamaeleon*, *T. sulcata* and *T. palustris* were marine gastropod species which have the greatest frequency of concurrency at Rutong 3. These species commonly found at upper part of intertidal zone in associated with mangrove trees (Saleky *et al.* 2023).

3.4. Ecological index of marine gastropod

Species diversity is influenced by two factors, namely the number of species (species richness) and the distribution of total number of individuals among those species (species evenness). High species diversity represents both a high number of species and high species evenness. High species diversity is an indicator of stability of marine environments and communities (Magurran 2005; Bakus 2007) and also unpolluted water (Panggabean *et al.* 2020).

Ecological index of marine gastropod at Rutong intertidal zone (**Table 4**) showed that Shannon-Wiener diversity index (H') ranges between 1.56 to 3.46. The highest value found in Rutong 2. This value of diversity index was categorized as moderate to high diversity. This is because the highest number of species and the proportion of an individual of each species were moderate to uniform distribution (Magurran and McGill 2011).

Table 4. Ecological index of marine gastropod at Rutong intertidal zone.

Parameter	Rutong 1	Rutong 2	Rutong 3
S	21	40	13
J'	0.95	0.94	0.61
H'	2.89	3.46	1.56
D	0.05	0.03	0.30
N1	18.06	31.79	4.77
N2	16.06	26.48	3.33

Noted: S: number of species; J': evenness index; H': Shannon-Wiener diversity index; D: Simpson dominance index; N1: common species; and N2: rare species.

Evenness index (J') of marine gastropod at Rutong intertidal zone ranges from 0.61 to 0.95. The greatest value of evenness index of marine gastropod found in Rutong 1 (J' = 0.95), while the lowest value was in Rutong 3 (J' = 0.61). Generally, this evenness index of marine gastropod in this study is in the high category or in a stable community.

This means that the distribution of an individual of each marine gastropod species are nearly uniform distributed (Magurran 2005; Odum and Barrett 2005). Evenness index (J') ranges from zero to one, if J' is closed to one means that the distribution of an individual between species is uniform, while the value of J' is closed to zero means no uniform distribution of the species (Bakus 2007; Krebs 2009).

Simpson dominance index (D) of marine gastropod at Rutong intertidal zone varied from 0.05 to 0.30. Dominance index of marine gastropods in this research is in low category (Krebs 2009), which means that there is no species dominated the gastropod community in this sampling site. The Simpson dominance index varied from zero (0) to one (1). If D = 1, means the greatest dominance of gastropod communities, while D = 0, means the lowest dominance. The Simpson dominance index in this study showed low dominance and moderate to high diversity.

In natural environment, most communities have a characteristic species structure that consist of few species that are abundance and a large number of species that are uncommon (rare species) (Odum and Barrett 2005). Marine gastropod species at Rutong intertidal zone, which in rare category, varied between sampling sites. There were 19 species of gastropod in rare category found at Rutong 1, while 32 rare species found at Rutong 2, and 5 rare gastropod species found at Rutong 3. These rare gastropod species contribute to the gastropod species diversity at Rutong intertidal zone. The same thing also happens to the common category species (N2) which

contribute to the dominant gastropod species. There were 17 species of marine gastropod found at Rutong 1 which is in common category, while 27 common gastropod species found in Rutong 2, and 4 common gastropod species found at Rutong 3.

In order to determine water quality at based on diversity index of marine gastropods (Magurran and McGill 2011), the result showed that water quality of Rutong intertidal zone is in the category of moderate polluted water ($1.0 < H' \leq 2.0$) to very lightly polluted ($3.0 \leq H' \leq 4.0$). It can be seen from the Shannon diversity index (Table 3) that Rutong 3 was categorized as moderate polluted water, while Rutong 1 and Rutong 2 were categorized as very lightly polluted water. This was supported by Simpson dominance index which was no dominance species in gastropod community.

The correlation between water quality and ecological abundance of marine gastropods at Rutong intertidal zone (Table 5) showed that temperature, salinity, pH and dissolved oxygen have negative effect on ecological abundance. Dissolved oxygen has a negative significant correlation to abundance of marine gastropods in this study area. Meanwhile, salinity has an important effect on the distribution and survival of marine gastropods. The value of salinity in this study area was low (the value ranges from 15 to 23.5 psu) (Table 2). This is because of the inflow from the river to the sea. These results showed that the water quality of Rutong village is relatively clean and able to support the live of marine organisms that inhabit this location.

Table 5. The correlation between water quality and ecological abundance of marine gastropods at Rutong intertidal zone.

Parameters	Temperature (°C)	Salinity (psu)	pH	DO (ppm)	Ecological abundance
Temperature (°C)	1,00				
Salinity (psu)	-0,79	1,00			
pH	0,99	-0,71	1,00		
DO (ppm)	-0,06	0,66	0,07	1,00	
Ecological abundance	-0,52	-0,11	-0,62	-0,82	1,00

4. CONCLUSION

Total of 53 species of marine gastropods found at Rutong intertidal zone belonging to 41 genera, 22 families and 6 order. The number of species varied between sampling stations. The gastropod species belonging to the family Muricidae and

Neritidae have the greatest value of ecological density, while Muricidae, Neritidae and Tegulidae have the greatest value of abundance. Generally, the distribution of marine gastropods at Rutong intertidal zone was limited distribution. Diversity of marine gastropods in this research is categorized as low diversity to moderate diversity. Evenness index was in the high category and dominance was in the low category. The water quality of Rutong village is relatively clean and able to support the live of marine organisms that inhabit this location. Based on this research, it can be suggested to the government of Rutong Village that management strategy needed to conserve this marine gastropod communities as well as to maintain water quality in this region. The further research was needed to assess biological aspect of dominant gastropod species in this region such as growth pattern, reproduction and sex ratio.

5. ACKNOWLEDGMENT

The authors give thanks to the Dean of Fisheries and Marine Science Faculty who support this research with PNPB funding. Many thanks also to my student who help us in the field. Thanks also to the government of Rutong Village, their permission to do this research.

6. References

- Baharuddin N, Basri NB and Syawal NH. 2018. Marine gastropods (Gastropoda; mollusca) diversity and distribution on intertidal rocky shores of Terengganu, Peninsular Malaysia. *AACL Bioflux* 11(4):1144–1154.
- Bakus GJ. 2007. Quantitative analysis of marine biological communities, field biology and environment. John Wiley & Sons Ltd.
- Cob ZC, Arshad A, Bujang JS and Ghaffar MA. 2009. Species description and distribution of *Strombus* (Mollusca: Strombidae) in Johor Straits and its surrounding area. *Sains Malaysiana* 38(1):39–46.
- Cunha RL, Grande C and Zardoya R. 2009. Neogastropod phylogenetic relationships based on entire mitochondrial genomes. *BMC Evolutionary Biology* 9(1)
- Dharma B. 2005. Recent & fossil Indonesia shells (Cetakan 1). ConchBooks.
- Geiger DL. 2006. Marine gastropoda. In Strum CG, Pearce TA, and Valdes A. (Eds.), *The mollusks: A guide to their study, collection and preservation*. (Issue October, pp. 295–312).

- Haumahu S and Uneputty PA. 2018. Morphometric variation of ten species of Nerita (Molluscs: Gastropods) in rocky intertidal zone of Oma Village, Central Moluccas, Eastern Indonesia. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 6(3): 276–280.
- Haumahu S and Uneputty PA. 2021. Population dynamics of *Strombus luhuanus*, Linnaeus 1758 from Oma coastal waters, Central Maluku, Eastern Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 777(1).
- Haumahu S and Uneputty PA. 2022a. Diversitas komunitas gastropoda di zona intertidal Desa Rutong, Pulau Ambon, Maluku. *Jurnal Laut Pulau: Jurnal Hasil Penelitian Kelautan* 1(1):24–32.
- Haumahu S and Uneputty PA. 2022b. Keragaman spesies gastropoda di zona intertidal Pulau Ambon. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik* 6(4):305–317.
- Haumahu S and Uneputty PA. 2023. Marine gastropod species diversity in rocky intertidal zone of Seri district, Ambon. *Agrikan, Jurnal Agribisnis Perikanan* 16(2):74–81.
- Haumahu S, Uneputty PA and Pietersz JH. 2023a. Diversitas spesies gastropoda pada zona intertidal Negeri Oma , Maluku Tengah (Species diversity of gastropods on intertidal zone of Oma village, Central Maluku). *Jurnal Moluska Indonesia* 7(1): 43–52.
- Haumahu S, Lokollo FF and Hehanusa SUK. 2023b. Komposisi spesies dan kelimpahan gastropoda laut di zona intertidal Negeri Halong, Ambon, Indonesia. *Jurnal Laut Pulau: Jurnal Hasil Penelitian Kelautan* 2(1):35–43.
- Haumahu S, Uneputty PA and Tuapattinaja MA. 2014. Variasi morfometrik dan hubungan panjang berat siput jala (*Strombus luhuanus*). *Triton, Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan* 10(2):122–130.
- Haumahu S, Uneputty PA, Tuapattinaja MA and Rijoly F. 2016. *Biologi organisme pesisir dan laut* (1st ed). Alfabeta. Bandung.
- Islami MM. 2015. Distribusi spasial gastropoda dan kaitannya dengan karakteristik lingkungan di pesisir Pulau Nusalaut, Maluku Tengah. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 57(1):365–378.

- Islami MM, Ikhsani IY, Indrabudi T and Pelupessy IAH. 2018. Diversity, composition and utilization of mollusc in Saparua Island, Center Molucca. *Widyariset* 4(2): 173.
- Khouw AS. 2016. Metode dan analisa kuantitatif dalam bioekologi. Alfabeta. Bandung.
- Krebs CJ. 2009. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance (6th Ed). Pearson Education Limited.
- Magurran AE. 2005. Measuring biological diversity (3rd ed., Vol. 53, Issue 9). Blackwell Publishing Company.
- Magurran AE and McGill BJ. 2011. Biological diversity-frontiers in measurement and assessment. Oxford University Press.
- Marasabessy F. 2022. Asosiasi gastropoda pada hutan mangrove di pesisir Namaea Negeri Pelauw. *Jurnal Perikanan Kamasan : Smart, Fast, & Professional Services* 2(2):113–129.
- Natan Y, Mamesah JAB and Wattimury TS. 2023. Struktur komunitas dan sebaran spasial moluska di pesisir pantai Leitimur Selatan Kota Ambon. *Jurnal Moluska Indonesia* 7(2):97–112.
- Nikijuluw VPH, Manafi MR, Bengen DG and Supriatna A. 2023. Indeks kesehatan laut Indonesia (IKLI): Hasil estimasi skor IKLI Tahun 2022 (R. Nikijuluw (ed.); Edisi 3). Yayasan Konservasi Cakrawala Indonesia.
- Nybakken JW and Bertness MD. 2009. Marine biology: An ecological approach. Benjamin Cummings.
- Odum EP and Barrett GW. 2005. Fundamentals of ecology (5th ed). Belmont, CA : Thomson Brooks/Cole.
- Panggabean SM, Adi TR, Nikijuluw V, Bengen DG, Rahman A, Manafi MR, Abidin Z and Pronowo WS. 2020. Guidelines for measuring the Indonesian marine health index (IKLI).
- Pawar RR and Al-Tawaha ALMS. 2017. Biodiversity of marine gastropods along the Uran coast, Navi Mumbai, west coast of India. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture* 11(2):19–30.
- Pechenik JA. 2016. Biology of the invertebrates. In McGraw-Hill International Edition (7th Ed). McGraw-Hill International Edition.
- Persulessy M and Arini I. 2018. Keragaman jenis dan kepadatan gastropoda di berbagai

- susbrat berkarang di perairan pantai Tihinitu, Kecamatan Pulau Haruku, Kabupaten Maluku Tengah. Biopendix 5(1):45–52.
- Poutiers JM. 1998. Gastropods. In Carpenter KE and Niem VH. (Eds.), the Living Marine Resources of the Western Central Pacific: Volume 1: Seaweed, corals, bivalves and gastropods (pp. 363–648). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Rumahlatu D and Leiwakabessy F. 2017. Biodiversity of gastropoda in the coastal waters of Ambon island, Indonesia. AACL Bioflux 10(2):285–296.
- Saleky D, Anggraini R, Merly SL, Ruzanna A, Isma MF, Manan J, Samad APA, Ezraneti R and Syahrial S. 2023. Gastropoda mangrove *Terebralia palustris* (Linnaeus 1767) di Pantai Payum Kabupaten Merauke Papua. Buletin Oseanografi Marina 12(1):54–64.
- Shou L, Huang Y, Zeng J, Gao A, Liao Y and Chen Q. 2009. Seasonal changes of macrobenthos distribution and diversity in Zhoushan sea area. Aquatic Ecosystem Health and Management 12(1):110–115.
- Strong EE, Gargominy O, Ponder WF and Bouchet P. 2008. Global diversity of gastropods (gastropoda; mollusca) in freshwater. Hydrobiologia 595(1):149–166.
- Supusepa J. 2018. Inventarisasi jenis dan potensi gastropoda di Negeri Suli dan Negeri Tial. Triton, Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan 14(1):28–34.
- Supusepa J and Hulopi M. 2018. Keragaman gastropoda di Teluk Baguala. Prosiding Seminar Nasional Inovasi IPTEK Perikanan dan Kelautan I:364–364.
- Supusepa JK and Saleky VD. 2022. Keragaman gastropoda sebagai bioindikator perairan di pesisir pantai Waiheru Kota Ambon. Jurnal Laut Pulau 1(1).
- Uneputty PA, Lewerissa YA and Haumahu S. 2018. Keragaman moluska yang berasosiasi dengan *Strombus luhuanus*. Jurnal Triton 14(2):50–55.
- Uneputty PA, Haumahu S and Lewerissa YA. 2019. Size structure and relative growth pattern of strawberry conch (*Strombus luhuanus*) in Oma rocky shore, Central Maluku, Eastern Indonesia. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 7(3):1–5.

Uneputty PA, Haumahu S and Lewerissa YA. 2021. Potency and utilization of strawberry conch (*Strombus luhuanus*) in the rocky shore of Oma coastal waters, Central Maluku. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 805(1).

Analisis pola persebaran TPA dan TPS serta strategi pengelolaan sampah di Kabupaten Pasaman Barat

Analysis distribution patterns of TPA and TPS waste management strategy In West Pasaman District

Tomi Pratama¹, Nefilinda^{1*}, Afrital Rezki¹

¹Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas PGRI Sumatera Barat, Padang, Indonesia

Abstrak.

Belum optimalnya pengelolaan sampah di Pasaman Barat seperti jumlah TPS yang belum mencukupi, sarana prasarana, sistem pengelolaan sampah *open dumping*, akses jalan ke TPA dan sebagainya, melatar belakangi penelitian ini. Tujuan penelitian untuk mengetahui pola persebaran TPA dan TPS di Pasaman Barat. Jenis penelitian ini adalah *mix method*. Jenis data yang digunakan adalah data primer dan sekunder. Teknik pengumpulan data menggunakan observasi, wawancara, kuesioner dan dokumentasi. Teknik analisa data menggunakan Analisis tetangga terdekat dan analisis SWOT (Strengths, Weakness, Opportunities, Threats) dalam penyusunan strategi. Hasil penelitian Pola persebaran TPA dan TPS menggunakan tetangga terdekat *Nearest Neighbor Ratio* adalah 0.631306 mengelompok (*Clusterd*). Timbulan sampah di Pasaman Barat berdasarkan total penduduk 442.479 adalah 2,4 kg/org/hari. Kapasitas daya tampung TPA tersisa 80.000 m³ (8 Ha) dari 10 Ha total luas TPA. Strategi S-O (Strengths, Opportunities), memanfaatkan kerjasama dengan stakeholders dalam sosialisasi ke masyarakat. Strategi W-O (Weakness, Opportunities), mengoptimalkan peraturan daerah untuk memperkuat dana operasional pengelolaan sampah. Strategi S-T (Strengths, Threats), optimalkan SDM melalui wadah komunikasi pentingnya pengelolaan sampah. Strategi W-T (Weakness, Threats), membuat struktur TPA dalam pengelolaan.

Abstract.

Lack of optimal waste management in West Pasaman, such as insufficient number of TPS, infrastructure, open dumping waste management system, road access to the TPA, etc becomes a background of this research. The research aims to determine the distribution pattern of TPA and TPS in West Pasaman. The types of data used are primary and secondary data. Data collection techniques use observation, interviews, questionnaires, and documentation. Technical data analysis uses nearest neighbor analysis and SWOT analysis (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) in preparing strategies. The results of the research on the distribution pattern of TPA and TPS using clustered Nearest Neighbor Ratio was 0.631306 (Clustered). Waste generation in West Pasaman based on population of 442,479, was 2.4 kg/person/day. The remaining landfill capacity is 80,000 m³ (8 Ha) of the 10 Ha total landfill area. The S-O (Strengths, Opportunities) strategy utilizes collaboration with stakeholders in outreach to the community. The W-O (Weakness, Opportunities) strategy optimizes the Local Government regulation to strengthen operational funds for waste management. S-T (Strengths, Threats) strategy, optimizing human resources through a forum for communicating the importance of waste management. The W-T (Weakness, Threats) strategy creates a TPA structure in management.

Keywords: Distribution, waste, SWOT, TPA, and TPS

Kata kunci: Persebaran, sampah, SWOT, TPA dan TPS

1. PENDAHULUAN

Masalah sampah merupakan polemik klasik yang tidak berujung dalam masyarakat. Masalah sampah tidak akan ada habisnya jika kesadaran masyarakat masih kurang mengenai hal tersebut. Perkembangan penduduk menyebabkan buruknya sistem sampah dan sanitasi, diperlukan manajemen pengelolaan sampah dengan baik (Yolanda *et al.* 2023; Susanti dan Arsawati 2021). Sampah di Indonesia

* Korespondensi Penulis
Email : nefilinda@yahoo.com

masih merupakan tantangan yang menantang untuk dikelola karena meningkatnya jumlah penduduk dan produksi sampah tiap hari.

Menurut OECD (2021), sampah kota merupakan sampah yang dikumpulkan atau diolah oleh kota. Sampah domestik, seperti sampah berukuran besar, serta sampah sejenis dari perniagaan dan perdagangan, gedung perkantoran, lembaga dan usaha kecil, serta sampah pekarangan dan taman, sampah dari penyapu jalanan dan sampah pasar dapat dikelola secara rumah tangga. Pengelolaan limbah merupakan praktik khusus yang bertujuan untuk mengurangi dampak bahan limbah terhadap lingkungan dan meningkatkan pemulihan bahan dan energi (Liu *et al.* 2017). Negara-negara besar selalu menghasilkan sampah dan mereka harus menghilangkannya sesuai dengan budaya mereka serta kecepatan dan cara masyarakat mendekati modernitas (Brown 2015).

Rangkaian kegiatan yang meliputi fungsi-fungsi manajemen, yang sistematis, komprehensif dan berkelanjutan (Raharjo 2011; Bahana dan Yuniningsih 2018). Pengelolaan sampah tertuang di dalam UU No. 18 tahun 2008 dan Peraturan Menteri Dalam Negeri No. 33 Tahun 2010, mulai dari TPS ke TPA harus dilakukan secara maksimal (Ramadhani *et al.* 2018). Pola merupakan bentuk ataupun model yang dipakai untuk menghasilkan ataupun membuat sesuatu. Ilmu geografi mempelajari pola sebaran fenomena dan upaya untuk memanfaatkannya, selain itu dapat mengintervensi ataupun bisa mengubah pola untuk mencakup area yang lebih luas. Pada dasarnya terdapat tiga jenis pola sebaran, yaitu seragam (*uniform*), mengelompok (*clustered pattern*) dan tersebar acak (*random pattern*) (Fhitri 2022).

Strategi pengelolaan sampah di TPA dilakukan berdasarkan seluruh hasil analisis data yang ada dengan mempertimbangkan masukan dari berbagai sumber yang diperoleh selama penelitian. Analisis SWOT digunakan dalam rangka menyusun strategi pengelolaan sampah. Analisis ini memberikan informasi yang diperlukan untuk penerapan strategi efektif dengan memaksimalkan kekuatan dan peluang yang ada, serta meminimalkan kelemahan dan ancaman. Apabila diterapkan secara akurat, analisis ini memiliki dampak yang sangat besar dalam merancang suatu strategi dengan memberikan informasi yang dibutuhkan untuk mengidentifikasi peluang dan ancaman (Herwindah *et al.* 2020). Berdasarkan hasil observasi bulan Maret 2023 ditemui permasalahan di TPA kekurangan fasilitas alat berat dan pengelolaan sampah

menggunakan open dumping, akses jalan yang kurang baik, belum adanya struktur Pengelola sampah di TPA, rendahnya kesadaran masyarakat terhadap bahaya sampah, kurangnya fasilitas TPS sebagai pelayanan. TPS di Pasaman Barat sebanyak 10 unit dan 1 TPA berlokasi di Kecamatan Gunung Tuleh. Tujuan penelitian untuk mengetahui pola persebaran TPA dan TPS di Kabupaten Pasaman Barat.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Kabupaten Pasaman Barat, penelitian dilakukan bulan Juni 2023 dengan *mix method* yang mengombinasikan dua metode penelitian, yaitu kuantitatif dan kualitatif ke dalam suatu kegiatan penelitian, sehingga data yang diperoleh akan lebih komprehensif, valid, reliabel dan objektif (Sugiyono 2010; Nia dan Loisa 2019). Metode kuantitatif digunakan untuk menganalisis data tetangga terdekat, jumlah timbulan sampah dan daya dukung TPA, sedangkan metode kualitatif di gunakan untuk melakukan analisis strategi pengelolaan sampah menggunakan SWOT.

Data primer merupakan sumber data yang langsung diberikan pada pengumpul data, sedangkan data sekunder didapatkan melalui orang lain atau berupa dokumen (Sugiyono 2013; Liani dan Rina 2020). Sumber data primer dari observasi, wawancara dan dokumentasi, sedangkan data sekunder berasal dari BPS Pasaman Barat, dokumen Dinas Lingkungan Hidup dan lainnya. Jumlah populasi yang berada di Pasaman Barat berjumlah 442.479 jiwa, sedangkan penentuan sampel menggunakan rumus Slovin dengan sampel berjumlah 25 jiwa. Data diambil secara *purposive* dengan pertimbangan pada tujuan tertentu (Sugiyono 2010; Arikunto 2006; Change et al. 2021). Responden berjumlah 25 jiwa dengan beberapa responden kunci, yaitu Kepala Dinas Lingkungan Hidup Pasaman Barat, pengawas TPA dan sopir truk sampah. Alat dan bahan penelitian yang diperlukan terdapat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1. Alat yang diperlukan dalam penelitian.

No	Alat	Kegunaan
1	Kamera	Mengambil gambar yang diperlukan dalam penelitian
2	GPS	Mengetahui titik koordinat di lapangan
3	Laptop	Mengakses data, pengumpulan data, input dan output data
4	Software pengolahan data citra	Pembuatan peta dan mengolah dalam membuat peta

Tabel 2. Bahan yang diperlukan dalam penelitian.

No	Bahan	Kegunaan
1	Peta administrasi Pasaman Barat	Sebagai peta dasar dalam acuan pembuatan peta
2	Peta lokasi Persebaran TPA dan TPS	Untuk memberikan informasi letak lokasi keberadaan TPA dan TPS

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data jumlah TPA dan TPS di Kabupaten Pasaman Barat yang dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Data tempat pembuangan sampah.

No	Nama	Unit
1	TPS Dinas Lingkungan Hidup	2
2	TPS Jalan Raya Simpang Empat-Padang	1
3	TPS Pasar Simpang Empat	1
4	TPS Pasar Simpang Tiga	1
5	TPS Pasar Muaro Kiawai	1
6	TPS Pasar Padang Tujuh	1
7	TPS RSUD Jambak	1
8	TPS RSI Ibnu Sina Simpang Empat	1
9	TPS SMP IT Darul Hikmah	1
10	TPA Muaro Kiawai	1
Total		11

Sumber : Dinas Lingkungan Hidup Pasaman Barat (2023)

2.2. Prosedur analisis data

Prosedur analisis data untuk rumusan masalah pertama menggunakan analisis tetangga terdekat dan rumusan masalah kedua menggunakan analisis SWOT. Analisis tetangga terdekat dapat digunakan untuk melakukan studi perbandingan pada suatu ruang, melakukan evaluasi pola-pola, sumber daya alam, jenis-jenis vegetasi serta mengungkapkan berbagai karakter dari gejala yang terjadi (Fhitri 2022). Analisis SWOT penyusunan strategi pengelolaan sampah dapat dilihat pada **Tabel 4**. Dengan demikian, pola persebaran TPA dan TPS di Kabupaten Pasaman Barat dapat diketahui dengan kriteria klasifikasi pola persebaran sebagai berikut:

- a. Jika $T < 0,7$ maka TPS berpola mengelompok

- b. Jika $0,7 \leq T \leq 1,4$ maka berpola acak
- c. Jika $T \geq 1,4$ maka berpola seragam

Tabel 4. Matriks SWOT.

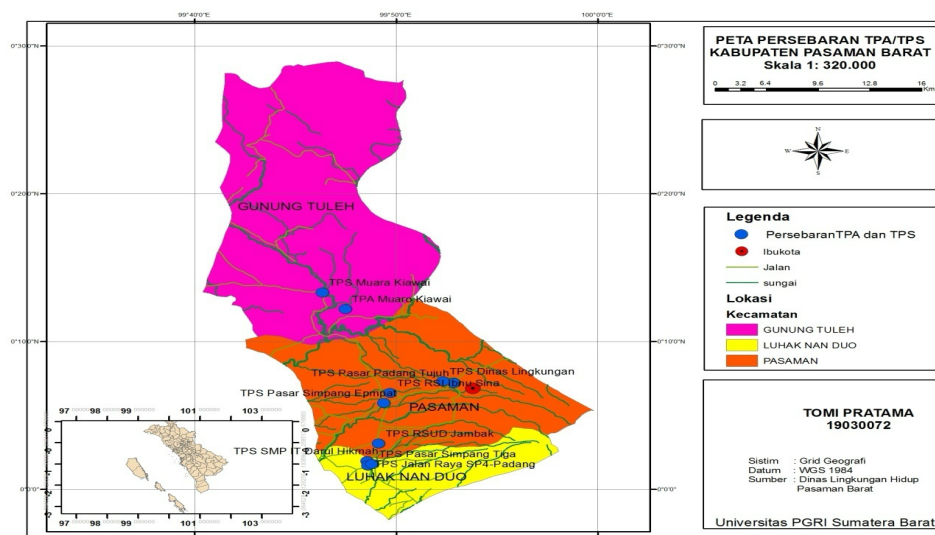
Internal Eksternal	STRENGTHS (S)	WEAKNESS (W)
OPPORTUNITIES (O)	Memanfaatkan potensi untuk meraih peluang	Mengatasi kelemahan untuk meraih peluang
THREATS (T)	Memanfaatkan potensi untuk menghadapi peluang	Meminimalkan kelemahan untuk menghadapi ancaman

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dalam pengolahan data didapatkan pembahasan mengenai pola persebaran TPA dan TPS dan strategi mengenai pengelolaan sampah di Kabupaten Pasaman Barat yang selengkapnya bisa dilihat pada hasil dan pembahasan penelitian berikut.

3.1. Pola persebaran

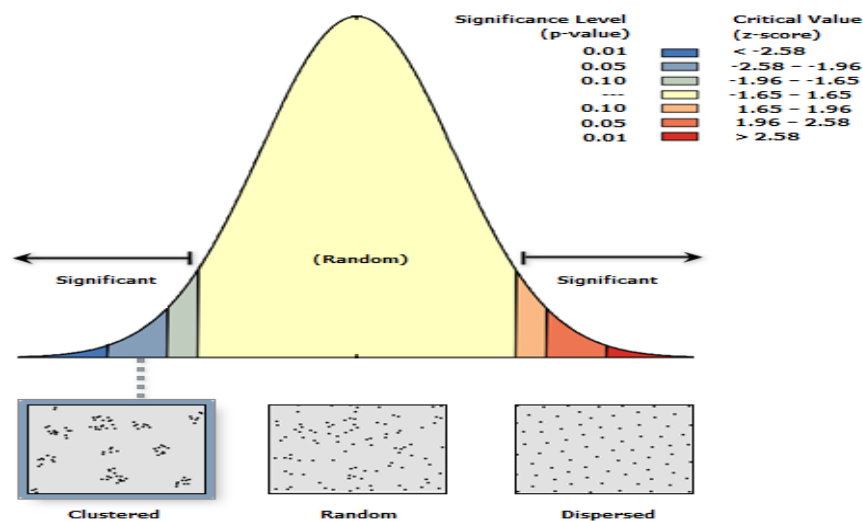
Kabupaten Pasaman Barat memiliki luas 3.887,77 ha yang terbagi menjadi 11 (sebelas) kecamatan. Berdasarkan letak geografis, Kabupaten Pasaman Barat berada pada posisi 99° 10 -100° 04 bujur timur dan 0° 33 0° 11 lintang selatan. Kabupaten ini berbatasan dengan Kabupaten Madina di sebelah utara, Kabupaten Pasaman dan Agam di sebelah selatan, Kabupaten Pasaman di sebelah timur dan Samudera Indonesia di sebelah barat. **Gambar 1** menunjukka peta pola persebaran TPA dan TPS di Kabupaten Pasaman Barat.



Gambar 1. Peta persebaran TPA dan TPS di Kabupaten Pasaman Barat.

3.1.1. Analisis tetangga terdekat / *average nearest neighbor*

Average nearest neighbor merupakan teknik analisa yang digunakan untuk memberikan gambaran atau penjelasan pola persebaran dari titik-titik lokasi menggunakan perhitungan pertimbangan jarak, jumlah titik lokasi dan luas area. Hasil akhir dari analisis ini memiliki indeks antara 0 - 2,15. Pada dasarnya terdapat tiga jenis pola sebaran, yaitu seragam (*uniform*), mengelompok (*clustered pattern*) dan tersebar acak (*random pattern*). Langkah selanjutnya adalah mencari koordinat dan diolah di aplikasi ArcGIS. Pada setiap tempat pembuangan sampah menggunakan analisis tetangga terdekat pada aplikasi *software* pengolahan data citra untuk menentukan pola persebarannya (mengelompok, acak atau sejajar), hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Analisis pola persebaran tetangga terdekat TPA dan TPS

Berdasarkan perhitungan analisis tetangga terdekat (*average nearest neighbor*) menggunakan aplikasi ArcGIS 10.4, persebaran tempat pembuangan sampah TPA dan TPS di Kabupaten Pasaman Barat menghasilkan *Nearest Neighbor Ratio* sebesar 0,631306. Hal ini menunjukkan bahwa pola persebaran TPA dan TPS di Pasaman Barat adalah mengelompok (*clustered*).

3.1.2. Timbulan Sampah

Untuk menentukan jumlah rumah untuk di jadikan sampling dilakukan menggunakan rumus slovin sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{1+N.e^2}$$

$$n = \frac{442.479}{1 + 442.479 \cdot 0,04^2} = \frac{442.479}{17.700,16} = 24,998 = 25$$

Menentukan timbulan sampah harian

$$\text{Timbulan sampah} = \frac{60}{25} = 2,4 \text{ (kg/hari)}$$

Menentukan timbulan sampah kabupaten

$$TS = 2,4 \times 442.479 \text{ penduduk} = 1.061.950 \text{ (kg/hari)}$$

Didapat hasil timbulan sampah dengan total 1.061,95 ton/hari.

3.1.3. Daya tampung

Perhitungan kapasitas daya tampung tersisa di TPA, data ini didapat berdasarkan Dinas Lingkungan Hidup Pasaman Barat (2023) dengan langkah sebagai berikut :

Luas Lahan TPA	= 10 Ha
Lahan Terpakai	= 2 Ha
Sisa Lahan TPA	= 8 Ha
Tinggi Timbulan Rencana	= 10 m
Rencana daya tampung	= L TPA x Rencana Tinggi Timbulan
	= 10.000 m ³ x 10 m
	= 100.000 m ³
Daya tampung Eksisting	= L TPA terpakai x T rencana
	= 2.000 m ³ x 10 m
	= 20.000 m ³
Rencana daya tampung TPA – Daya tampung eksisting	
	= 100.000 m ³ – 20.000 m ³
	= 80.000 m ³

Jadi, untuk sisa daya tampung di TPA Muara Kiawai setelah dilakukan perhitungan kapasitas daya tampung yang belum terisi sebesar 80.000 m³ atau sekitar 8 Ha tersisa.

3.2. Strategi pengelolaan sampah

Analisis SWOT adalah bagaimana cara untuk melihat kekuatan dan kelemahan yang dimiliki akibat pengaruh internal dan eksternal dan bagaimana melihat peluang yang ada serta ancaman yang perlu diketahui untuk menyusun strategi yang efektif. Berikut ini adalah fungsi, manfaat dan tujuan SWOT (Budiman 2017). **Tabel 5**

menunjukkan pengelompokan internal dan eksternal SWOT. Penyusunan strategi SWOT dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 5. Faktor internal dan eksternal SWOT.

No	Penilaian lingkungan	S	W	O	T
Faktor Internal					
1	Kesesuaian visi dan misi serta kondisi pengelolaan sampah di Pasaman Barat	V			
2	Sarana dan Prasarana yang memadai dalam pengelolaan sampah		V		
3	Tidak adanya struktur pengelola di TPA		V		
4	Pendaaur-ulangan sampah untuk ekonomi kreatif masyarakat	V			
5	Akses jalan yang kurang baik menuju pengelolaan sampah ke TPA		V		
6	Adanya wadah komunikasi dan sosialisasi terkait pengelolaan sampah	V			
7	Penguasaan teknologi pengelolaan sampah		V		
8	Lahan yang memadai untuk pengelolaan sampah	V			
9	Tidak ada konflik masyarakat terhadap TPA dan TPS	V			
10	Anggaran dana pengelolaan sampah dari pemerintah		V		
Faktor Eksternal					
11	Pengelolaan sampah mendapat dukungan dari <i>stakeholders</i> lain (UU pengelolaan sampah, PP pengelolaan sampah, dll)			V	
12	Kesadaran masyarakat masih rendah terkait pengelolaan sampah				V
13	Perubahan cuaca berdampak terhadap pengelolaan sampah				V
14	Peraturan Daerah mengenai pengelolaan sampah			V	
15	Pertumbuhan penduduk yang tinggi di Pasaman Barat				V

Sumber : Hasil pengolahan data (2023)

Dari hasil di atas, maka dampak lingkungan yang diantisipasi tergantung kepada beberapa faktor seperti karakteristik dan komposisi sampah, efisiensi pengumpulan sampah dan sistem pengolahan yang diperlukan oleh berbagai praktik pengelolaan sampah (Elagroudy *et al.* 2011). Penetapan biaya pengelolaan limbah digunakan untuk mengusulkan model biaya yang menawarkan kerangka kerja yang koheren untuk menilai aspek ekonomi dan lingkungan dari sistem pengelolaan limbah dengan memberikan perhitungan biaya rinci untuk masing-masing teknologi pengelolaan limbah (Martinez-Sanchez *et al.* 2015).

Tabel 6. Matriks SWOT.

Faktor Internal Faktor Eksternal	<u>STRENGTHS (S)</u> - Kesesuaian visi dan misi serta kondisi - Wadah komunikasi dan sosialisasi - Pendaur-ulangan sampah ekonomi kreatif - Tidak ada konflik di TPA - Lahan yang memadai	<u>WEAKNESS (W)</u> - Sarana dan Prasarana yang belum memadai - Akses jalan yang kurang baik menuju TPA - Penguasaan Teknologi masih kurang - Anggaran dana sedikit - Tidak adanya struktur pengelola di TPA
<u>OPPOTUNITIES (O)</u> - Dukungan dari <i>stakeholder</i> lain - Peraturan Daerah mengenai sampah	Strategi S-O - Memanfaatkan potensi stakeholders lain dalam membantu Pemerintah mengelola sampah (S1, O1) - Memanfaatkan dukungan PEMDA mengenai pengelolaan sampah untuk terus di lakukan komunikasi (S2, O2)	Strategi W-O - Memanfaatkan dukungan dari stakeholders lain untuk membantu dalam sarana prasarana (W1, O1) - Optimalkan UU dari Pemda seperti perbaikan jalan menuju TPA, Pelatihan teknologi sampah (W2, W3, O2)
<u>THREATS (T)</u> - Kesadaran masyarakat rendah - Perubahan cuaca - Pertumbuhan penduduk yang tinggi	Strategi S-T - Optimalkan SDM dengan memberikan kesadaran secara berkala seperti sosialisasi (S1, T1) - Optimalkan pendaur ulangan sampah dengan membuka wadah komunikasi sosialisasi (S2, S3, T1)	Strategi W-T Membuat struktur pengelola TPA sehingga mudah mengatur sampah yang masuk meminimalkan ancaman (W5, T1, T2)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pola persebaran TPA dan TPS di Kabupaten Pasaman Barat dari jumlah total 10 TPS dan 1 TPA setelah dilakukan analisis tetangga terdekat di aplikasi arcgis hasilnya menunjukkan pola persebaran mengelompok (*cluster*) dengan indeks *Nearest Neighbor Ratio* sebesar 0,631306. Timbulan sampah di Kabupaten Pasaman Barat setelah dilakukan pengukuran di lapangan dari sebanyak 25 kk jumlah timbulan sampah harian rata-rata 2,4 kg/org/hari, dengan jumlah penduduk 442.479 jiwa. Daya tampung TPA di Muaro Kiawai setelah dilakukan perhitungan kapasitas yang tersisa di TPA sekitar 80.000 m³ atau sekitar 8 Ha dari jumlah total TPA 10 H dan terpakai untuk pengelolaan sampah berjumlah 2.000 m³ atau 2 Ha.

Strategi pengelolaan sampah dengan menggunakan SWOT, strategi S-O menunjukkan bahwa dinas lingkungan hidup telah bekerjasama dengan *stakeholder*, gencar melakukan sosialisasi dan komunikasi dengan masyarakat, memanfaatkan dukungan Pemerintah Daerah untuk menambah anggaran guna mendukung fasilitas sarana prasarana. Strategi W-T menekankan untuk membuat struktur pengelola di TPA agar lebih bisa maksimal dalam pengelolaan sampah. Strategi S-T mengoptimalkan wadah komunikasi untuk meningkatkan pemahaman masyarakat akan bahaya sampah. Strategi W-O mengoptimalkan kerjasama dengan *stakeholder* lain dan mengoptimalkan Peraturan Pemda Pasaman Barat terkait pengelolaan sampah agar pendanaannya di tingkatkan serta kekurangan dana untuk pengelolaan sampah dapat di distribusikan secara maksimal dan lebih baik.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan yang tulus kepada Dinas Lingkungan Hidup Pasaman Barat yang bersedia memberikan informasi data.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto. 2006. Prosedur penelitian suatu pendekatan praktek. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Bahana A dan Yuniningsih T. 2018. Analisis pengelolaan sampah di Kecamatan Pedurungan Kota Semarang. *Journal of Public Policy and Management Review* 7(4):1-12.

- Brown DP. 2015. Garbage: How population, landmass, and development interact with culture in the production of waste. *Resources, Conservation and Recycling* 98:41–54.
- Budiman T. 2017. Analisis SWOT pada usaha kecil dan menengah (studi kasus pada Percetakan Paradise Sekampung). 19.
- Change G, Cimino M, York N, Alifah U, Mayssara A dan Hassanin A. 2021. Iklim organisasi kelurahan dalam prespektif ekologi. *Paper Knowledge Toward a Media History of Documents* 3(2):6.
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Pasaman Barat. 2023. RKA DLH TAHUN 2023.
- Elagroudy S, Elkady T and Ghobrial F. 2011. Comparative cost benefit analysis of different solid waste management scenarios in Basrah, Iraq. *Journal of Environmental Protection* 2(5):555–563.
- Fhitri AH. 2022. Analisis pola persebaran dan aksesibilitas pelayanan fasilitas kesehatan di Kota Tanjungpinang.
- Herwindah S, Triyatno and Suasti Y. 2020. Analisis spasial Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPS) di Kota Jambi. *Jurnal Buana* 4(2):428–440.
- Liani DN and Rina N. 2020. Motif penggunaan media sosial Twitter (studi deskriptif kuantitatif pada pengikut akun Twitter @EXOind). *Cakrawala: Jurnal Humaniora Bina Sarana Informatika* 20(1):63–67.
- Liu G, Hao Y, Dong Le, Yang Z, Zhang Y and Ulgiati S. 2017. An emergy-LCA analysis of municipal solid waste management. *Resources, Conservation and Recycling* 120:131–143.
- Martinez-Sanchez V, Kromann MA and Astrup TF. 2015. Life cycle costing of waste management systems: Overview, calculation principles and case studies. *Waste Management* 36:343–355.
- Nia L dan Loisa R. 2019. Pengaruh penggunaan new media terhadap pemenuhan kebutuhan (studi tentang media sosial Facebook dalam pemenuhan informasi di kalangan ibu rumah tangga). *Prologia* 3(2):489.
- OECD. 2021. Municipal waste (indicator). <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/89d5679a-en>.
- Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 33 Tahun 2010 tentang pedoman pengelolaan sampah.

- Rahardjo A. 2011. Manajemen Pemerintah Daerah. Penerbit Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Ramadhani HA, Awaluddin M and Nugraha AL. 2018. Aplikasi Webgis untuk informasi persebaran Sekolah Menengah Atas dan Madrasah Aliyah di Kabupaten Kudus menggunakan Here MAP API. *Jurnal Geodesi Undip* 5(1):164-173.
- Sugiyono. 2010. Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D. Alfabeta. Bandung.
- Sugiyono. 2013. Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D. Alfabeta. Bandung.
- Susanti LGML dan Arsawati NNJ. 2021. Alternatif strategi pengelolaan sampah berbasis pemberdayaan masyarakat melalui bank sampah di Desa Tunjuk, Tabanan. *Kaibon Abhinaya : Jurnal Pengabdian Masyarakat* 3(2):105–110.
- Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang pengelolaan sampah.
- Yolanda RCG, Nefilinda N and Tanamir MD. 2023. Analisis sanitasi lingkungan masyarakat di Kelurahan Tembilahan Kota. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan* 55–64.

Penerapan kerangka kerja DPSIR terhadap sampah dan dampaknya pada lingkungan di Kawasan Wisata Pantai Pangandaran

Application of DPSIR framework to waste and its impact on the environment in Pangandaran Beach Tourism Area

Yogie Yedia Priatna^{1*}, Billy Jones Tarigan¹, Mochammad Firmansyah Triputra¹, Iwan Kustiwan²

¹Magister Studi Pembangunan, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

²Kelompok Keahlian Perencanaan dan Perancangan Kota, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Abstrak

Penelitian bertujuan menganalisis permasalahan sampah di kawasan wisata Pantai Pangandaran menggunakan kerangka kerja DPSIR (Driver, Pressure, State, Impact, Response). Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor pendorong, tekanan, kondisi lingkungan, dampak dan respons terhadap masalah sampah di area tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa pertumbuhan populasi, peningkatan aktivitas pariwisata dan karakteristik geografis serta oseanografis unik wilayah ini telah menciptakan tekanan signifikan pada ekosistem pantai. Hal ini mengakibatkan penurunan kualitas pantai, air dan ekosistem laut. Dampak yang ditimbulkan meliputi degradasi lingkungan, penurunan kualitas pengalaman wisatawan dan ancaman terhadap kesehatan manusia serta biota laut. Penelitian ini merekomendasikan pendekatan komprehensif dan terpadu yang melibatkan inovasi teknologi, edukasi masyarakat dan kolaborasi antara berbagai pemangku kepentingan untuk mengatasi permasalahan sampah di Pantai Pangandaran. Implementasi strategi ini diharapkan dapat menciptakan pengelolaan wisata pesisir yang berkelanjutan.

Kata kunci: DPSIR, pengelolaan sampah, pariwisata berkelanjutan, mikroplastik, pencemaran laut

Abstract

The study aims to analyze waste management issues in the Pangandaran Beach tourist area using the DPSIR (Driver, Pressure, State, Impact, Response) framework. This approach is used to identify the driving factors, pressures, environmental conditions, impacts, and responses related to waste problems in the area. The analysis shows that population growth, increased tourism activities, and the unique geographical and oceanographic characteristics of the region have placed significant pressure on the coastal ecosystem. This has led to a decline in the quality of the beach, water, and marine ecosystems. The resulting impacts include environmental degradation, a diminished quality of tourist experiences, and threats to human health and marine life. The study recommends a comprehensive and integrated approach, involving technological innovation, public education, and collaboration among stakeholders, to address waste issues at Pangandaran Beach. The implementation of these strategies is expected to foster sustainable coastal tourism management.

Keywords: DPSIR, waste management, sustainable tourism, microplastics, marine pollution

1. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir dengan potensi pariwisatanya cenderung mengalami eksploitasi dan gangguan manusia yang berlebihan. Ciri khas alami wilayah pesisir menarik banyak orang dan dengan infrastruktur yang ada, wilayah ini cenderung mengalami peningkatan eksploitasi dan gangguan manusia (Hardiman dan Burgin 2010). Oleh karena itu, perencanaan yang terorganisir dengan baik dan upaya mengelola pesisir sangat diperlukan untuk memastikan layanan yang memadai dan bermanfaat.

* Korespondensi Penulis
Email: yediapriatna@gmail.com

Pantai dapat berwujud alami maupun buatan, kerap memiliki nilai ekologis serta hiburan yang signifikan. Namun, pada banyak kasus, kombinasi faktor alam dan campur tangan manusia telah menyebabkan dampak serius terhadap lingkungan dan masyarakat di berbagai wilayah jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu masalah utama adalah pengelolaan sampah yang buruk. Dampak tersebut muncul ketika penggunaan sumber daya alam oleh pengunjung melebihi kapasitas lingkungan. Pantai Pangandaran sebagai salah satu destinasi wisata pantai populer di Indonesia kerap mengalami masalah sampah yang menumpuk terutama di musim liburan. Berdasarkan penelitian Renaldi (2021), setiap hari terdapat sekitar 126 m³ sampah yang masuk ke Pantai Pangandaran dan jumlah ini akan meningkat menjadi 756 m³ pada hari libur karena adanya peningkatan jumlah pengunjung dan kegiatan jual beli. Selain sampah dari pengunjung, terdapat juga masalah sampah laut yang terdampar di pantai. Pada umumnya, sampah laut terdiri dari barang-barang inersia seperti plastik, kain, logam, styrofoam dan kayu. Namun, saat ini plastik menjadi komponen utama dalam sampah laut (Sheavly dan Register 2007; Thiel *et al.* 2013).

Mengingat tingginya permasalahan sampah di kawasan wisata Pantai Pangandaran, diperlukan pendekatan yang sistematis dan komprehensif untuk menganalisis akar masalah serta merancang solusi yang efektif. Dalam konteks ini, metode DPSIR (*Driver, Pressure, State, Impact, Response*) menawarkan kerangka kerja yang holistik untuk memahami hubungan sebab-akibat antara aktivitas pariwisata dan dampaknya terhadap lingkungan pesisir Pantai Pangandaran (Gari *et al.* 2015; Lewison *et al.* 2016). Dengan menerapkan kerangka DPSIR, penelitian ini bertujuan untuk memetakan interaksi kompleks antara pertumbuhan pariwisata, peningkatan produksi sampah, kondisi lingkungan pantai, dampak ekologis dan ekonomi, serta respons kebijakan yang ada atau diperlukan. Analisis ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kebijakan yang lebih terarah dan berkelanjutan bagi pengelolaan kawasan wisata Pantai Pangandaran, sekaligus menjadi model bagi penanganan masalah serupa di destinasi wisata pesisir lainnya di Indonesia.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2023 di Pantai Pangandaran, sebuah destinasi wisata alam populer yang terletak di selatan Provinsi Jawa Barat dan berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Pantai ini memiliki status sebagai kawasan pariwisata nasional yang strategis, sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2011 tentang Rencana Induk Pembangunan Kepariwisata Nasional (Sumaryana 2018).



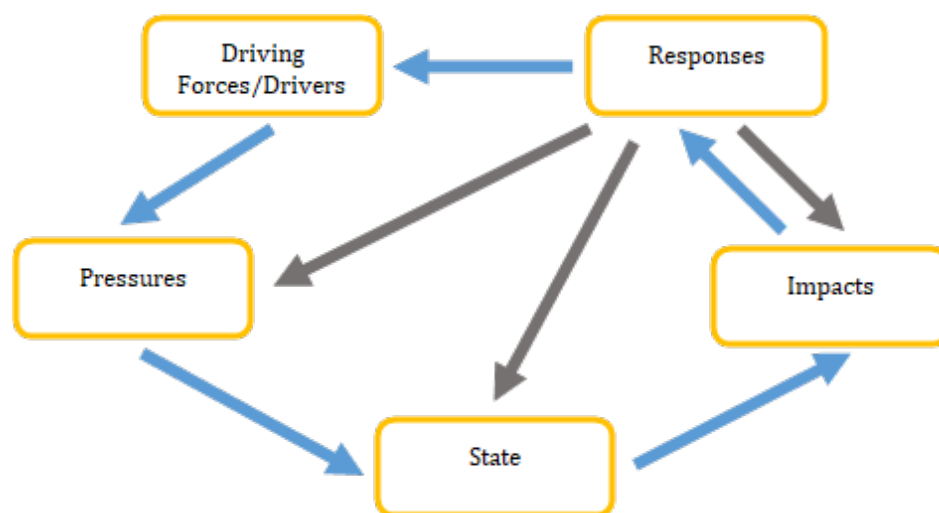
Gambar 1. Peta wilayah Pantai Pangandaran.

Pantai Pangandaran memiliki karakteristik fisik yang unik, total panjang 5.552 meter. Pantai ini terbagi menjadi dua bagian utama: Pantai Barat yang berpasir putih sepanjang 3.184 meter dan Pantai Timur yang berkarang sepanjang 2.368 meter. Selain itu, di kedua sisi Tanjung Pananjung terdapat pantai berpasir putih, dengan panjang 532 meter di sisi Barat dan 395 meter di sisi Timur (Nugroho *et al.* 2013).

Sejak menjadi daerah otonom pada tahun 2012, Pangandaran mengalami perkembangan pesat dalam sektor pariwisata. Jumlah kunjungan wisatawan meningkat signifikan dari 1.213.653 pengunjung pada tahun 2013 (Sarah 2015) menjadi 4.288.185 wisatawan pada tahun 2022 (Disparbud Jabar 2023). Peningkatan ini mencerminkan keberhasilan upaya pemerintah daerah dalam mengembangkan infrastruktur dan meningkatkan aksesibilitas kawasan wisata.

2.2. Prosedur analisis data

Dalam penelitian ini, kerangka kerja DPSIR digunakan sebagai alat diagnostik untuk menganalisis isu lingkungan di sekitar Pantai Pangandaran. Kerangka kerja DPSIR utamanya digunakan oleh pemerhati lingkungan untuk mengidentifikasi, menganalisis dan mengevaluasi masalah yang umumnya kompleks yang berhubungan dengan lingkungan (Sarmina *et al.* 2016). Kerangka kerja DPSIR terdiri dari lima komponen utama: *Driving Forces/Drivers*, *Pressures*, *States*, *Impacts* dan *Response*. *Driving Forces/Drivers* mencakup perkembangan sosial-ekonomi atau sosial-budaya dan kondisi alam yang mempengaruhi lingkungan, sedangkan *pressure* adalah faktor alam dan antropogenik yang menyebabkan perubahan lingkungan. *State* menggambarkan kondisi lingkungan alam dan buatan saat ini dan *Impacts* mewakili konsekuensi perubahan lingkungan. *Response* mengacu pada langkah-langkah yang diterapkan oleh individu dan pemerintah untuk mengatasi perubahan lingkungan ini (EEA 2007).



Gambar 2. Kerangka kerja DPSIR (EEA 2007).

Kerangka DPSIR mengasumsikan bahwa kondisi sosial ekonomi dan lingkungan adalah hal-hal yang saling berhubungan. *Driving forces* memicu perubahan lingkungan melalui *pressure*, yang kemudian mempengaruhi *state* lingkungan. Hal ini menimbulkan *impact* pada ekosistem, ekonomi dan masyarakat. Dampak negatif biasanya direspons (*response*) dengan kebijakan dan tata kelola baru. Kebijakan ini nantinya akan mempengaruhi kembali seluruh elemen DPSIR, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**. Kerangka kerja DPSIR merupakan instrumen yang telah terbukti dalam menganalisis berbagai macam isu terkait lingkungan, termasuk perubahan iklim, konservasi keanekaragaman hayati, manajemen air dan polusi udara (Relvas dan Miranda 2018; Skoulidakis 2009; Moss et al. 2021).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis kerangka kerja DPSIR

3.1.1. *Drivers*

Karakteristik geografis dan oseanografis Kabupaten Pangandaran memainkan peran penting dalam dinamika sampah di Pantai Pangandaran. Karakteristik oseanografis berupa dinamika pasang surut, gelombang dan arus laut, sedangkan karakteristik geografis yaitu keberadaan sistem sungai berdekatan berkontribusi terhadap pergerakan dan akumulasi sampah di kawasan ini. Selain itu, Kabupaten Pangandaran memiliki iklim tropis basah yang dipengaruhi oleh pola sirkulasi angin musiman, topografi regional yang beragam dan elevasi topografi yang tinggi dengan curah hujan rata-rata tahunan sekitar 2.589 mm dan suhu rata-rata antara 25 – 30 °C (Peraturan Bupati Kabupaten Pangandaran Nomor 60 Tahun 2020).

Selain faktor alami, faktor penggerak utama masalah sampah di Pantai Pangandaran berasal dari subkelas sosial. Penggerak sosial dievaluasi dalam konteks kepadatan penduduk, layanan rekreasi dan infrastruktur penunjang. Kabupaten Pangandaran memiliki luas wilayah sekitar 1.011,04 km² dengan populasi sekitar 431.470 jiwa pada tahun 2022 dengan kepadatan penduduk tertinggi kedua berada di Kecamatan Pangandaran yaitu 981 orang/km², terutama di sekitar Pantai Pangandaran (BPS Kabupaten Ciamis 2023). Kepadatan penduduk yang tinggi ini, khususnya di kawasan wisata seperti Pantai Pangandaran, berkorelasi langsung dengan peningkatan produksi sampah.

Secara umum layanan rekreasi yang ada di sekitar Pantai Pangandaran dibagi ke dalam tiga kategori yakni, 1) layanan rekreasi wisata budaya seperti Gua Panggung dan Batu Kalde di Cagar Alam Pangandaran; 2) layanan rekreasi wisata alam yaitu wisata Pantai Pangandaran itu sendiri; dan 3) layanan wisata minat khusus seperti wisata Sungai Citumang dan *Green Canyon*. Selain itu, untuk menunjang layanan rekreasi tersebut, di Kabupaten Pangandaran tersedia sarana akomodasi dan restoran yang tersebar di wilayah Pangandaran. Berdasarkan pendataan tahun 2019 di Kabupaten Pangandaran terdapat sebanyak 379 penginapan dan 192 restoran. Dibandingkan dengan tahun 2018 tidak terdapat perubahan pada jumlah restoran sementara jumlah penginapan mengalami penurunan dari tahun sebelumnya yang berjumlah 393 penginapan (Peraturan Bupati Kabupaten Pangandaran Nomor 60 Tahun 2020). Hingga tahun 2023, pengembangan objek wisata Pantai Pangandaran terus mengalami peningkatan terutama dalam penyediaan dan perbaikan infrastruktur seperti akses jalan, reaktivasi jalur kereta api dan penataan lanskap kawasan tepi pantai sehingga dapat menambah daya tarik wisata.

Keberagaman layanan wisata dan ketersediaan fasilitas serta infrastruktur pendukung ini bertindak sebagai *drivers* utama peningkatan sampah di Kabupaten Pangandaran. Aktivitas wisata yang beragam, dari pantai hingga wisata budaya dan alam, menarik sejumlah besar pengunjung yang berkontribusi pada peningkatan produksi sampah.

3.1.2. Pressures

Berdasarkan analisa penggerak atau pendorong yang disajikan di atas, karakteristik geografis yaitu adanya sistem sungai yang berdekatan di wilayah Pantai Pangandaran memberikan tekanan terhadap peningkatan sampah di wilayah ini. Sungai Citanduy yang melintasi kabupaten ini, berfungsi sebagai jalur utama transportasi sedimen dan sampah dari dua Daerah Aliran Sungai (DAS) besar yaitu DAS Ciwulan-Cilaki dan DAS Citanduy. Aliran sungai ini bermuara di Sagara Anakan, membawa material dari hulu hingga ke pesisir. Elevasi topografi yang tinggi di Pangandaran, dikombinasikan dengan curah hujan yang cukup tinggi, semakin meningkatkan debit fluvial pada sistem sungai di sekitarnya.

Kondisi tersebut mengakibatkan peningkatan volume air sungai yang membawa sedimen dan sampah dari daratan menuju laut. Penelitian Ashruri dan Kustiasih (2020) menunjukkan bahwa sampah yang terbawa ke laut didominasi oleh tiga jenis utama yaitu sampah plastik dengan persentase tertinggi sebesar 28,32%, diikuti oleh batok kelapa sebesar 27,33% dan batang kayu sebesar 25,15%.

Dari perspektif oseanografis, dinamika pasang surut dan gelombang laut turut berperan dalam mengangkut dan mendistribusikan material tersebut ke sepanjang Pantai Pangandaran. Suroso dan Sofian (2009) menunjukkan bahwa terdapat kenaikan temperatur permukaan laut di Pantai Selatan Jawa yang mempengaruhi kencangnya angin yang berhembus dan gelombang air yang berkontribusi dalam memindahkan sampah dari pantai ke punggung pantai dan membuat gundukan sampah. Hal ini juga sejalan dengan penuturan Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kabupaten Pangandaran serta Kepala Desa Pangandaran dalam Satriawan *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa salah satu penyebab utama adanya sampah di pesisir Pangandaran adalah karena pasang surut air laut. Fenomena ini menunjukkan bahwa selain faktor daratan, dinamika laut juga memainkan peran penting dalam distribusi dan akumulasi sampah di sepanjang Pantai Pangandaran.

Dalam kasus tekanan manusia (*anthropogenic pressure*), meningkatnya volume sampah di Pantai Pangandaran disebabkan oleh beberapa isu. Pertama meningkatnya jumlah penduduk dan wisatawan terutama saat musim libur seperti libur lebaran. Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat setiap tahunnya mengakibatkan konsekuensi terhadap meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan (Jambeck *et al.* 2015). Tingginya penggunaan bahan plastik dan produk sekali pakai untuk kebutuhan sehari-hari di tengah padatnya penduduk merupakan salah satu penyebab sampah laut yang perlu diatasi. Selain itu, aktivitas nelayan lokal juga berkontribusi signifikan terhadap permasalahan ini. Nelayan yang beroperasi di perairan sekitar pantai sering kali menghasilkan sampah yang berakhir di laut dan dibawa ke pantai, seperti alat tangkap yang rusak atau tidak terpakai, sampah organik dari hasil tangkapan, limbah bahan bakar dan oli dari kapal, serta kemasan makanan dan minuman yang dibuang sembarangan selama melaut.

Pantai Pangandaran menjadi objek wisata terfavorit selama libur lebaran 2023, tercatat sebanyak 118.670 orang mengunjungi pantai itu saat libur Idul Fitri 1444 H lalu (Antara News 2023). Peningkatan kegiatan pariwisata terutama ketika musim libur tiba di Kabupaten Pangandaran tidak dibarengi dengan penambahan tempat pembuangan sampah di kawasan wisata. Volume sampah meningkat drastis dari 70 ton/hari pada kondisi normal menjadi sekitar 200 ton/hari saat periode lebaran.

Selain peningkatan volume, kebersihan kawasan wisata juga terganggu dengan banyaknya sampah yang berserakan di berbagai tempat (Rejabar 2023). Penelitian Ashuri dan Kustiasih (2020) mengungkapkan bahwa kegiatan pariwisata berkontribusi signifikan terhadap permasalahan ini. Sampah dari sektor pariwisata didominasi oleh sisa makanan dan sampah dapur (44,68%), serta sampah daun (13,48%). Sumber utama sampah ini adalah aktivitas wisatawan di hotel dan warung makan. Hotel berbintang menghasilkan rata-rata 0,97 kg sampah per tempat tidur per hari (densitas 243 kg/m³), sementara hotel melati memproduksi 1,23 kg per tempat tidur per hari (densitas 310,71 kg/m³). Rumah makan di kawasan ini menghasilkan rata-rata 0,21 kg sampah per kursi per hari dengan densitas 264,22 kg/m³.

Selain masalah volume sampah yang meningkat drastis saat musim liburan dan kontribusi signifikan dari sektor pariwisata, Pantai Pangandaran juga menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan sampahnya. Indikator-indikator yang menunjukkan buruknya pengelolaan sampah di kawasan ini meliputi beberapa aspek kritis. Pertama, kurangnya ketersediaan wadah sampah yang terpilah sesuai jenisnya, sehingga menyulitkan proses daur ulang. Kedua, ketidakpastian jadwal pengangkutan sampah dari titik pengumpulan ke tempat pemrosesan akhir. Ketiga, terbatasnya sarana pengangkut sampah yang hanya tersedia 8 truk. Keempat, belum adanya pengolahan sampah yang efektif, baik untuk kompos maupun daur ulang, yang mengakibatkan penumpukan sampah (Wahdatunnisa 2019).

3.1.3. *States*

State merupakan konsekuensi dari *pressures* yang mendorong kegiatan yang berdampak pada berubahnya kualitas lingkungan di Pantai Pangandaran.

3.1.3.1. Kualitas pantai dan permukiman

Keindahan alami pantai yang menjadi daya tarik utama wisatawan dapat terganggu oleh sampah yang berserakan, mengurangi estetika dan kenyamanan pengunjung. Selain itu, kualitas lingkungan pantai juga mengalami degradasi karena sampah yang menjadi sarang perkembangbiakan vektor penyakit (Sealey dan Smith 2014), meningkatkan risiko kesehatan bagi pengunjung dan penduduk setempat. Masalah ini tidak hanya memengaruhi aspek estetika, tetapi juga fungsional, seperti saluran air yang tersumbat oleh sampah yang dapat menyebabkan banjir saat hujan lebat dan pencemaran sumber air tanah yang vital bagi masyarakat karena pengelolaan sampah yang kurang baik.

3.1.3.2. Kualitas air

Kondisi (*State*) kualitas air di Pantai Timur dan Barat Pangandaran menunjukkan adanya masalah serius yang tidak memenuhi standar wisata air sesuai Peraturan Menteri Kehutanan dan Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2001. Perairan pantai mengalami kontaminasi mikrobiologis dan kimia yang terlihat dari tingginya Indeks Pencemaran (IP). Terdapat variasi kualitas air yang signifikan antara musim hujan dan musim kemarau, dengan tingkat pencemaran yang lebih tinggi pada musim kemarau. Meskipun sedimen tidak tercemar oleh timbal (Pb), konsentrasi Pb di air menunjukkan fluktuasi yang besar antar musim. Kondisi ini mencerminkan adanya tekanan lingkungan yang disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk aktivitas manusia dan pengelolaan sampah yang tidak memadai di kawasan Pantai Pangandaran (Herawati *et al.* 2023).

3.1.3.3. Ekosistem pesisir

Kondisi (*State*) ekosistem pesisir dan laut menunjukkan adanya ancaman serius akibat pencemaran oleh sampah dan logam berat. Keberadaan sampah di perairan tidak hanya berdampak langsung pada organisme laut, tetapi juga memicu proses bioakumulasi zat berbahaya dalam rantai makanan. Logam berat seperti timbal (Pb) terakumulasi dalam berbagai organisme laut, mulai dari organisme dasar hingga predator di tingkat trofik yang lebih tinggi.

Proses bioakumulasi tersebut tercermin dalam nilai Faktor Bioakumulasi (BAF) dan Faktor Biokonsentrasi (BCF) yang melebihi 1 pada berbagai spesies laut (Alagic *et al.* 2013). Variasi musiman juga terlihat dalam tingkat BAF dan BCF, dengan nilai-nilai yang cenderung lebih tinggi selama musim hujan. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh faktor lingkungan terhadap dinamika pencemaran di ekosistem pesisir dan laut (Herawati *et al.* 2023).

Selain itu, keberadaan sampah fisik seperti plastik menambah kompleksitas permasalahan. Sampah ini dapat menyebabkan kematian langsung pada organisme laut dan menciptakan jalur tambahan untuk transfer zat berbahaya melalui rantai makanan. Kondisi ini berpotensi mengganggu keseimbangan seluruh ekosistem, mempengaruhi berbagai tingkat trofik dan menciptakan efek berantai dalam jaringan makanan laut.

3.1.4. Impacts

Penumpukan sampah di Pantai Pangandaran dan daerah sekitarnya menimbulkan berbagai masalah serius bagi masyarakat dan lingkungan. Pertama, timbunan sampah yang tidak terkelola dengan baik menciptakan kondisi yang tidak nyaman bagi penduduk setempat. Bau tidak sedap yang ditimbulkan oleh sampah yang membusuk dapat mengganggu kualitas udara di sekitar area permukiman, mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan hidup warga. Tumpukan sampah yang berserakan merusak keindahan alam Pantai Pangandaran. Pemandangan sampah di sepanjang garis pantai dan area wisata lainnya sangat mengganggu secara visual, mengurangi daya tarik alami pantai yang seharusnya menjadi magnet bagi wisatawan. Kondisi ini berdampak langsung pada sektor pariwisata, yang merupakan salah satu sumber pendapatan utama bagi masyarakat setempat.

Keberadaan sampah di area wisata dapat secara signifikan menurunkan kualitas pengalaman pengunjung. Wisatawan yang datang untuk menikmati keindahan alam dan bersantai di pantai akan terganggu ketika dihadapkan dengan pemandangan dan kondisi pantai yang kotor. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan jumlah kunjungan wisatawan, yang pada gilirannya berdampak negatif pada perekonomian lokal yang bergantung pada sektor pariwisata (Krelling *et al.* 2017).

Selain dampak visual dan ekonomi, masalah sampah juga berkaitan erat dengan kualitas lingkungan secara keseluruhan, terutama kualitas air di kawasan pantai. Kualitas air di Pantai Timur Pangandaran yang tidak memenuhi standar wisata air sesuai peraturan yang berlaku. Penelitian Miranti *et al.* (2020) menunjukkan bahwa jumlah bakteri *koliform* di air laut Pantai Timur Pangandaran (23 dan 43 sel/ml) lebih rendah dibandingkan di Sungai Cirengganis. Meskipun demikian, bakteri koliform dan *Escherichia coli* masih ditemukan di air laut Pantai Timur Pangandaran. Selain itu, bakteri patogen seperti *Shigella* sp., *Pseudomonas* sp., *Vibrio* sp. dan *koliform* juga ditemukan di air laut Pantai Timur Pangandaran, dengan jumlah bakteri tertinggi adalah *Vibrio* sp. sebanyak 540 sel/100 ml dan *Pseudomonas* sp. sebesar 61 sel/ml (Miranti *et al.* 2020). Hasil ini boleh jadi juga ada di Pantai Barat Pangandaran, mengingat lokasinya saling berdekatan. Temuan ini menunjukkan dampak negatif sampah terhadap kualitas air di wilayah tersebut.

Selain masalah mikrobiologis, kualitas air di Pantai Pangandaran juga dipengaruhi oleh faktor kimia dan fisik. Herawati *et al.* (2023) mengestimasi nilai Indeks Pencemaran (IP), kualitas air di semua lokasi sangat tercemar selama musim kemarau dengan nilai indeks 10,68 di Pantai Barat dan 10,60 di Pantai Timur, serta cukup tercemar selama musim hujan dengan nilai 7,30 di Pantai Barat dan 7,29 di Pantai Timur. Sementara itu, berdasarkan estimasi nilai consensus-based sediment quality, dengan rentang nilai dari 0 – 0,16, sedimen seluruh pantai di pangandaran tidak tercemar oleh timbal (Pb) (Herawati *et al.* 2023). Tingkat Pb adalah faktor utama yang menentukan kualitas air dalam penelitiannya, dengan konsentrasi Pb 10 kali lebih tinggi di musim kemarau dibandingkan musim hujan. Perbedaan kualitas air antara musim hujan dan musim kemarau disebabkan oleh aktivitas manusia seperti penangkapan ikan, pariwisata dan industri serta sampah dan limbah yang dihasilkannya.

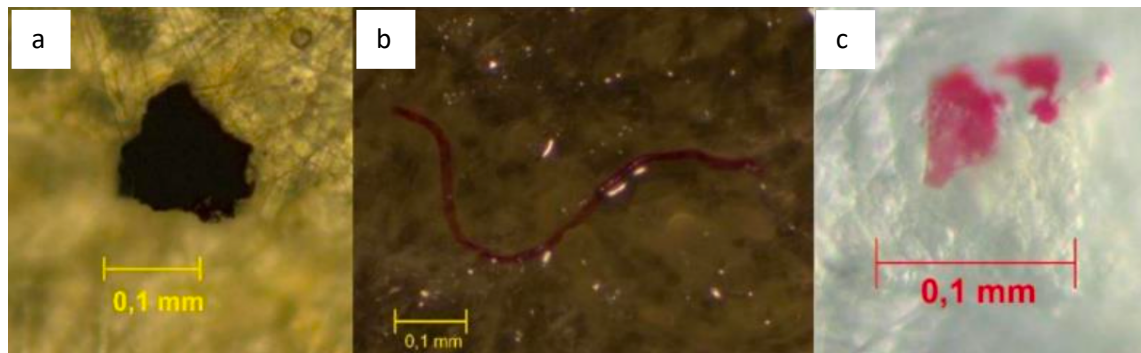
Pencemaran laut oleh sampah dan logam berat merupakan ancaman serius bagi keseimbangan ekosistem pesisir. Sampah yang mencemari laut tidak hanya menyebabkan kematian langsung pada organisme perairan, tetapi juga berperan dalam siklus bioakumulasi zat berbahaya, termasuk logam berat. Ketika sampah, terutama yang mengandung bahan kimia berbahaya atau logam berat, terurai di perairan, zat-zat ini dapat diserap oleh organisme laut. Proses ini memulai siklus

bioakumulasi yang kompleks, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai BAF dan BCF yang melebihi 1 pada berbagai spesies laut (Alagic *et al.* 2013).

Logam berat seperti timbal (Pb) yang terakumulasi dalam organisme dasar seperti krustasea, yang sering berperan sebagai pemakan bangkai, dapat naik melalui rantai makanan. Hal ini menyebabkan konsentrasi yang lebih tinggi pada predator di tingkat trofik yang lebih tinggi, seperti ikan (Anandkumar *et al.* 2018). Proses ini tidak hanya mengancam kesehatan organisme individual, tetapi juga dapat mengganggu keseimbangan seluruh ekosistem. Lebih lanjut, variasi musiman dalam tingkat BAF dan BCF, cenderung lebih tinggi selama musim hujan sebagaimana hasil penelitian Herawati *et al.* (2023) di Pantai Pangandaran diperoleh nilai lebih dari 1 dengan nilai rata-rata BAF dan BCF pada ikan masing-masing 102,6 dan 10,4 yang menunjukkan bahwa faktor lingkungan juga berperan penting. Peningkatan limpasan dari daratan selama musim hujan dapat membawa lebih banyak sampah dan polutan ke laut, memperparah masalah ini (Ali *et al.* 2019; Akila *et al.* 2022).

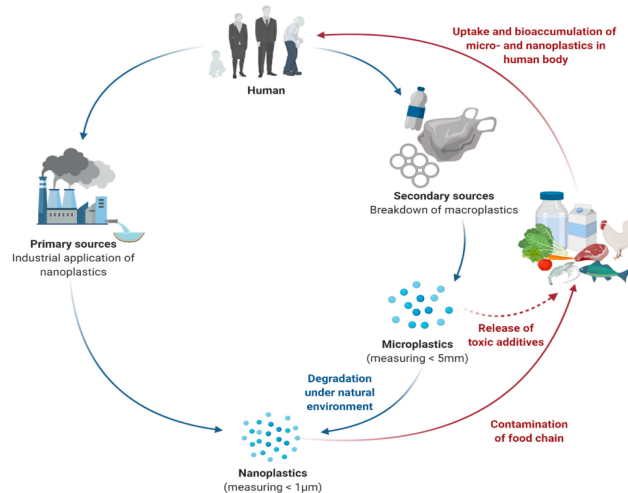
Dampak sampah laut tidak terbatas pada efek toksikologi saja. Sampah fisik seperti plastik dapat menyebabkan kematian langsung melalui tercekik atau terbelit, sementara mikroplastik dapat termakan oleh organisme kecil dan masuk ke rantai makanan. Ini menciptakan jalur tambahan untuk transfer zat berbahaya ke tingkat trofik yang lebih tinggi. Gangguan pada satu tingkat trofik dapat menyebabkan efek berantai di seluruh ekosistem. Misalnya, jika populasi ikan kecil menurun karena pencemaran, ini dapat memengaruhi ketersediaan makanan untuk predator yang lebih besar, yang pada gilirannya dapat memengaruhi populasi organisme lain dalam rantai makanan.

Mikroplastik dengan kandungan *oligomers chemical fragment* selain dapat meracuni ikan juga berbahaya bagi manusia. Hal ini dikarenakan 82% ikan dan 90% garam meja yang dikonsumsi manusia telah terkontaminasi oleh mikroplastik (Hanggono 2020). Penelitian lain yang dilakukan oleh Ismail *et al.* (2019), ditemukan mikroplastik di saluran pencernaan ikan dengan jenis fragmen sebesar 49,74%, film sebesar 27,46% dan serat sebesar 22,8% dengan ukuran mulai dari 0,12 hingga 5 mm. Penyebab masuknya mikroplastik ke saluran pencernaan adalah karena salah mangsa atau tidak sengaja dikonsumsi oleh ikan. Adapun jenis mikroplastik yang ditemukan di Pantai Pangandaran dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Mikroplastik di Pantai Pangandaran
a) film ; b) serat ; c) fragmen (Ismail *et al.* 2019).

Mikroplastik yang masuk ke dalam tubuh manusia dapat menyebabkan gangguan sistem pencernaan, kerusakan ginjal, bahkan menyebabkan kanker (Yee *et al.* 2021). Adapun siklus dari mikroplastik dari pelaku industri sampai ke manusia dan rute masuknya mikroplastik ke dalam tubuh manusia dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Siklus Mikroplastik (Yee *et al.* 2021).

Lokasi pembuangan sampah yang tidak higienis dapat menjadi tempat berkembang biaknya nyamuk demam berdarah yang membawa risiko penularan penyakit demam berdarah kepada manusia. Di sisi lain, pembuangan sampah ke perairan laut dapat menyebabkan biota laut yang dikonsumsi manusia tercemar oleh logam berat seperti timbal (Pb) atau bahkan merkuri (raksa). Paparan timbal maupun merkuri dalam jumlah besar melalui konsumsi hewan laut seperti ikan yang terkontaminasi dapat menimbulkan keracunan yang berpotensi membahayakan nyawa manusia.

3.1.5. Responses

Menanggapi permasalahan sampah di Pantai Pangandaran, diperlukan pendekatan komprehensif yang melibatkan berbagai aspek pengelolaan lingkungan dan pembangunan berkelanjutan. Langkah pertama yang krusial adalah peningkatan infrastruktur pengelolaan sampah, termasuk penambahan tempat sampah terpilah, peningkatan armada pengangkut dan pembangunan fasilitas pengolahan sampah yang efektif. Selain peningkatan infrastruktur dasar, pendekatan komprehensif juga memerlukan adopsi teknologi inovatif yang telah terbukti efektif di negara-negara maju. Di Swedia, sebagian besar limbah dimanfaatkan untuk pembangkit energi, pengomposan, biofuel dan daur ulang, sehingga mengurangi persentase limbah yang dibuang ke TPA hingga 1% (Bolton dan Roust 2019). Dalam skala rumah tangga maupun komunitas dapat menggunakan biodigester maupun bioethanol.

Selain itu, sampah terutama sampah plastik juga dapat dimanfaatkan untuk bahan campuran aspal. Peningkatan stabilitas campuran aspal dan pengurangan kadar aspal dapat dicapai melalui penambahan bahan aditif, salah satunya adalah polimer yang umumnya dikenal sebagai plastik (Hadid *et al.* 2020), biasanya digunakan dalam kemasan makanan dan produk komersial, yang akhirnya menjadi sampah setelah digunakan, sehingga pemanfaatannya sebagai bahan aditif dalam campuran aspal dapat mengoptimalkan kinerja aspal sekaligus memberikan solusi alternatif untuk pengelolaan sampah plastik.

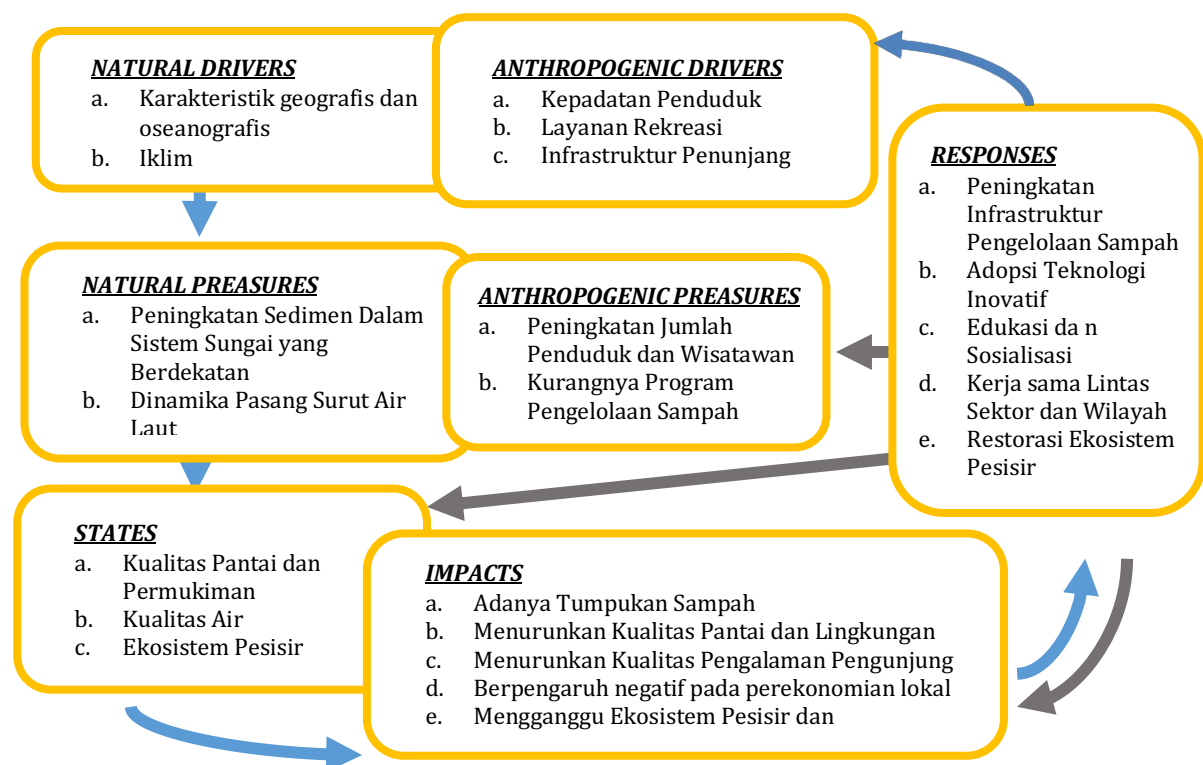
Edukasi dan kampanye kesadaran lingkungan juga memegang peranan penting. Sosialisasi tentang bahaya sampah dan mikroplastik kepada masyarakat dan wisatawan, serta program pendidikan lingkungan pada anak-anak di sekolah-sekolah dapat meningkatkan partisipasi publik terutama orang tua dalam mengelola dan memilah sampah di rumah.

Selain itu, kerja sama lintas sektor dan wilayah sangat diperlukan, terutama koordinasi dengan pemerintah daerah hulu untuk mengurangi sampah yang terbawa arus sungai. Pelibatan sektor swasta melalui program *Corporate Social Responsibility* (CSR) dan kerja sama dengan lembaga penelitian untuk pemantauan kualitas lingkungan secara berkala juga penting dilakukan. Untuk memfasilitasi kolaborasi yang lebih efektif, perlu dibentuk suatu asosiasi pengelolaan sampah yang melibatkan pemerintah kabupaten Pangandaran dan perusahaan terkait.

Asosiasi pengelolaan sampah akan berfungsi sebagai wadah untuk berbagi pengalaman, mengembangkan sistem yang lebih baik dan mengkoordinasikan upaya pengelolaan sampah secara terpadu di berbagai tingkat pemerintahan dan sektor swasta. Terakhir, restorasi ekosistem pesisir melalui penanaman mangrove, pembersihan terumbu karang dan pembuatan zona perlindungan laut dapat membantu memulihkan keseimbangan ekosistem yang terganggu akibat pencemaran sampah.

3.2. Kerangka kerja DPSIR

Kerangka kerja DPSIR telah banyak digunakan oleh pemerintah dan pengelola lingkungan pantai di seluruh dunia, memberikan dasar untuk pengambilan keputusan yang bertanggung jawab sebagai bagian dari program manajemen pantai terpadu (Lozoya *et al.* 2011). Pendekatan yang digunakan dalam studi ini bertujuan untuk mendukung pengembangan pariwisata Pantai Pangandaran dengan meningkatkan kesejahteraan penduduk dan kenyamanan pengunjung pantai melalui pengelolaan sampah yang efektif. Ini dicapai dengan penerapan kebijakan dan pengambilan keputusan yang tepat terkait program manajemen pantai terpadu di masa depan. Berikut adalah kerangka kerja DPSIR dari penjelasan yang telah diberikan.



Gambar 5. Kerangka kerja DPSIR.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis permasalahan sampah di Pantai Pangandaran menggunakan kerangka DPSIR mengungkapkan kompleksitas interaksi antara faktor alam dan aktivitas manusia yang berkontribusi terhadap degradasi lingkungan pesisir. Pertumbuhan populasi, peningkatan aktivitas pariwisata, serta karakteristik geografis dan oseanografis unik wilayah ini telah menciptakan tekanan signifikan pada ekosistem pantai, mengakibatkan penurunan kualitas pantai, air dan ekosistem laut. Menghadapi tantangan ini, diperlukan pendekatan komprehensif dan terpadu yang melibatkan inovasi teknologi. Keberhasilan implementasi strategi ini bergantung pada kolaborasi erat antara pemerintah, sektor swasta, akademisi dan masyarakat, dengan harapan dapat menciptakan model pengelolaan wisata pesisir yang berkelanjutan yang dapat diadaptasi di seluruh Indonesia, mendukung visi pariwisata nasional yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Akila M, Anbalagan S, Lakshmisri NM, Janaki V, Ramesh T, Jancy Merlin R and Kamala-Kannan S. 2022. Heavy metal accumulation in selected fish species from Pulicat Lake, India, and health risk assessment. *Environmental Technology & Innovation* 27:102744.
- Alagic SČ, Šerbula SS, Töic SB, Pavlović AN and Petrovic JV. 2013. Bioaccumulation of arsenic and cadmium in birch and lime from the Bor region. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 65:671–682.
- Ali H, Khan E and Ilahi I. 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry* 4:1-14.
- Anandkumar A, Nagarajan R, Prabakaran K, Bing CH and Rajaram R. 2018. Human health risk assessment and bioaccumulation of trace metals in fish species collected from the Miri coast, Sarawak, Borneo. *Marine Pollution Bulletin* 133:655–663.
- Antara News. 2023. Evaluasi arus mudik dan balik Idul Fitri 1444 Hijriah/2023 Masehi [internet]. Tersedia di: <https://www.antaranews.com/berita/3516813/118670-wisatawan-kunjungi-pantai-pangandaran-saat-libur-lebaran-2023>.

- Ashuri A dan Kustiasih T. 2020. Timbulan dan komposisi sampah wisata pantai Indonesia, studi kasus: Pantai Pangandaran. *Junal Permukiman* 15(1):1-9.
- Bolton K and Rousta K. 2019. Solid waste management toward zero landfill. *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches* 4:53–63.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Ciamis. 2023. Statistik Daerah Kabupaten Pangandaran 2023. BPS Kabupaten Ciamis. Ciamis.
- [Disparbud Jabar] Dinas Pariwisata dan Kebudayaan Provinsi Jawa Barat. 2023. Buku Pariwisata dan Budaya Dalam Angka Tahun 2023. Disparbud Provinsi Jawa Barat. Bandung.
- [EEA] European Environment Agency. 2007. Halting the Loss of Biodiversity by 2010: Proposal for a First Set of Indicators to Monitor Progress in Europe. EEA. Copenhagen.
- Gari SR, Newton A and Icely JD. 2015. A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. *Ocean & Coastal Management* 103:63-77.
- Hadid M, Ubudiyah A and Apriyani DW. 2020. Alternatif aspal modifikasi polimer dengan menggunakan sampah plastik kemasan makanan. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas* 4(1):43.
- Hanggono A. 2020. Inovasi penanganan sampah untuk laut yang berkelanjutan [internet]. Tersedia di: <https://bebassampah.id/perpustakaan/606/inovasi-penanganan-sampah-untuk-laut-yang-berkelanjutan>.
- Hardiman N and Burgin S. 2010. Recreational impacts on the fauna of Australian coastal marine ecosystems. *Journal of Environmental Management* 91(11):2096-2108.
- Herawati T, Kusuma UP, Zahidah, Herawati H, Nurhayati A, Yustiati A and Ghazali AB. 2023. Lead (Pb) pollution on the Pangandaran coast, West Java Province, Indonesia. *AACL Bioflux* 16(4):1827-1842.
- Ismail MR, Lewaru MW and Prihadi DJ. 2019. Microplastics ingestion by fish in the Pangandaran Bay, Indonesia. *World News of Natural Sciences* 23(1):173.
- 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.

- Krelling AP, Williams AT and Turra A. 2017. Differences in perception and reaction of tourist groups to beach marine debris that can influence a loss of tourism revenue in coastal areas. *Marine Policy* 85:87-99.
- Lewison RL, Rudd MA, Al-Hayek W, Baldwin C, Beger M, Lieske SN, Jones C, Satumanatpan S, Junchompo C and Hines E. 2016. How the DPSIR framework can be used for structuring problems and facilitating empirical research in coastal systems. *Environmental Science & Policy* 56:110-119.
- Lozoya JP, Sardá R and Jiménez J. 2011. Beach multi-risk assessment in the Costa Brava (Spain). *Journal of Coastal Research* 61:408-414.
- Miranti M, Utami FT dan Packo G. 2020. Uji kualitas air dan deteksi bakteri patogen dari Sungai Cirengganis dan air laut Pantai Timur Pangandaran. *Biotika* 18:2.
- Moss ED, Evans DM and Atkins JP. 2021. Investigating the impacts of climate change on ecosystem services in UK agro-ecosystems: an application of the DPSIR framework. *Land Use Policy* 105.
- Nugroho P, Yusuf M dan Suryono S. 2013. Strategi pengembangan ekowisata di Pantai Pangandaran Kabupaten Ciamis pasca tsunami. *Journal of Marine Research* 2(2):11-21.
- PerBup (Peraturan Bupati) Kabupaten Pangandaran Nomor 60 Tahun 2020 tentang rencana kerja pemerintah daerah Kabupaten Pangandaran tahun 2021.
- Rejabar. 2023. Libur lebaran, sampah di Pangandaran bisa mencapai ratusan ton [internet]. Tersedia di: <https://rejabar.republika.co.id/berita/rttpx9d432/libur-lebaran-sampah-di-pangandaran-bisa-mencapai-ratusan-ton>.
- Relvas H and Miranda AI. 2018. Application of the DPSIR framework to air quality approaches. *Air Quality Atmosphere & Health* 11:1069-1079.
- Renaldi A. 2021. Peran Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan dalam pelayanan kebersihan di objek wisata Pantai Pangandaran Kabupaten Pangandaran. 1(1):725-736.
- Sarah I. 2015. Analisis dampak perkembangan perhotelan dan pengaruh limbahnya terhadap lingkungan pesisir Pantai Pangandaran [Tugas Akhir]. Program Studi Sarjana Perencanaan Wilayah dan Kota, ITB, Bandung.

- Sarmina NS, Mohd HI, Pakhriazada HZ and Khairil WA. 2016. The DPSIR framework for causes analysis of mangrove deforestation in Johor Malaysia. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 6:214-218.
- Satriawan RBPH, Ihsan YN, Herawati T, Nurhayati A, Yuniarti dan Sunarto. 2024. Evaluasi sebaran dan pengelolaan sampah laut di pesisir Pantai Pangandaran. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal* 11(1):67-77.
- Sealey KS and Smith J. 2014. Recycling for small island tourism developments: food waste composting at Sandals Emerald Bay, Exuma, Bahamas. *Resources, Conservation and Recycling* 92:25-37.
- Sheavly SB and Register KM. 2007. Marine debris & plastics: Environmental concerns, sources, impacts and solutions. *Journal of Polymers and the Environment* 15:301-305.
- Skoulidakis NT. 2009. The environmental state of rivers in the Balkans—A review within the DPSIR framework. *Science Total Environment* 407(8):2501-2516.
- Sumaryana A. 2018. Tourism and the welfare of Pangandaran people. *Review of Integrative Business and Economics Research* 7:210-20.
- Suroso DSA and Sofian I. 2009. Vulnerability of the Northern Coast of Java, Indonesia to climate change and the need of planning response [Proceeding]. *Proceeding Positioning Planning in the Global Crises, International Conference on Urban and Regional Planning*.
- Thiel M, Hinojosa IA, Miranda L, Pantoja JF, Rivadeneira MM and Vásquez N. 2013. Anthropogenic marine debris in the coastal environment: A multi-year comparison between coastal waters and local shores. *Marine Pollution Bulletin* Volume 71(1-2):307-316.
- Wahdatunnisa M. 2019. Pelaksanaan pengelolaan sampah oleh Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kabupaten Pangandaran. *Jurnal MODERAT* 5(2):123-138.
- Yee MS, Hii L, Loii CK, Lim W, Wong S, Kok Y, Tan B, Wong C and Leong C. 2021. Impact of microplastics and nanoplastics on human health. *Nanomaterials* 11(496):4-15.

Pengaruh dimensi pembangunan berkelanjutan terhadap kualitas lingkungan hidup di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta

Influence of sustainable development dimensions on environmental quality of Daerah Istimewa Yogyakarta Province

Sulistiawan Fajar Nugroho^{1*}, Evita Hanie Pangaribowo¹

¹*Departement of Environmental Geography, Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia*

Abstrak.

Pembangunan berkelanjutan di suatu wilayah memiliki keselarasan antar dimensi penyusunnya sehingga akan memunculkan keberhasilan pembangunan. Keberhasilan pembangunan berkelanjutan diwujudkan dengan peningkatan kualitas lingkungan hidup. Namun, pelaksanaan pembangunan berkelanjutan yang ada masih belum memunculkan *output* berupa peningkatan kualitas lingkungan hidup. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh dimensi pembangunan berkelanjutan terhadap kualitas lingkungan hidup pada masing-masing kabupaten/kota di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Hasil penelitian menunjukkan bahwa capaian tertinggi indeks dimensi sosial adalah Kota Yogyakarta; dimensi ekonomi adalah Kabupaten Kulon Progo; dimensi lingkungan adalah Kabupaten Sleman; serta dimensi hukum dan tata kelola adalah Kabupaten Kulon Progo. Selain itu, tipologi kualitas lingkungan melalui pendekatan anggaran lingkungan hidup dan PSTK pertanian menunjukkan Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Gunungkidul terklasifikasi tipologi berkembang baik. Di sisi lain, melalui analisis regresi data panel menggunakan model *fixed effect* menunjukkan nilai probabilitas 0,000003 sehingga dimensi pembangunan berkelanjutan secara simultan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas lingkungan hidup. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antar dimensi pembangunan berkelanjutan sehingga peningkatan kualitas lingkungan hidup dapat tercapai.

Kata kunci: pembangunan berkelanjutan, lingkungan hidup, dimensi pembangunan, IKLH, TPB

Abstract.

Sustainable development in a region has a balance between its dimensions, which will affect successful development. Successful sustainable development is proven by improving environmental quality. However, implementing existing sustainable development has not yet to produce maximum output. This research aims to determine the influence of sustainable development dimensions on the environmental quality in each regency/city of Daerah Istimewa Yogyakarta. The research results show that the highest achievement on the social dimension index is Kota Yogyakarta, the economic dimension is Kulon Progo, the environmental dimension is Sleman, and the legal and governance dimensions are Kulon Progo. In addition, the typology of environmental quality through the environmental budget and agricultural PSTK approach shows that Kulon Progo and Gunungkidul are classified as well-developed typologies. On the other hand, panel data regression analysis using the fixed effect model shows a probability value of 0,000003 so that sustainable development dimensions simultaneously significantly influence environmental quality. Therefore, a balance is needed between the dimensions of sustainable development so that environmental quality improvement can be achieved.

Keywords: sustainable development, environment, development dimensions, EQI, SDGs

1. PENDAHULUAN

Pembangunan merupakan sebuah proses sistematis dalam menuju perubahan berorientasi ke arah yang lebih baik (Hendriawan 2019). Saat ini pembangunan yang ada hanya diukur melalui indikator pertumbuhan ekonomi sehingga masih harus diselaraskan dengan menitikberatkan terhadap lingkungan melalui konsep pembangunan berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan merupakan pemanfaatan

* Korespondensi Penulis
Email : sulistiawan422@mail.ugm.ac.id

sumber daya alam dan sumber daya manusia dengan memperhatikan aspek keberlanjutan pada masa yang akan datang (Sriyanti 2023).

Tingkatan pembangunan berkelanjutan di suatu wilayah bergantung pada kondisi empat dimensi sebagai indikator pengukuran, berupa dimensi sosial, ekonomi, lingkungan, serta hukum dan tata kelola. Keempat dimensi tersebut harus dilaksanakan secara terintegrasi antar dimensi dan tidak terlepas pada pencapaian satu dimensi sehingga dapat tercapai keberhasilan melalui keselarasan pada pembangunan berkelanjutan tersebut. Keberhasilan pembangunan berkelanjutan dapat dilihat melalui pembangunan yang menitikberatkan pada aspek lingkungan (Zafar *et al.* 2021). Hal ini dapat ditandai dengan adanya peningkatan kualitas lingkungan hidup di wilayah tersebut.

Konteks pembangunan berkelanjutan di suatu wilayah berkaitan dengan kondisi lingkungan yang diukur dengan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) di wilayah tersebut. Kualitas lingkungan hidup merupakan aspek penting di tengah kondisi peningkatan potensi perubahan lingkungan sebagai dampak pembangunan (DLH DIY 2020). Hubungan keduanya dijelaskan melalui Konsep *Environmental Kuznet Curve* (EKC) yang menggambarkan tingkatan pembangunan dapat memengaruhi kerusakan lingkungan. Menurut hipotesis kurva *Environmental Kuznet*, intensitas pembangunan meningkatkan tekanan lingkungan pada tahap awal pembangunan. Namun, setelah terjadi *turning point*, kondisi degradasi lingkungan akan cenderung menurun seiring kondisi pembangunan yang mengalami peningkatan (Shafik 1994). Ketika suatu wilayah mencapai tingkat pembangunan tertentu maka wilayah tersebut akan menerapkan kebijakan konsep pembangunan berkelanjutan.

Kondisi pembangunan di Daerah Istimewa Yogyakarta dapat dilihat melalui indeks pembangunan manusia. Pembangunan dari segi manusia menciptakan modal manusia berkualitas sehingga menumbuhkan kesadaran terhadap lingkungan (ECLAC 2000). Data dari BPS Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2022 menunjukkan bahwa nilai IPM wilayah Yogyakarta sebesar 80,64. Berdasarkan hal tersebut, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan kualitas manusia yang tinggi akan menumbuhkan pembangunan yang berkelanjutan dan memperhatikan kualitas lingkungan. Namun, dilihat dari kondisi kualitas lingkungan hidup, provinsi tersebut memiliki kondisi

kualitas yang buruk dibandingkan dengan wilayah provinsi lain di Indonesia, yaitu sebesar 65,96 atau peringkat 31 dari 34 provinsi (KLHK 2023).

Pembangunan yang memperhatikan keberlanjutan sesuai amanat pemerintah belum sepenuhnya dilaksanakan sehingga masih rendah angka kualitas lingkungan hidup. Pembangunan di Daerah Istimewa Yogyakarta masih berfokus pada kesejahteraan manusia dan kurang memperhatikan aspek keberlanjutan. Pembangunan berkelanjutan harus mencapai keseimbangan antar dimensi, baik dimensi sosial, dimensi ekonomi, dimensi lingkungan, maupun dimensi hukum dan tata kelola sehingga *output* yang diharapkan tercapai. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki tujuan menganalisis pengaruh dimensi pembangunan berkelanjutan terhadap kualitas lingkungan hidup Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan pendekatan spasio-temporal. Hal itu dimaksudkan untuk mengetahui signifikansi pelaksanaan pembangunan berkelanjutan pada setiap dimensi terhadap peningkatan kualitas lingkungan sebagai *output* pelaksanaan.

2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta selama November 2023 hingga Februari 2024 dengan unit analisis berupa unit kabupaten/kota di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dalam periode 2016 hingga 2022. Variabel yang digunakan terdiri dari variabel bebas, berupa dimensi sosial, ekonomi, lingkungan, hukum dan tata kelola, serta variabel terikat berupa kualitas lingkungan hidup.

Dimensi pembangunan berkelanjutan di Indonesia atau biasa disebut Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB) terbagi menjadi dimensi sosial yang meliputi tujuan 1, 2, 3, 4 dan 5; dimensi ekonomi yang meliputi tujuan 7, 8, 9, 10 dan 17; dimensi lingkungan yang meliputi tujuan 6, 11, 12, 13, 14 dan 15; serta dimensi hukum dan tata kelola yaitu untuk tujuan 16. Selain itu, dalam penelitian ini juga menggunakan dua variabel *dummy*, berupa *regional dummy* untuk melihat perbedaan antara wilayah kabupaten dengan kota terhadap nilai kualitas lingkungan hidup; serta *year dummy* dipilih untuk mengetahui temporal pada saat terjadi pandemi terhadap kualitas lingkungan hidup. Variabel-variabel yang digunakan tersebut kemudian dilakukan uji statistik menggunakan statistik inferensial berupa regresi data panel. Berbagai data kebutuhan penelitian dapat dilihat melalui **Tabel 1**.

Tabel 1. Sumber data penelitian.

Dimensi	TPB	Data	Sumber Data
Sosial	1	Persentase Penduduk yang Hidup di Bawah Garis Kemiskinan	BPS DIY
	2	Prevalensi <i>Stunting</i>	Dinkes DIY
	3	Rasio Tenaga Kesehatan terhadap Penduduk	Dinkes DIY
	4	Rata - Rata Lama Sekolah	BPS DIY
	5	Indeks Pembangunan Gender	BPS DIY
Ekonomi	7	Rasio Elektrifikasi	BPS DIY
	8	Tingkat Pengangguran Terbuka	BPS DIY
	9	Laju Pertumbuhan PDRB ADHK Industri Manufaktur	BPS DIY
	10	Indeks Gini	BPS DIY
	17	<i>Share</i> Investasi dalam PDRB	BPS Kabupaten/Kota
Lingkungan	6	Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Akses Terhadap Sanitasi Layak	BPS DIY
	11	Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Akses Terhadap Hunian yang Layak	BPS DIY
	12	Pengeluaran Konsumsi Rumah Tangga dalam PDRB	BPS DIY
	13	Alokasi Anggaran Pembangunan untuk Fungsi Lingkungan Hidup	BPS DIY
	14	Indeks Kualitas Air	DLH Kab/Kota
	15	Proporsi Kawasan Hutan Terhadap Total Luas Lahan	BPS DIY
Hukum dan Tata Kelola	16	Indeks Reformasi Birokrasi	Biro Organisasi Setda DIY
		Persentase Penduduk Menjadi Korban Kejahatan	BPS DIY
		Peta RBI Skala 1:25000	BIG
		IKLH	DLH Kabupaten/Kota DIY

Pilihan menggunakan regresi dengan data panel didasarkan pada pertimbangan karena mampu menangkap perilaku dari masing-masing kabupaten/kota yang berbeda dalam jangka waktu tertentu, sekaligus menjawab pertanyaan penelitian yang ingin mengetahui pengaruh dimensi pembangunan berkelanjutan dan *dummy variable* terhadap kualitas lingkungan hidup di Daerah Istimewa Yogyakarta pada periode 2016–2022. Hasil regresi kemudian diinterpretasi dengan analisis deskriptif. Model regresi yang terbentuk disajikan dengan **Persamaan 1**.

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + \beta_4 X_{4it} + \beta_5 Dummy_Reg5_{it} + \beta_6 Dummy_Year6_{it} + \varepsilon_{it} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

Y_{it}	: Kualitas lingkungan hidup	i	: Individu (5 kab/kota)
α	: Konstanta	t	: Periode waktu (2016-2022)
X_1	: Dimensi sosial	e	: Komponen error
X_2	: Dimensi ekonomi	Dummy_Reg	: <i>Regional Dummy</i>
X_3	: Dimensi lingkungan	Dummy_Year	: <i>Year Dummy</i>
X_4	: Dimensi hukum dan tata kelola	$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4 \beta_5 \beta_6$	: Koefisien regresi pada setiap variabel
ε_{it}	: Komponen error dari individu ke-i tahun ke-t		

Berbagai data dilakukan analisis menggunakan regresi data panel dengan variabel terikat berupa kualitas lingkungan hidup serta variabel bebas berupa dimensi sosial, ekonomi, lingkungan, serta hukum dan tata kelola. Selain itu, dalam variabel bebas juga ditambah *variabel dummy*, berupa *regional dummy* untuk mengetahui pengaruh faktor spasial dan *year dummy* untuk mengetahui pengaruh faktor temporal. Tahapan regresi data panel ini memiliki beberapa tahapan berupa penentuan metode estimasi, pengujian asumsi dan interpretasi hasil uji. Dengan demikian, berdasarkan empat dimensi dapat diketahui pengaruhnya terhadap kualitas lingkungan hidup.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

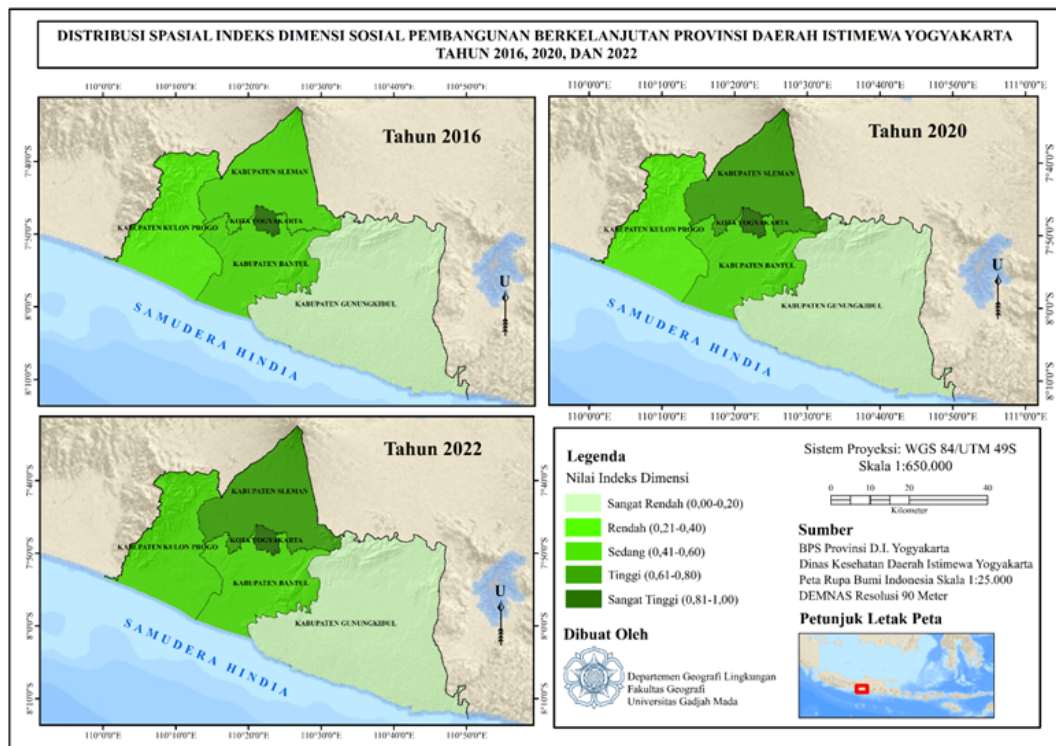
3.1. Distribusi spasial dimensi pembangunan berkelanjutan

Pola spasial pada dimensi sosial pembangunan berkelanjutan ditunjukkan melalui distribusi secara kuantitatif melalui besaran nilai yang telah diolah sebelumnya. Indeks tersebut kemudian dibagi dalam lima klasifikasi. Nilai indeks dapat menunjukkan tingkat keberlanjutan pembangunan di suatu wilayah untuk masing-masing dimensi (Pravitasari *et al.* 2018). Semakin tinggi nilai maka kinerja keberlanjutan pembangunan suatu dimensi semakin baik, begitu pula sebaliknya.

3.2.1. Dimensi sosial

Berdasarkan hasil *output* pada **Gambar 1**, dapat diketahui bahwa terjadi konsentrasi spasial dimensi sosial yang tinggi pada wilayah sekitar Kota Yogyakarta pada periode waktu tahun 2016, 2020 dan 2022. Pengamatan dilakukan pada tiga periode tahun yang berbeda dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh kondisi tertentu terhadap pembangunan dari segi dimensi sosial. Tahun 2016 merupakan tahun pertama periode pengamatan sebagai kondisi sebelum Pandemi Covid-19 di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Kemudian periode pengamatan kedua berada di tahun 2020 sebagai kondisi terjadinya Pandemi Covid-19. Pada tahun 2022

merupakan periode pengamatan setelah terjadinya Pandemi Covid-19 di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Pola yang terjadi pada tiga tahun pengamatan, berupa tahun 2016, 2020 dan 2022 menunjukkan pola yang hampir sama untuk wilayah Kota Yogyakarta, Kabupaten Gunungkidul dan Kabupaten Bantul. Hasil tersebut membuktikan pola pembangunan berkelanjutan pada bidang sosial terpusat pada Ibukota Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.



Gambar 1. Distribusi spasial indeks dimensi sosial Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2016, Tahun 2020 dan Tahun 2022.

Apabila dilihat melalui klasifikasi nilai indeks pembangunan berkelanjutan pada dimensi sosial, Kota Yogyakarta memiliki nilai indeks dimensi sosial yang paling tinggi dibandingkan wilayah kabupaten lain di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Kemudian tingkat nilai pembangunan dimensi sosial tersebut diikuti oleh Kabupaten Sleman, Kabupaten Bantul dan Kabupaten Kulon Progo. Di sisi lain, Kabupaten Gunungkidul memiliki nilai indeks dimensi sosial yang paling rendah dibandingkan kabupaten lain.

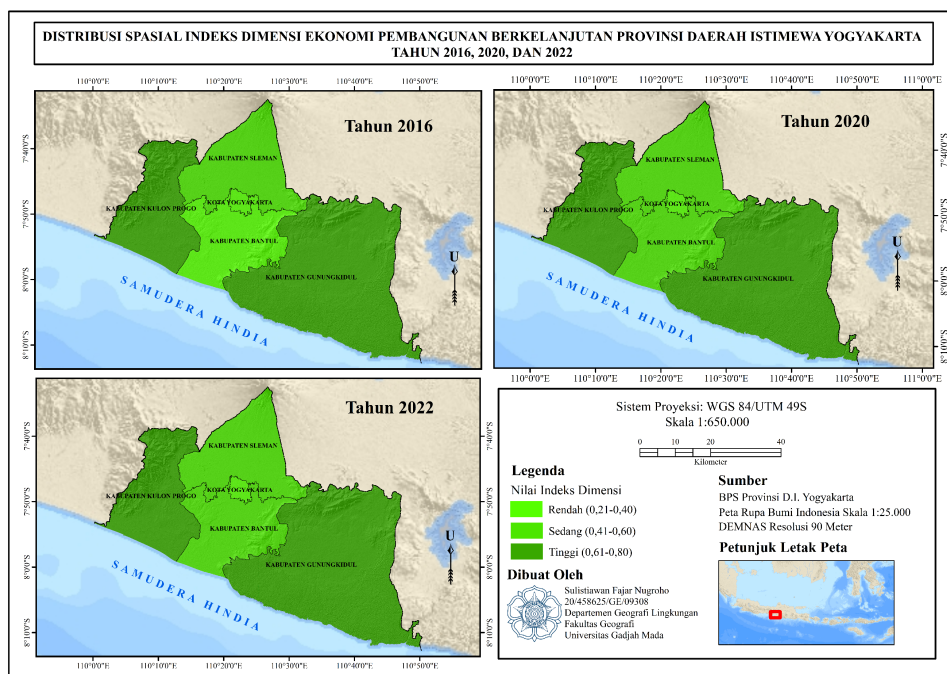
Berdasarkan pengamatan pada beberapa tahun, secara umum Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul sebagai wilayah kabupaten/kota dengan nilai indeks dimensi sosial tertinggi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Ketiga

kabupaten/kota tersebut memiliki kondisi pembangunan berkelanjutan bidang sosial yang baik dibuktikan dengan terpenuhinya berbagai kebutuhan aspek sosial masyarakat. Penelitian Pratiwi dan Kuncoro (2016) menyatakan bahwa Kota Yogyakarta sebagai pusat akan memberikan *spread effect* kepada wilayah sekitarnya, yaitu Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul. Hal ini dapat memicu adanya pertumbuhan yang menimbulkan terbangunnya fasilitas pendukung kebutuhan masyarakat sehingga tercipta pembangunan dari segi sosial yang meningkat.

Di sisi lain, Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Gunungkidul memiliki nilai indeks dimensi sosial yang rendah dibandingkan kabupaten lain. Penelitian Awandari dan Indrajaya (2016) menunjukkan bahwa infrastruktur yang menjadi sektor publik mempengaruhi kondisi sosial masyarakat suatu wilayah. Kondisi Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Gunungkidul didominasi oleh topografi berbukit yang mempengaruhi keadaan wilayah sehingga menyebabkan pembangunan infrastruktur menjadi terhambat. Tidak terpenuhinya infrastruktur dasar dapat mengakibatkan menurunnya tingkat kesejahteraan sehingga kondisi pembangunan sosial masyarakat menjadi rendah (Kusharjanto dan Kim 2011).

3.2.2. Dimensi ekonomi

Kondisi perkembangan dimensi ekonomi pembangunan berkelanjutan ditunjukkan melalui distribusi secara kuantitatif melalui nilai yang telah diolah sebelumnya. Melalui hasil *output* pada **Gambar 2**, dapat diketahui bahwa terjadi konsentrasi spasial dimensi ekonomi yang tinggi pada wilayah Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Gunungkidul pada periode waktu tahun 2016, 2020 dan 2022.



Gambar 2. Distribusi spasial indeks dimensi ekonomi Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2016, Tahun 2020 dan Tahun 2022.

Apabila dilihat melalui klasifikasi nilai indeks pembangunan berkelanjutan pada dimensi ekonomi, Kabupaten Kulon Progo memiliki nilai indeks dimensi ekonomi pembangunan berkelanjutan yang paling tinggi dibandingkan wilayah kabupaten/kota lain di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Kemudian tingkat nilai pembangunan dimensi ekonomi diikuti oleh Kabupaten Gunungkidul, Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul.

Di sisi lain, Kota Yogyakarta memiliki nilai indeks dimensi ekonomi yang paling rendah dibandingkan kabupaten/kota lain. Pola yang terjadi pada tiga tahun pengamatan, berupa tahun 2016, 2020 dan 2022 menunjukkan pola yang hampir sama untuk wilayah Kabupaten Kulon Progo, Kabupaten Gunungkidul dan Kabupaten Sleman dan Kota Yogyakarta. Berdasarkan pengamatan pada beberapa tahun tersebut, secara umum Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Gunungkidul sebagai wilayah kabupaten/kota dengan nilai indeks dimensi ekonomi tertinggi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Kabupaten Kulon Progo memiliki nilai perkembangan dimensi ekonomi yang tinggi tidak lepas dari proyek pembangunan *Yogyakarta International Airport* (YIA) memberikan dampak berupa *multiplier effect* yang cukup besar, baik dari percepatan perekonomian sekitar, penyerapan tenaga kerja, maupun peningkatan kesejahteraan (BPS DIY 2020).

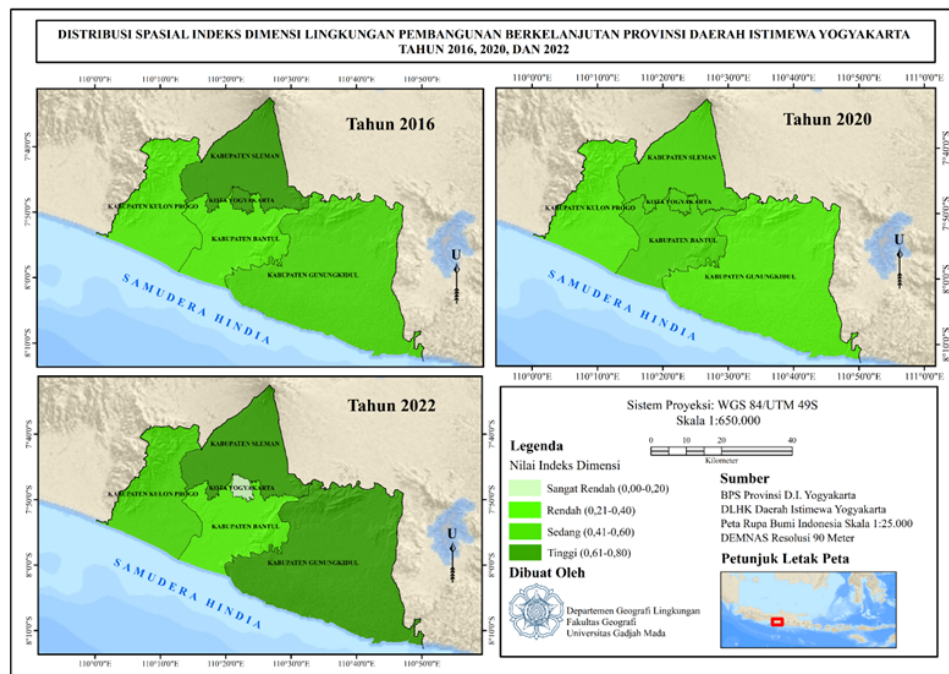
Selain itu, tingginya nilai dimensi ekonomi berkelanjutan Kabupaten Gunungkidul diakibatkan rendahnya nilai tingkat pengangguran terbuka (TPT) yang turut berkontribusi dalam keberlanjutan pembangunan ekonomi di wilayah tersebut. Pengangguran yang rendah tersebut dapat meningkatkan kapasitas produksi agar tercipta pertumbuhan serta pembangunan ekonomi yang berkelanjutan (Kusumo 2022).

Di sisi lain, rendahnya perkembangan kondisi faktor-faktor dimensi ekonomi yang dimiliki oleh Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul tidak lepas stagnasi pertumbuhan ekonomi ketiga kabupaten/kota tersebut. Hal tersebut disebabkan ketiga kabupaten/kota tersebut sudah lebih dulu terbangun infrastruktur pendukung sehingga pusat pertumbuhan ekonomi terutama penyangga pusat pemerintahan sudah melaju lebih awal (Diskominfo Kulon Progo 2019).

3.2.3. Dimensi lingkungan

Perkembangan dimensi lingkungan pembangunan berkelanjutan ditunjukkan melalui distribusi secara kuantitatif melalui besaran nilai yang telah diolah sebelumnya. Berdasarkan hasil *output* pada **Gambar 3** di bawah, dapat diketahui bahwa terjadi konsentrasi spasial dimensi lingkungan yang tinggi pada Kabupaten Sleman pada periode waktu tahun 2016, 2020 dan 2022. Apabila dilihat melalui klasifikasi pada setiap tahun nilai indeks pembangunan berkelanjutan pada dimensi lingkungan, Kabupaten Sleman memiliki nilai indeks dimensi lingkungan pembangunan berkelanjutan yang paling tinggi dibandingkan wilayah kabupaten/kota lain di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Pada tahun 2016, Kabupaten Sleman memiliki nilai indeks tertinggi kemudian diikuti Kota Yogyakarta, Kabupaten Gunungkidul, Kabupaten Bantul dan Kabupaten Kulon Progo. Kemudian pola tersebut terjadi perubahan di tahun 2020, dengan Kabupaten Sleman memiliki nilai indeks tertinggi kemudian diikuti Kabupaten Bantul, Kota Yogyakarta, Kabupaten Gunungkidul dan Kabupaten Kulon Progo. Di sisi lain, untuk tahun 2022 Kabupaten Sleman memiliki nilai indeks tertinggi kemudian diikuti oleh Kabupaten Gunungkidul, Kabupaten Kulon Progo, Kabupaten Bantul dan terakhir Kota Yogyakarta.



Gambar 3. Distribusi spasial indeks dimensi lingkungan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2016, Tahun 2020 dan Tahun 2022.

Berdasarkan **Gambar 3**, dapat diketahui pada tahun 2016, Kabupaten Sleman memiliki nilai indeks tertinggi kemudian diikuti Kota Yogyakarta, Kabupaten Gunungkidul, Kabupaten Bantul dan Kabupaten Kulon Progo. Kemudian pola tersebut terjadi perubahan di tahun 2020, dengan Kabupaten Sleman memiliki nilai indeks tertinggi kemudian diikuti Kabupaten Bantul, Kota Yogyakarta, Kabupaten Gunungkidul dan Kabupaten Kulon Progo. Pada tahun 2022 Kabupaten Sleman memiliki nilai indeks tertinggi kemudian diikuti oleh Kabupaten Gunungkidul, Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Bantul. Di sisi lain, Kota Yogyakarta memiliki nilai indeks dimensi lingkungan yang paling rendah. Penurunan klasifikasi pada tahun 2020 tersebut tidak lepas dari adanya pandemi Covid-19 yang berimplikasi pada penurunan alokasi anggaran pembangunan untuk fungsi lingkungan hidup.

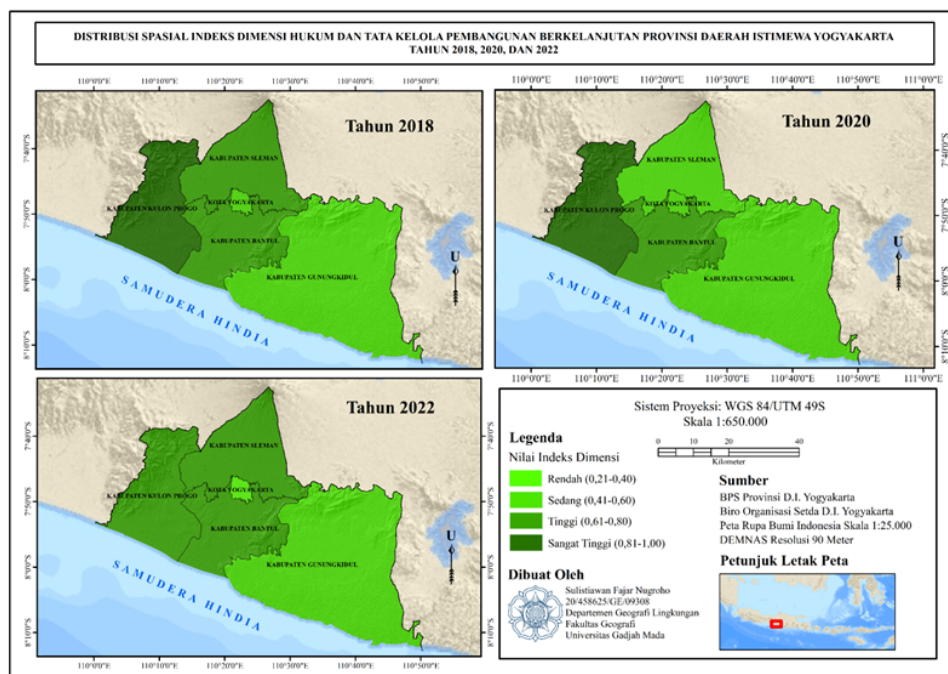
Kabupaten Sleman dan Kota Yogyakarta memiliki nilai yang tinggi pada dimensi lingkungan karena faktor kondisi permukiman dan sanitasi yang secara tidak langsung kedua faktor tersebut merupakan pemenuhan kebutuhan dasar manusia, berupa air bersih dan permukiman. Tingginya nilai pada kedua faktor tersebut tidak lepas dari pengaruh Kota Yogyakarta sebagai pusat pertumbuhan yang memberikan *spread effect* kepada wilayah sekitarnya, yaitu Kabupaten Sleman (Pratiwi dan Kuncoro 2016).

Di sisi lain, Kabupaten Kulon Progo memiliki topografi yang berbukit mempengaruhi keadaan wilayah sehingga menyebabkan pembangunan infrastruktur pemenuhan kebutuhan manusia menjadi terhambat. Selain itu, Kabupaten Kulon Progo juga memiliki nilai alokasi anggaran pembangunan untuk fungsi lingkungan hidup yang rendah dibandingkan wilayah lain di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Hal tersebut mengakibatkan wilayah tersebut belum mampu mengimbangi laju tekanan terhadap lingkungan yang besar. Kondisi yang ada berimplikasi pada rendahnya pembangunan dari segi lingkungan di wilayah tersebut.

3.2.4. Dimensi hukum dan tata kelola

Perkembangan dimensi hukum dan tata kelola pembangunan berkelanjutan ditunjukkan melalui distribusi secara kuantitatif melalui besaran nilai yang telah diolah sebelumnya. Berdasarkan hasil *output* pada **Gambar 4**, dapat diketahui bahwa terjadi konsentrasi spasial dimensi hukum dan tata kelola yang tinggi pada Kabupaten Kulon Progo pada periode waktu tahun 2018 2020 dan 2022. Apabila dilihat melalui klasifikasi pada setiap tahun, nilai indeks pembangunan berkelanjutan pada dimensi hukum dan tata kelola, Kabupaten Kulon Progo memiliki nilai indeks dimensi hukum dan tata kelola pembangunan berkelanjutan yang paling tinggi dibandingkan wilayah kabupaten/kota lain di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Pada tahun 2018, Kabupaten Kulon Progo memiliki nilai indeks tertinggi kemudian diikuti Kabupaten Sleman, Kabupaten Bantul, Kabupaten Gunungkidul dan terendah ialah Kota Yogyakarta. Kemudian pola tersebut terjadi perubahan di tahun 2020, dengan Kabupaten Kulon Progo memiliki nilai indeks tertinggi kemudian diikuti Kabupaten Bantul, Kabupaten Sleman, Kabupaten Gunungkidul dan Kota Yogyakarta. Di sisi lain, untuk tahun 2022 Kabupaten Kulon Progo memiliki nilai indeks tertinggi kemudian diikuti oleh Kabupaten Bantul, Kabupaten Sleman dan Kabupaten Gunungkidul. Di sisi lain, Kota Yogyakarta memiliki nilai indeks dimensi hukum dan tata kelola yang paling rendah dibandingkan kabupaten/kota lain.

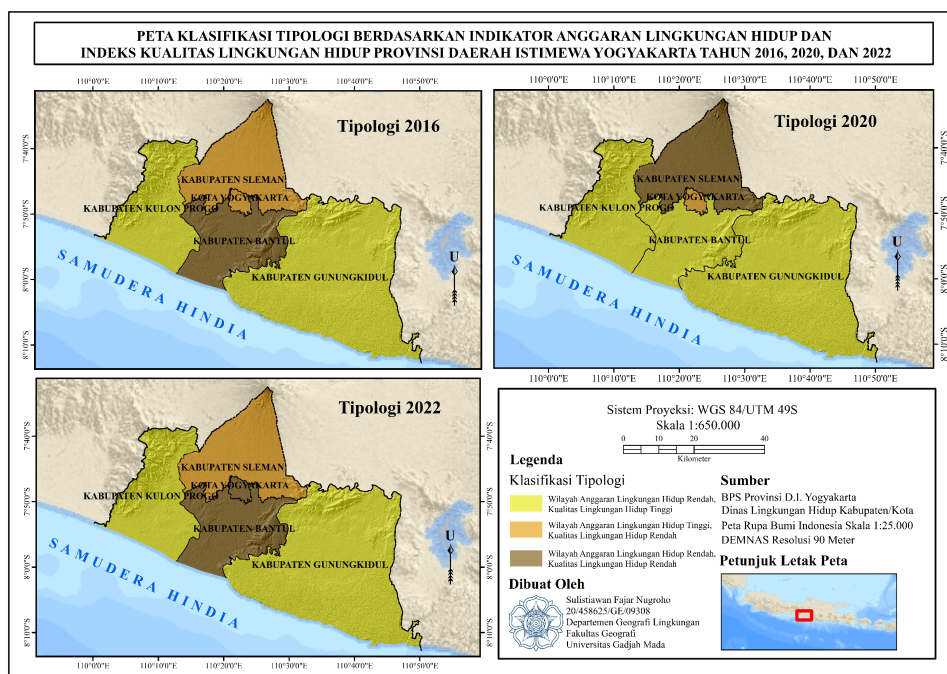


Gambar 4. Distribusi spasial indeks dimensi hukum dan tata kelola Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2016, Tahun 2020 dan Tahun 2022.

Berdasarkan pengamatan pada beberapa tahun tersebut, secara umum Kabupaten Kulon Progo merupakan kabupaten dengan nilai indeks dimensi hukum dan tata kelola tertinggi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Hal tersebut disebabkan Kabupaten Kulon Progo memiliki nilai indeks reformasi birokrasi pemerintahan yang tinggi. Nilai yang tinggi tersebut turut berkontribusi dalam keberlanjutan pembangunan hukum dan tata kelola di wilayah tersebut. Hal tersebut bersesuaian dengan pernyataan Lembaga Administrasi Negara (2014) bahwa semakin tinggi nilai indeks reformasi birokrasi suatu wilayah maka menunjukkan semakin efektif dan efisien pengelolaan tata pemerintahan di wilayah tersebut. Selain itu, Kabupaten Kulon Progo juga memiliki nilai persentase penduduk menjadi korban kejahatan yang rendah. Rendahnya kejahatan menunjukkan masyarakat Kabupaten Kulon Progo telah memiliki kesadaran sehingga telah terjadi perkembangan pembangunan berkelanjutan pada bidang hukum. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Rifai *et al.* (2021) bahwa suatu masyarakat yang cenderung telah memiliki kesadaran hukum akan menurunkan terjadinya tindakan kejahatan pelanggaran hukum di suatu wilayah.

3.3. Tipologi wilayah berdasarkan kualitas lingkungan hidup

Analisis tipologi digunakan untuk mengklasifikasikan wilayah berdasarkan anggaran fungsi lingkungan hidup dan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup dengan menentukan anggaran fungsi lingkungan hidup sebagai sumbu vertikal dan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup sebagai sumbu horizontal. Pemilihan indikator tersebut didasarkan pada penelitian Fontanella (2017) yang menunjukkan terdapat pengaruh positif dari anggaran lingkungan hidup terhadap kualitas lingkungan di Indonesia. Di sisi lain, juga digunakan indikator lain, berupa penyerapan tenaga kerja sektor pertanian sebagai sumbu vertikal dan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup sebagai sumbu horizontal. Penelitian Surya *et al.* (2022) menunjukkan bahwa aktivitas penduduk berpengaruh dalam penurunan kualitas lingkungan suatu wilayah. Klasifikasi kabupaten/kota menjadi 4 golongan diperoleh dari membandingkan antara anggaran fungsi lingkungan hidup dan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup masing-masing kabupaten/kota Daerah Istimewa Yogyakarta. Hasil klasifikasi tipologi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Sebaran klasifikasi kabupaten/kota di Daerah Istimewa Yogyakarta menurut anggaran lingkungan dengan IKLH.

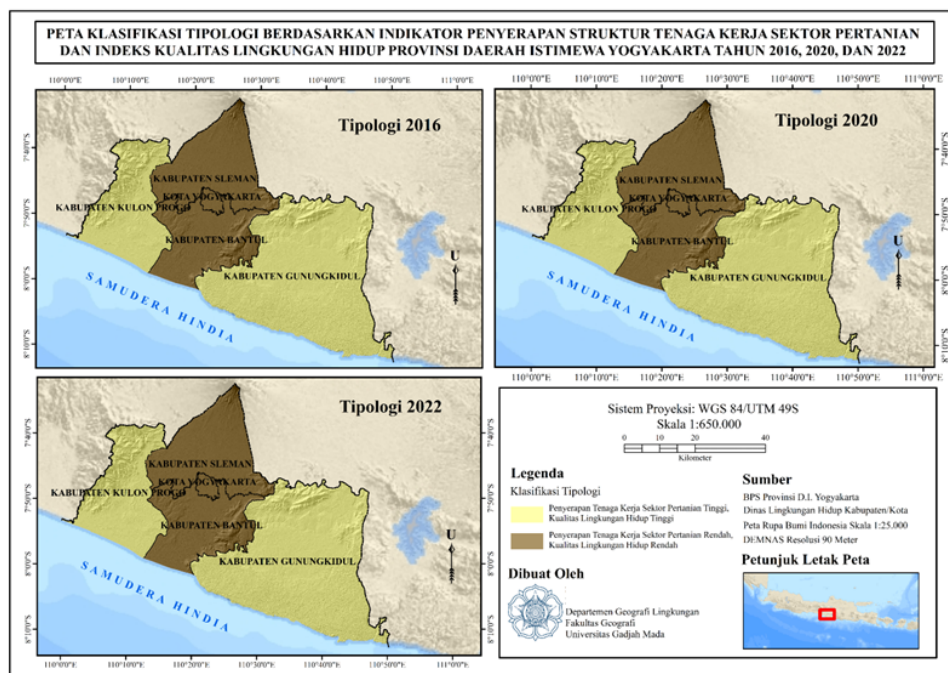
Berdasarkan **Gambar 5** dapat diketahui tipologi kualitas lingkungan hidup yang berkembang baik berada di Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Gunungkidul.

Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Gunungkidul termasuk ke dalam klasifikasi berkembang baik karena merupakan wilayah dengan anggaran lingkungan hidup rendah, tetapi memiliki kualitas lingkungan hidup tinggi. Hal tersebut disebabkan wilayah Kabupaten Gunungkidul terdapat Perbukitan Batur Agung dan Perbukitan Karst Gunungsewu yang didominasi oleh kawasan hutan (Kurniawan dan Sadali 2018). Hal tersebut membuat kedua kabupaten tersebut memiliki jasa ekosistem yang tinggi dan mampu memulihkan kerusakan sehingga kualitas lingkungan tetap terjaga (Strong 2013). Selain itu, kualitas lingkungan kedua wilayah tersebut terjaga karena minim terjadinya penggunaan lahan sehingga pencemaran yang ditimbulkan, berupa limbah rumah tangga, industri dan polusi udara semakin sedikit (Darmanto *et al.* 2013).

Di sisi lain, ketiga wilayah lainnya terklasifikasi sebagai wilayah anggaran lingkungan hidup tinggi, tetapi memiliki kualitas lingkungan hidup rendah serta wilayah dengan nilai rendah, baik anggaran lingkungan hidup maupun kualitas lingkungan hidup. Hal tersebut dapat dilihat bahwa nilai proporsi anggaran lingkungan hidup Kabupaten Sleman, Kabupaten Bantul dan Kota Yogyakarta tergolong tinggi dibandingkan kabupaten/kota lain di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Hal tersebut merupakan upaya peningkatan kualitas lingkungan hidup yang diwujudkan dalam bentuk pengalokasian anggaran bagi kegiatan terkait (Ristanto 2018). Rendahnya nilai IKLH ketiga kabupaten/kota akibat adanya *spread effect* Kota Yogyakarta yang memunculkan ekspansi ekonomi sehingga terjadi perubahan penggunaan lahan yang dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan hidup (Rahmawati dan Arif 2023). Akibat adanya penurunan tersebut, pemerintah pada ketiga kabupaten/kota perlu melakukan pengoptimalan pengelolaan lingkungan hidup melalui pengalokasian anggaran pada lingkungan hidup. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kao *et al.* (2009) bahwa salah satu solusi untuk meningkatkan pengelolaan lingkungan dengan melakukan pengalokasian dana pada lingkungan.

Analisis tipologi yang kedua digunakan untuk mengklasifikasikan wilayah berdasarkan persentase penyerapan struktur tenaga kerja sektor (PSTK) pertanian dan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup dengan menentukan penyerapan tenaga kerja sektor pertanian sebagai sumbu vertikal dan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup

sebagai sumbu horizontal. Klasifikasi kabupaten/kota menjadi 4 golongan diperoleh dari membandingkan antara penyerapan tenaga kerja sektor pertanian dan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup masing-masing kabupaten/kota Daerah Istimewa Yogyakarta. Hasil klasifikasi tipologi dapat dilihat melalui **Gambar 6**.



Gambar 6. Sebaran klasifikasi kabupaten/kota di Daerah Istimewa Yogyakarta menurut persentase tenaga kerja sektor pertanian dengan IKLH.

Berdasarkan **Gambar 6** melalui pengamatan pada tahun 2016, 2020 dan 2022, dapat diketahui bahwa wilayah dengan tipologi kualitas lingkungan hidup yang berkembang baik berada di Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Gunungkidul, dengan penyerapan tenaga kerja sektor pertanian dan kualitas lingkungan hidup yang tinggi. Hal tersebut dapat dilihat dari kedua kabupaten tersebut memiliki aktivitas penduduk berupa pertanian masih menjadi dominasi. Kerusakan lingkungan yang ditimbulkan oleh sektor pertanian masih lebih kecil dibandingkan dengan sektor industri sehingga berimplikasi pada tingginya kualitas lingkungan di Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Gunungkidul.

Kondisi demikian, berseberangan dengan kondisi tipologi Kabupaten Sleman, Kabupaten Bantul dan Kota Yogyakarta yang termasuk dalam tipologi yang tidak didominasi aktivitas penduduk pada sektor pertanian, melainkan sektor industri yang dibarengi dengan rendahnya IKLH pada ketiga kabupaten/kota. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga kabupaten/kota tersebut telah mengalami perubahan struktural.

Adanya perubahan aktivitas penduduk pada sektor industri dan jasa membuat terjadinya peningkatan kerusakan lingkungan sehingga terjadinya penurunan kualitas lingkungan hidup (Fitriani 2015). Kegiatan perindustrian inilah yang kemudian mengakibatkan tercemarnya lingkungan dengan tujuan utama peningkatan pendapatan. Oleh sebab itu, pertumbuhan pendapatan nantinya akan diikuti oleh penurunan kualitas lingkungan dan akan menurun lagi dengan pertumbuhan pendapatan yang tetap berjalan (Mason dan Swanson 2002).

3.4. Analisis regresi data panel

Berdasarkan hasil Uji Chow dan Uji Hausman yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa model yang tepat dalam penelitian ini adalah *Model Fixed Effect*. Selain itu, model terpilih tersebut telah dilakukan pengujian asumsi klasik melalui empat macam uji, berupa normalitas, multikolinearitas, heteroskedastisitas dan autokorelasi, kemudian dilakukan interpretasi hasil regresi. Untuk ringkasan hasil uji regresi dengan model *Fixed Effect* dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil uji regresi model *Fixed Effect Model*.

Variabel	Koefisien	Std. Error	Pro.
<i>Intersept</i>	66,06893	9,081578	0,0000
Dimensi Sosial	-9,642156	-0,960011	0,3475
Dimensi Ekonomi	-10,98266	-1,538938	0,1381
Dimensi Lingkungan	11,88983	2,822625	0,0099
Dimensi Hukum dan Tata Kelola	1,145810	0,369324	0,7154
<i>Dummy Tahun</i>	3,882470	3,404939	0,0025
<i>Dummy Wilayah</i>	-4,518133	-2,521881	0,0194
<i>Statistic Summary</i>			
<i>R-Squared</i>		0,824262	
<i>Adjusted R-Squared</i>		0,744380	
<i>F-Statistic</i>		10,31860	
<i>Prob(F-statistic)</i>		0,000003	

Berdasarkan (**Tabel 2**), dapat diketahui hasil regresi data panel untuk mengetahui pengaruh pembangunan berkelanjutan terhadap kualitas lingkungan hidup. Melalui tabel tersebut, dapat diketahui bahwa terdapat variabel yang signifikan secara parsial mempengaruhi kualitas lingkungan di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Beberapa variabel tersebut adalah Dimensi Lingkungan, *dummy* tahun dan *dummy* wilayah. Meskipun terdapat beberapa variabel yang tidak berpengaruh

signifikan, seperti dimensi sosial, dimensi ekonomi dan dimensi hukum dan tata kelola, keenam variabel independen dapat memberikan pengaruh secara simultan terhadap kualitas lingkungan hidup. Apabila dilihat melalui hasil uji F pada (**Tabel 2**) dapat dilihat nilai probabilitas sebesar 0,000003 yang lebih kecil dari 0,05 sehingga keenam variabel pada *Fixed Effect Model* secara bersama-sama simultan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas lingkungan hidup. Selain itu, melalui uji koefisien determinasi (R^2) menunjukkan nilai sebesar 74,44 %. Artinya, variabel-variabel independen yang digunakan dalam model mampu menjelaskan variasi dari variabel independen sebesar 74,44 %, sedangkan untuk sisanya yaitu sebesar 25,56 persen dijelaskan oleh variabel di luar model.

Hasil pemodelan tersebut selaras dengan penelitian Litasari (2018) yang menunjukkan bahwa dimensi pembangunan berkelanjutan secara bersama-sama memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen yang digunakan. Selain itu, nilai pengaruh yang dimiliki lebih besar dibandingkan penelitian sebelumnya hingga mencapai 75% faktor yang berpotensi. Selain itu, pemodelan yang diperoleh juga selaras dengan penelitian Rahayu dan Handri (2023) dan Nisa (2018) yang menyatakan bahwa faktor sosial ekonomi secara simultan berpengaruh signifikan terhadap kualitas lingkungan hidup. Kondisi yang terjadi selaras dengan Teori *Enviromental Kuznet Curve* bahwa pembangunan yang semakin baik akan mempengaruhi kualitas lingkungan. Penelitian Sumargo dan Haida (2020) menyatakan bahwa pembangunan berkelanjutan berhasil apabila terjadi peningkatan kualitas lingkungan sehingga pernyataan tersebut mendukung kondisi pembangunan berkelanjutan berpengaruh pada kualitas lingkungan. Hal ini menunjukkan dimensi-dimensi pembangunan berkelanjutan, berupa sosial, ekonomi, lingkungan dan hukum tata kelola, memiliki pengaruh simultan terhadap kualitas lingkungan hidup.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi perkembangan dimensi pembangunan berkelanjutan setiap kabupaten/kota Provinsi DIY memperlihatkan keadaan distribusi spasial yang berbeda-beda antar tahun dan wilayah, dengan capaian tertinggi indeks dimensi sosial adalah Kota Yogyakarta; dimensi ekonomi adalah Kulon Progo; dimensi lingkungan adalah Sleman; serta dimensi hukum dan tata kelola adalah Kulon Progo.

Kemudian, kondisi perkembangan tipologi kualitas lingkungan melalui pendekatan anggaran lingkungan hidup dan PSTK pertanian menunjukkan Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Gunungkidul terklasifikasi tipologi berkembang baik. Di sisi lain, melalui hasil uji pengaruh dimensi pembangunan berkelanjutan terhadap kualitas lingkungan hidup, diperoleh hasil bahwa dimensi lingkungan, *dummy* tahun dan *dummy* wilayah memiliki pengaruh yang signifikan secara parsial, sedangkan dimensi sosial, dimensi ekonomi, serta dimensi hukum dan tata kelola tidak memiliki pengaruh signifikan secara parsial.

Di sisi lain, variabel dimensi lingkungan, hukum dan tata kelola dan *dummy* tahun memberikan pengaruh positif terhadap kualitas lingkungan hidup, sedangkan variabel dimensi sosial, dimensi ekonomi dan *dummy* wilayah memberikan pengaruh negatif terhadap kualitas lingkungan hidup. Meskipun demikian, apabila secara simultan variabel independen tersebut secara bersama-sama menunjukkan nilai probabilitas 0,000003 sehingga simultan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas lingkungan hidup. Untuk ke depannya dapat dilakukan pembobotan variabel pada setiap dimensi pembangunan berkelanjutan untuk mengukur kinerja pembangunan sehingga akan diketahui fokus pembangunan pada masing-masing wilayah. Selain itu, pemilihan indikator pada setiap dimensi pembangunan berkelanjutan perlu dilakukan pemilihan yang eksploratif sehingga lebih mampu memberikan representatif terkait kondisi di lapangan pada setiap unit analisis wilayah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Awandari LPP dan Indrajaya IGB. 2016. Pengaruh infrastruktur, investasi dan pertumbuhan ekonomi terhadap kesejahteraan masyarakat melalui kesempatan kerja. *E-Jurnal Ekonomi Pembangunan Universitas Udayana* 5(12):1335–1462.
- [BPS DIY] Badan Pusat Statistik Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. 2020. Analisis Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Daerah Istimewa Yogyakarta 2015-2020. Badan Pusat Statistik Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Bantul.
- Darmanto D, Setiawan A dan Antoro MD. 2013. Kajian perubahan penggunaan lahan (landuse) terhadap indeks kualitas lingkungan hidup di DAS Progo bagian hilir [Proceeding]. Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS.

- [Diskominfo Kulon Progo] Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Kulon Progo. 2019. Analisis Produk Domestik Regional Bruto Kabupaten Kulon Progo. Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Kulon Progo. Wates.
- [DLH DIY] Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. 2020. Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Tahun 2019. Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Yogyakarta.
- [ECLAC] Economic Commission for Latin America and the Caribbean. 2000. Role of environmental awareness in achieving sustainable development. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. Santiago de Chile.
- Fitriani F. 2015. Analisis dampak pengeluaran pemerintah daerah fungsi lingkungan hidup terhadap kualitas lingkungan hidup [Skripsi]. Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Indonesia. Depok.
- Fontanella A. 2017. Pengaruh anggaran dan tata kelola pemerintah daerah terhadap kualitas lingkungan hidup dan kualitas pembangunan manusia [Disertasi]. Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Indonesia. Depok.
- Hendriawan D. 2019. Integrasi education for sustainable development pada Kurikulum Mata Pelajaran Sejarah di Sekolah Menengah Atas [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana, Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Kao JJ, Pan TC and Lin CM. 2009. An Environmental sustainability based budget allocation system for regional water quality management. *Journal of Environmental Management* 90(2):699–709.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2023. Profil Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) 2022. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta.
- Kurniawan A dan Sadali MI. 2018. Keistimewaan lingkungan Daerah Istimewa Yogyakarta. UGM PRESS. Yogyakarta.
- Kusharjanto H and Kim D. 2011. Infrastructure and human development: the case of Java, Indonesia. *Journal of the Asia Pacific Economy* 16(1):111–124.
- Kusumo BH. 2022. Analisis pengaruh pertumbuhan ekonomi, tingkat pengangguran, pendidikan dan Upah Minimum Kabupaten (UMK) terhadap kemiskinan Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa FEB* 10(2).

- [LAN] Lembaga Administrasi Negara. 2014. Kajian model reformasi birokrasi. Lembaga Administrasi Negara. Jakarta.
- Litasari YW. 2018. Pengaruh dimensi ekonomi, sosial dan lingkungan terhadap perencanaan pembangunan kawasan pesisir yang berkelanjutan di Kabupaten Malang. *Jurnal Ilmiah Administrasi Publik* 4(4):349–354.
- Mason R and Swanson T. 2002. The costs of uncoordinated regulation. *European Economic Review* 46(1):143–167.
- Nisa AK. 2018. Analisis pengaruh faktor sosial ekonomi terhadap kualitas lingkungan hidup Indonesia Tahun 2016 [Skripsi]. Politeknik Statistika STIS. Jakarta
- Pratiwi MCY dan Kuncoro M. 2016. Analisis pusat pertumbuhan dan autokorelasi spasial di Kalimantan: Studi empiris di 55 Kabupaten/Kota 2000–2012. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia* 16(2):81–104.
- Pravitasari AE, Rustiadi E, Mulya SP and Fuadina LN. 2018. Developing regional sustainability index as a new approach for evaluating sustainability performance in Indonesia. *Environ. Ecol. Res* 6(3):157–168.
- Rahayu HC and Handri H. 2023. Influence of environmental quality for sustainable development in Indonesia. *Jurnal Alwatzikhoebillah: Kajian Islam, Pendidikan, Ekonomi, Humaniora* 9(1):98–111.
- Rahmawati A dan Arif N. 2023. Analisis dampak perubahan penggunaan lahan terhadap kualitas lingkungan di Kapanewon Depok. *Majalah Geografi Indonesia* 37(2):114–123.
- Rifai AT, Aldi S dan Irnawati NI. 2021. Kesadaran hukum mahasiswa Fakultas Hukum Universitas Hasanuddin dalam berlalu lintas. *Hasanuddin Justice and Society* 1(1):32–43.
- Ristanto A. 2018. Analisis kualitas lingkungan hidup kota sedang dan kecil di Kalimantan [Tesis]. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Shafik N. 1994. Economic development and environmental quality: An econometric analysis. *Oxford Economic Papers* 46:757–773.
- Sriyanti S. 2023. Pengendalian dan pengelolaan lingkungan hidup. *Jurnal Bintang Pendidikan Indonesia* 1(2):24–39.
- Strong A. 2013. Measuring environmental quality: Ecosystem services or human health effects. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 38(3):344–358.

- Sumargo B and Haida RN. 2020. Linkages between economic growth, poverty, and environmental quality in Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pembangunan: Kajian Masalah Ekonomi dan Pembangunan* 21(1):47–59.
- Surya B, Salim A, Saleh H, Suriani S, Yunus K and Taibe P. 2022. Population mobility and urban transport management: Perspectives environmental quality degradation and sustainable development of suburban Makassar City, Indonesia. *Hungarian Geographical Bulletin* 71(4):383-400.
- Zafar MW, Saeed A, Zaidi SAH and Waheed A. 2021. The linkages among natural resources, renewable energy consumption, and environmental quality: A path toward sustainable development. *Sustainable Development* 29(2):353–362.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY MANAGEMENT

ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025

Vol. 8 No. 3, Desember 2024

Pengaruh faktor hidrologi terhadap pencemaran sampah padat di sungai (Studi kasus: Sungai Citarum, Jawa Barat) (Jauhar Zainalarifin, Hefni Effendi, Taryono)	233-245
Sebaran logam berat terlarut di Perairan Teluk Jakarta (Dwianka Rahman Maisalda, Yonvitner, Hefni Effendi)	246-254
Persepsi mahasiswa terhadap program Green Campus dalam mewujudkan perguruan tinggi yang berkelanjutan (Studi kasus: Universitas Negeri Malang) (Robby Hilmi Rachmadian, Sumarmi, Heni Masruroh, Sugeng Utaya, Yusuf Suharto)	255-275
Marine gastropod at the intertidal zone of Rutong Village, Ambon Island as an indicator of water quality (Sara Haumahu, Prulley A. Uneputty, Juliana Natan)	276-294
Analisis pola persebaran TPA dan TPS serta strategi pengelolaan sampah di Kabupaten Pasaman Barat (Tomi Pratama, Nefilinda, Afrital Rezki)	295-306
Penerapan kerangka kerja DPSIR terhadap sampah dan dampaknya pada lingkungan di Kawasan Wisata Pantai Pangandaran (Yogie Yedia Priatna, Billy Jones Tarigan, Mochammad Firmansyah Triputra, Iwan Kustiwan)	307-325
Pengaruh dimensi pembangunan berkelanjutan terhadap kualitas lingkungan hidup di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (Sulistiawan Fajar Nugroho, Evita Hanie Pangaribowo)	326-346

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