

Volume 10 Nomor 1 Tahun 2026
April 2026

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)

Lasriama Siahaan, S.Si, M.Si (IPB)

Jauhar Zainalarifin, S.Pi (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.

Peran *nature-based solution* dalam penanggulangan banjir dan ketahanan iklim perkotaan: kajian literatur ilmiah

Nature based solution as a role for urban flood mitigation an climate resilience: a review of scientific literature

Lintang Jata Angghita^{1*}, Marcio Tahalele², Kalmah³

¹Program Studi Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, Indonesia

³Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo, Kementerian Pekerjaan Umum, Solo, Indonesia

Abstrak.

Penanganan bencana hidrometeorologi di wilayah perkotaan menjadi tantangan khusus dalam penyelenggaraan tata kelola lingkungan. *Nature-based solutions* (NbS) menjadi salah satu upaya inovatif dengan memanfaatkan fungsi ekosistem alami untuk mengurangi risiko bencana hidrometeorologi dan meningkatkan ketahanan iklim di kawasan perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keterkaitan komponen NbS dalam fokus pengendalian dan pengurangan risiko banjir di kawasan perkotaan. Analisis dilakukan dengan telaah literatur dan pendekatan bibliometrik terhadap 15 publikasi ilmiah yang relevan dengan dalam periode 10 tahun terakhir. Hasil analisis divisualisasikan dan dipetakan menggunakan perangkat lunak *VOSviewer*. Hasil pemetaan dan visualisasi jaringan menunjukkan topik terkait NBS berkaitan erat dengan perubahan iklim, bencana hidrometeorologi, ekosistem, tata kelola perkotaan, perubahan iklim, biodiversitas, dan keberlanjutan. Implementasi, efektivitas, dan kebijakan terkait NbS mengindikasikan tantangan penerapan dan pelaksanaan evaluasi kinerja yang diperlukan untuk mengoptimalkan penerapan *Nature-based solution*. Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, dalam upaya mengurangi risiko bencana hidrometeorologi, tantangan terbesar dalam penerapan NbS terletak pada evaluasi dan partisipasi masyarakat serta kolaborasi lintas sektoral.

Kata kunci: *nature-based solution*, banjir, ketahanan iklim, hidrometeorologi, *VOSviewer*

Abstract.

Hydrometeorological disaster management in urban areas presents significant challenge in urban and environmental governance. Nature-based solutions (NbS) offer an innovative approach that utilizes natural ecosystem functions to reduce the risks of hydrometeorological disasters and enhance climate resilience in urban environments. This study aims to analyze the interrelationships among NbS components with specific focus on flood control and risk reduction in urban areas. The analysis was conducted through literature review and bibliometric analysis of 15 relevant scientific publications from the past decade. The results were visualized and mapped using VOSviewer software. The network mapping and visualization reveal that topics related to NbS are strongly associated with climate change, hydrometeorological disasters, ecosystems, urban governance, biodiversity, and sustainability. The implementation, effectiveness, and policy dimensions of NbS highlight ongoing challenges in performance evaluation that are essential to optimize their application. Based on the literature review, to reduce hydrometeorological disaster risks, the major challenges in implementing NbS depend on performance assessment, community participation, and multi-sectoral collaboration.

Keywords: *nature-based solution, flood, climate resilience, hydro-meteorological, VOSviewer*

1. PENDAHULUAN

Bencana hidrometeorologi banyak dijumpai di kawasan perkotaan. Perubahan iklim global dan peningkatan urbanisasi telah menyebabkan intensifikasi bencana hidrometeorologi di berbagai kota, seperti banjir, kekeringan, dan gelombang panas. Kondisi ini menjadi tantangan besar dalam tata kelola lingkungan dan perencanaan pembangunan berkelanjutan di wilayah perkotaan. Pendekatan konvensional yang mengandalkan infrastruktur abu-abu (*grey infrastructure*), seperti tanggul dan saluran drainase terbukti tidak selalu adaptif terhadap dinamika perubahan iklim serta sering kali menimbulkan dampak lingkungan dan sosial baru (Kabisch *et al.* 2016).

* Korespondensi Penulis
Email : lintang.jata@unika.ac.id

Penanganan bencana hidrometeorologi secara konvensional dengan menggunakan infrastruktur fisik berupa saluran beton, bendungan, kolam tampungan menjadi kurang adaptif dan tidak berkelanjutan. *Nature-based solution (NbS)* muncul sebagai salah satu inovasi baru yang mengutamakan dan memanfaatkan ekosistem alami untuk meminimalkan risiko bencana dan meningkatkan ketahanan iklim di wilayah perkotaan (Raymond et al. 2017). Pembangunan infrastruktur konvensional ini memerlukan investasi yang besar dan memerlukan biaya operasional rutin yang tidak sedikit sehingga manfaat dan dampak yang diperoleh tidak berkelanjutan (Kumar et al. 2021). NbS bertujuan untuk memanfaatkan jasa ekosistem (*ecosystem services*) guna mengurangi risiko bencana sekaligus meningkatkan kualitas lingkungan dan kesejahteraan masyarakat (Raymond et al. 2017). Pada kawasan perkotaan, penerapan NbS mencakup berbagai bentuk seperti ruang terbuka hijau, lahan basah buatan, sistem drainase berkelanjutan, dan restorasi kawasan pesisir (Sahani et al. 2019). Pembangunan ruang terbuka hijau, restorasi lahan basah, dan sistem drainase berwawasan lingkungan efektif mengurangi limpasan permukaan sekaligus meningkatkan kualitas udara, keanekaragaman hayati, dan kesejahteraan masyarakat (Cohen-Shacham et al. 2019).

Peningkatan kualitas udara sebagai manfaat penerapan NbS dengan bentuk penyediaan ruang rekreasi dan penguatan identitas kawasan, mampu memberikan kualitas hidup masyarakat perkotaan (Frantzeskaki 2019). Studi terdahulu menunjukkan bahwa efektivitas NbS dalam mengurangi risiko banjir dan bencana hidrometeorologi masih terkendala pada aspek evaluasi dan perencanaan. Penerapan NbS masih bersifat konseptual dan praktis yang mengabaikan integrasi multi sektoral dan keterlibatan partisipasi publik dalam perencanaannya. Kondisi ini menjadikan NbS yang diaplikasikan di lapangan tidak berkelanjutan dan tidak terukur nilai manfaatnya (Kumar et al. 2021).

Literatur terkait NbS yang berfokus perubahan iklim dan pengelolaan risiko bencana hidrometeorologi terus berkembang, tetapi mayoritas memberikan penekanan pada aspek manfaat dan efektivitas proyek yang diklaim telah menerapkan NbS. Belum ada penelitian yang menganalisis keterkaitan menyeluruh elemen NbS dalam sistem sosial-ekologis perkotaan, khususnya untuk pengendalian bencana meteorologi.

Keterbatasan pendekatan sistematis mengakibatkan penyusunan strategi implementasi NbS tidak dapat dilakukan dengan terintegrasi dan berkelanjutan. Kajian literatur ilmiah secara sistematis dapat menunjukkan keeratan hubungan antar komponen NbS dalam literatur akademik. Tren penelitian melalui kata kunci dominan, keterkaitan topik, dan jaringan kolaborasi antar peneliti dan institusi dapat dilakukan dengan analisis bibliometrik (Donthu *et al.* 2021). Pendekatan bibliometrik di dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang rinci mengenai struktur pengetahuan dan tren penelitian NbS dalam konteks pengurangan risiko banjir, serta memberikan landasan untuk strategi implementasi yang lebih efektif dan terintegrasi.

VOSviewer adalah salah satu perangkat lunak yang umum digunakan dalam analisis bibliometrik terutama untuk memvisualisasikan hubungan antar elemen seperti kata kunci, penulis, dan dokumen ilmiah berdasarkan frekuensi dan kekuatan asosiasi (van Eck and Waltman 2010). Dengan VOSviewer, dilakukan pemetaan dan analisis keterkaitan antar komponen NbS dalam upaya pencegahan banjir perkotaan dan bencana hidrometeorologi. Kajian mengenai hubungan antar komponen utama NbS, khususnya dalam konteks pengendalian banjir perkotaan masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian berfokus pada evaluasi teknis atau studi kasus implementasi, tetapi belum banyak yang menganalisis keterkaitan konseptual antar elemen NbS secara sistematis dan terukur (Sowińska-Świerkosz and García 2022). Akibatnya, penerapan NbS di tingkat kota masih cenderung parsial dan kurang terintegrasi dalam kebijakan pengelolaan risiko bencana.

Untuk menjawab kesenjangan penelitian tersebut, studi ini melakukan kajian literatur ilmiah dengan pendekatan bibliometrik guna memetakan dan menganalisis keterkaitan antar komponen NbS dalam konteks pengurangan risiko banjir dan peningkatan ketahanan iklim perkotaan. Penelitian ini secara khusus bertujuan untuk mengidentifikasi tema dan tren utama dalam penelitian NbS yang berkaitan dengan banjir perkotaan, memetakan hubungan konseptual antar komponen NbS melalui analisis bibliometrik menggunakan *VOSviewer*, dan mengidentifikasi tantangan utama dalam penerapan NbS di kawasan perkotaan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan analisis bibliometrik dengan menggunakan publikasi ilmiah 10 tahun terakhir dengan topik terkait NbS yang dikhususkan pada pengelolaan bencana hidrometeorologi di wilayah perkotaan. Penggambaran sistematik struktur, tren, jaringan, dan sistem pengetahuan yang berkembang dalam literatur ilmiah, analisis menggunakan metode bibliometrik dianggap paling efektif (Donthu *et al.* 2021). Analisis bibliometrik ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *VOSviewer* untuk memetakan relasi kata kunci dan topik publikasi ilmiah yang terkait dengan NbS.

2.1. Pengumpulan Data

Data bibliografis diperoleh melalui *Google Scholar* dan *ResearchGate*, yaitu dua platform yang banyak digunakan untuk mengakses literatur ilmiah multidisipliner. Proses pencarian dilakukan dengan menggunakan kombinasi kata kunci seperti “*Nature Based*”, “*NbS*”, “*flood*”, “*mitigation*”, dan “*effectiveness*”. Kriteria inklusi artikel adalah relevan dengan implementasi NbS untuk pencegahan banjir di kawasan perkotaan dan terbit pada periode 2015–2024. Penyeleksian kesesuaian topik dilakukan secara manual dengan mempertimbangkan kualitas publikasi dilihat dari judul, abstrak, kata kunci, dan sumber publikasi yang menjadi acuan. Penyusunan dan pengecekan metadata serta kata kunci masing-masing naskah yang memiliki kesesuaian topik dengan NbS dilakukan melalui Mendeley, kemudian diunduh dalam format “.ris” untuk dianalisis lebih lanjut.

2.2. Analisis dan visualisasi data

Data yang telah dikompilasi diolah menggunakan *VOSviewer*, sebuah perangkat lunak yang umum digunakan dalam studi bibliometrik untuk membangun dan memvisualisasikan jaringan kata kunci dan hubungan antar dokumen (van Eck and Waltman 2010). Fokus analisis bibliografi dengan *VOSviewer* mencakup:

1. Analisis kemunculan bersama (*co-occurrence*) kata kunci, untuk mengidentifikasi frekuensi dan keterkaitan antar konsep dalam masing-masing literatur
2. Visualisasi klaster, untuk mengidentifikasi tema besar dan struktur topik dalam lingkup kajian NbS dan pengurangan risiko banjir

3. Pemetaan kekuatan hubungan (*link strength*), untuk melihat seberapa kuat hubungan antar kata kunci berdasarkan jumlah kata kunci yang muncul bersama

Dalam *VOSviewer* untuk menganalisis kata kunci, hanya istilah dengan frekuensi kemunculan minimal 5 kali yang dimasukkan untuk menjaga relevansi dan keterbacaan visualisasi. Hasil analisis divisualisasikan dalam bentuk *network maps*, *density maps*, dan *overlay maps*, yang menggambarkan hubungan antar elemen berdasarkan kekuatan asosiasi (*link strength*) dan frekuensi kemunculan.

2.3. Interpretasi hasil

Peta visualisasi yang dihasilkan oleh *VOSviewer* menjadi bahan untuk menginterpretasikan tema sentral yang dominan dalam kajian yang sudah pernah dilakukan terkait NbS dan pengelolaan risiko bencana hidrometeorologi. Hasil analisis bibliografi divisualisasikan sebagai jaringan menggunakan *VOSviewer* untuk menunjukkan keterkaitan antar komponen NbS serta mengidentifikasi topik yang belum tereksplorasi. Interpretasi dilakukan secara kualitatif dengan cara peninjauan terhadap klaster-klaster utama dan posisi sentral istilah dalam jaringan, guna memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai struktur pengetahuan ilmiah dalam bidang NbS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Telaah literatur terhadap sejumlah artikel ilmiah yang secara eksplisit membahas penerapan NbS dalam konteks mitigasi bencana hidrometeorologi, khususnya banjir di wilayah perkotaan dilakukan sebagai pelengkap dari analisis bibliometrik. Artikel-artikel yang dikaji dipilih berdasarkan relevansi topik, keterbaruan (tahun terbit 2015–2024), dan ketersediaan informasi mengenai kata kunci serta temuan utama. Ringkasan hasil kajian tersebut disajikan dalam **Tabel 1**, yang merangkum judul publikasi, kesimpulan temuan, serta nama penulis sebagai dasar untuk mengidentifikasi pola umum dan gap penelitian dalam implementasi NbS untuk pengurangan risiko banjir.

Tabel 1. Ringkasan kajian literatur.

No	Judul	Kesimpulan	Penulis
1	<i>An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards</i>	- NbS memiliki peranan penting dalam pendukung pembangunan berkelanjutan untuk mengurangi risiko bencana hidrometeorologi seperti banjir, kekeringan, gelombang panas, tanah longsor, dan erosi pantai. - Pendekatan NbS ini lebih efektif dan berkelanjutan dibandingkan metode konvensional berbasis <i>hard infrastructure</i>. - Prinsip kerja NbS adalah dengan memanfaatkan dan memodifikasi ekosistem alami dalam rangka meningkatkan ketahanan terhadap bencana, sekaligus meningkatkan biodiversitas dan kesejahteraan sosial. - Penerapan NbS perlu dievaluasi secara rutin dengan sistem yang sederhana, terukur, relevan, dan mudah diterapkan untuk membangun kepercayaan pemangku kepentingan. - Metode pemantauan yang dapat digunakan untuk mengevaluasi penerapan NbS dapat menggunakan sensor lingkungan, pengukuran lapangan langsung, dan teknologi penginderaan jauh (<i>remote sensing</i>). - Pemilihan metode pengukuran bergantung pada jenis risiko dan skala penerapan NbS. - Pendekatan holistik yang menggabungkan data kuantitatif dan kualitatif memungkinkan evaluasi kinerja NbS secara menyeluruh dan berkelanjutan.	Kumar et al. (2021)
2	<i>The science, policy and practice of nature-based solutions: an interdisciplinary perspective</i>	- Urbanisasi dan perubahan iklim menimbulkan tantangan besar bagi keberlanjutan lingkungan perkotaan. - Ruang terbuka hijau (RTH) merupakan salah satu bentuk penerapan <i>Nature-based solutions</i> (NbS) yang paling umum di kota. - Ketersediaan RTH berperan penting dalam: - Mengurangi polusi udara (terutama PM₁₀ dan NO₂), - Mengendalikan suhu mikro di kawasan perkotaan, dan - Menyediakan ruang rekreasi bagi masyarakat. - NbS menekankan pemanfaatan ekosistem alami dalam pembangunan kota yang berkelanjutan. - Dalam konteks perkotaan, distribusi dan aksesibilitas ruang hijau menjadi kunci untuk mengatasi masalah polusi udara dan perubahan iklim mikro.	Nesshöver et al. (2017)
3	<i>Hydro-meteorological risk assessment methods and management by nature-based solutions</i>	- Ruang terbuka hijau (RTH) merupakan salah satu bentuk implementasi <i>Nature-Based Solutions</i> (NbS) yang berperan penting dalam meningkatkan kualitas udara dan kesejahteraan masyarakat perkotaan.	Sahani et al. (2019)

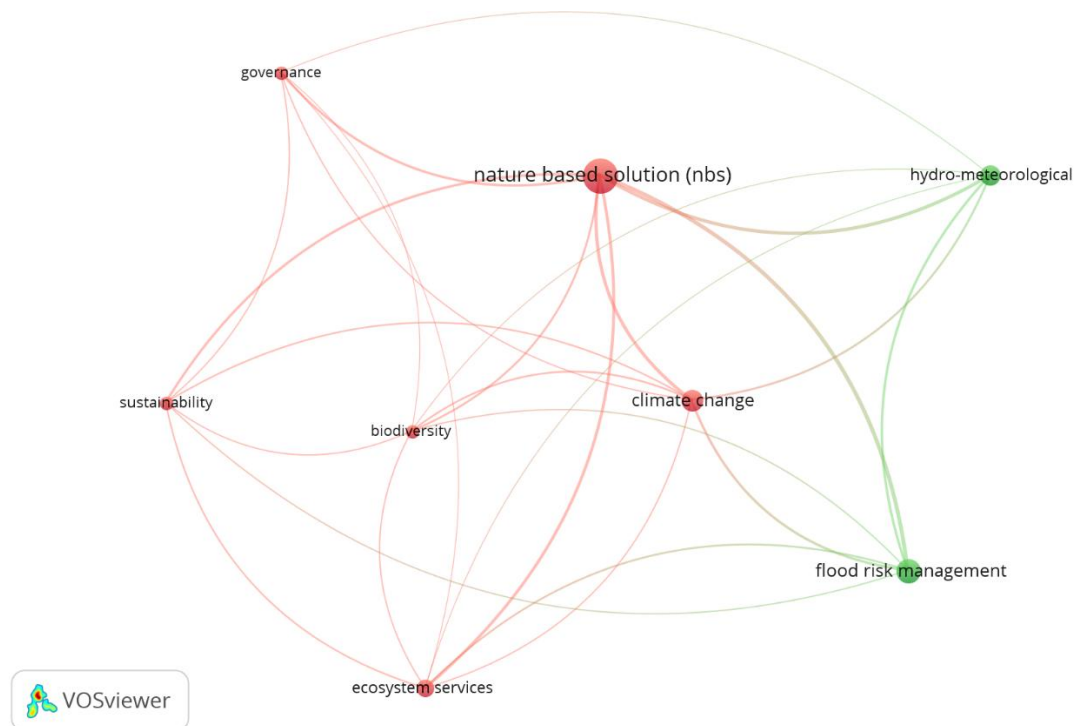
No	Judul	Kesimpulan	Penulis
		- Integrasi RTH dalam perencanaan kota menjadi strategi utama untuk mengendalikan polusi dan meningkatkan ketahanan kota terhadap perubahan iklim. - Aspek sosial ekonomi merupakan tantangan utama dalam pemerataan distribusi RTH di wilayah perkotaan. - Kebijakan tata kota dalam penerapan NbS berbasis RTH harus menekankan keadilan sosial, akses yang merata, dan peningkatan kesehatan masyarakat.	
4	<i>Nature-based solutions efficiency evaluation against natural hazards: modelling methods, advantages and limitations</i>	- <i>Nature-Based Solutions</i> (NbS) berperan penting dalam meningkatkan ketahanan masyarakat perkotaan terhadap risiko perubahan iklim. - Efektivitas penerapan NbS bergantung pada tiga aspek utama, yaitu : partisipasi masyarakat, peningkatan kapasitas lokal, dan prinsip keberlanjutan dalam pelaksanaan. - Analisis numerik dan pemodelan menunjukkan bahwa keberhasilan NbS tidak cukup hanya mengandalkan infrastruktur hijau atau restorasi ekosistem, tetapi memerlukan: kolaborasi lintas sektor, dukungan institusional, dan keterlibatan aktif masyarakat dalam perencanaan dan implementasi.	Kumar et al. (2021)
5	<i>A new evaluation framework for nature-based solutions (NbS) projects based on the application of performance questions and indicators approach</i>	- <i>Nature-Based Solutions</i> (NbS) efektif dalam mengurangi risiko bencana klimatologi dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat perkotaan. - Drainase alami dan hutan kota berperan penting dalam melindungi wilayah perkotaan dari banjir, gelombang panas, dan polusi udara. - Tantangan utama penerapan NbS meliputi: keterbatasan lahan, konflik kepentingan antar pemangku kepentingan, dan rendahnya kesadaran publik. - Penguatan kelembagaan dan integrasi kebijakan lintas sektor menjadi strategi kunci untuk meningkatkan ketahanan kota terhadap bencana hidrometeorologi melalui penerapan NbS yang berkelanjutan.	Sowińska-Świerkosz and García (2021)
6	<i>Nature-based solutions can help reduce the impact of natural hazards: a global analysis of NbS case studies</i>	- <i>Nature-Based Solutions</i> (NbS) dapat diintegrasikan secara efektif dalam pengelolaan risiko bencana perkotaan. - Bencana hidrometeorologi seperti banjir, gelombang panas, dan polusi udara memerlukan pendekatan berbasis ekosistem alami yang bersifat komprehensif dan berkelanjutan. - Keberhasilan penerapan NbS bergantung pada kolaborasi inklusif antara: masyarakat, pemerintah, dan pihak terkait lainnya (akademisi, sektor swasta, dan organisasi masyarakat). - Pendekatan partisipatif ini memperkuat ketahanan perkotaan dalam menghadapi bencana hidrometeorologi.	Debele et al. (2023)

No	Judul	Kesimpulan	Penulis
7	<i>Building urban resilience with nature-based solutions: how can urban planning contribute?</i>	- <i>Nature-Based Solutions</i> (NbS) berperan penting dalam menangani permasalahan perkotaan secara berkelanjutan, terutama terkait perubahan iklim dan urbanisasi. - Bentuk penerapan NbS mencakup: restorasi ekosistem, penataan ruang terbuka hijau, dan pengelolaan air berbasis alam. - Penerapan NbS terbukti efektif dan hemat biaya dalam meningkatkan ketahanan kota terhadap bencana. - Keberhasilan implementasi NbS membutuhkan pendekatan kebijakan yang terkoordinasi, dukungan multi-pemangku kepentingan (pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat), serta kerangka kelembagaan yang jelas dan partisipasi publik pada setiap tahap pelaksanaan.	Bush and Doyon (2019)
8	<i>Wetlands as large-scale nature-based for solutions: status and challenges research, engineering and management</i>	- Implementasi <i>Nature-Based Solutions</i> (NbS) di ekosistem pesisir, seperti hutan mangrove dan padang lamun, memberikan berbagai manfaat ekologis dan sosial. - NbS di wilayah pesisir berfungsi untuk melindungi pantai dari abrasi, meningkatkan produktivitas perairan, menyerap karbon, serta mendukung budidaya dan konservasi perikanan. - Peran aktif masyarakat pesisir sangat penting untuk menjaga keberlanjutan ekosistem alami dan efektivitas jangka panjang penerapan NbS di wilayah pesisir.	Thorslund et al. (2017)
9	<i>Advancing the implementation of nature-based solutions in cities: a review of frameworks</i>	- <i>Nature-Based Solutions</i> (NbS) adalah pendekatan yang memanfaatkan proses alami untuk meningkatkan ketahanan dan keberlanjutan kota, sekaligus memberikan manfaat sosial, ekologis, dan ekonomi. - Tantangan utama dalam penerapan NbS meliputi kurangnya pemahaman operasional, kesenjangan pengetahuan, dan keterbatasan kolaborasi lintas pemangku kepentingan. - Implementasi efektif NbS membutuhkan keterlibatan banyak pihak dan penyesuaian solusi sesuai konteks lokal. - Dua elemen penting dalam perencanaan NbS adalah kolaborasi lintas sektor, dan penciptaan pengetahuan bersama (<i>co-creation of knowledge</i>). - Pendekatan transdisipliner dan metode "<i>learning-by-doing</i>" efektif untuk membangun pemahaman bersama, mengurangi ketidakpastian, dan menghasilkan solusi yang dapat diterapkan secara nyata.	Wickenberg et al. (2021)
10	<i>Competing narratives of nature-based solutions: leveraging the power of</i>	- Implementasi <i>Nature-Based Solutions</i> (NbS) merupakan salah satu strategi penting dalam menghadapi perubahan iklim. - Penerapan NbS memberikan dampak positif berupa peningkatan keanekaragaman hayati (<i>biodiversity</i>) dan ketahanan ekosistem.	Melanidis and Hagerman (2022)

No	Judul	Kesimpulan	Penulis
	<i>nature or dangerous distraction?</i>	- Keberhasilan implementasi NbS memerlukan kolaborasi lintas sektor antara pemerintah, sektor swasta, dan komunitas lokal. - Peran masyarakat adat dan komunitas lokal sering kali masih terpinggirkan di dalam penerapan NbS, sementara korporasi besar cenderung memiliki dominasi lebih besar. - Keberlanjutan dan keadilan dalam penerapan NbS harus berlandaskan pada prinsip keadilan lingkungan (<i>environmental justice</i>) serta pembatasan dominasi sektor swasta dalam proses pengambilan keputusan.	
11	<i>Choosing the right nature-based solutions to meet diverse urban challenges</i>	- <i>Nature-Based Solutions</i> (NbS) yang paling efektif untuk mengatasi permasalahan hidrometeorologi meliputi penanaman pohon dan pelestarian ekosistem alami yang masih ada. - Upaya penerapan NbS seperti perbaikan tanah melalui infiltrasi dinilai kurang efektif karena manfaat langsungnya terbatas. - Fokus utama optimalisasi penerapan NbS sebaiknya diarahkan pada peningkatan kapasitas masyarakat dan penguatan kelembagaan agar implementasi lebih berkelanjutan dan terukur.	Croeser et al. (2021)
12	<i>What are nature-based solutions (NbS)? setting core ideas for concept clarification</i>	- <i>Nature-Based Solutions</i> (NbS) sering keliru dipahami sebagai sekadar intervensi hijau atau biru; padahal konsepnya lebih mendalam. - Prinsip utama NbS adalah digerakkan oleh proses alam, berorientasi pada solusi terhadap tantangan sosial dan lingkungan, memberikan manfaat ganda (biodiversitas, kesejahteraan sosial, dan efisiensi ekonomi). - Pengelolaan NbS harus bersifat adaptif dan melibatkan pemangku kepentingan untuk memastikan keberlanjutan dan penerimaan sosial. - Partisipasi masyarakat merupakan elemen penting dalam penerapan NbS. - Infrastruktur buatan yang hanya meniru bentuk alami tidak termasuk NbS sejati, karena tidak digerakkan oleh fungsi ekosistem yang sebenarnya.	Sowińska-Świerkosz and García (2022)
13	<i>Nature-based solutions for flood mitigation and resilience in urban areas</i>	- Perubahan iklim dan urbanisasi meningkatkan kerentanan kota terhadap bencana hidrometeorologi, terutama banjir. - Peningkatan area kedap air mengganggu siklus hidrologi alami, memperparah limpasan permukaan. - Penerapan NbS seperti taman kota, hutan kota, lahan basah, taman atap, <i>bioretention</i> basin, dan sistem drainase berkelanjutan, berfungsi untuk menahan, menyaring, dan menginfiltrasi air hujan, sehingga efektif dalam pengendalian banjir.	Ferreira et al. (2022)

No	Judul	Kesimpulan	Penulis
		- Jaringan ekosistem yang saling terhubung lebih efektif dibandingkan elemen tunggal yang terisolasi. - Tantangan utama implementasi NbS meliputi waktu pelaksanaan yang relatif lama dan keterbatasan pengetahuan masyarakat serta pemangku kepentingan dalam memahami konsep dan manfaat NbS.	
14	<i>Natural flood management: opportunities to implement nature-based solutions on privately owned land</i>	- Penerapan <i>Nature-Based Solutions</i> (NbS) untuk mengurangi risiko banjir dan adaptasi terhadap perubahan iklim memberikan manfaat ganda, antara lain peningkatan keanekaragaman hayati, peningkatan kualitas air, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. - Tantangan utama dalam implementasi NbS sering muncul karena ketergantungan pada lahan milik pribadi, yang berpotensi menimbulkan konflik kepentingan. - Faktor kunci keberhasilan NbS meliputi: kondisi fisik daerah aliran sungai (DAS), interaksi sosial, ketersediaan sumber daya keuangan, dan kerangka kelembagaan yang mendukung. - Faktor sosial dan kelembagaan, seperti tingkat kepercayaan, solidaritas masyarakat, kepemilikan lahan, dan dukungan kebijakan publik, menjadi penentu utama keberhasilan jangka panjang penerapan NbS.	Thaler et al. (2023)
15	<i>Nature-based solutions for sustainable flood management In East Africa</i>	- Penerapan <i>Nature-Based Solutions</i> (NbS) di kawasan peri-urban Afrika Timur terbukti mengurangi risiko banjir sekaligus mendukung pemulihan ekosistem. - Bentuk implementasi NbS meliputi pemanenan air hujan, pertanian perkotaan (<i>urban farming</i>), bio-retention, serta integrasi infrastruktur hijau di kawasan padat penduduk. - Pendekatan ini dinilai lebih fleksibel, hemat biaya, dan adaptif dibandingkan dengan infrastruktur konvensional. - Kendala utama penerapan NbS meliputi: rendahnya kesadaran publik, kurangnya keterlibatan pemangku kepentingan lintas sektor, dan minimnya pemanfaatan pengetahuan lokal.	Long'or Lokidor et al. (2024)

Analisis bibliometrik dilakukan untuk memahami sejauh mana penelitian mengenai NbS berkembang dalam konteks pengendalian bencana hidrometeorologi, khususnya banjir di kawasan perkotaan. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi pola publikasi, keterkaitan konsep, serta peta hubungan antar topik yang muncul dalam literatur ilmiah. Data bibliografis dikumpulkan dari platform *ResearchGate* dan *Google Scholar* dengan rentang waktu 2015-2024 yang selanjutnya diseleksi berdasarkan relevansi terhadap tema NbS, pengurangan risiko banjir, dan ketahanan iklim perkotaan. Sebanyak 15 publikasi ilmiah dipilih untuk dianalisis dan divisualisasikan menggunakan perangkat lunak *VOSviewer* untuk identifikasi kata kunci dominan, relasi antar konsep, dan kluster tematik penelitian. Pendekatan ini membantu mengungkap arah perkembangan riset serta area yang masih memiliki celah (*research gap*) untuk pengembangan NbS yang lebih terintegrasi. Pada konteks penanganan bencana hidrometeorologi di wilayah perkotaan. Kata kunci pada literatur yang muncul bersamaan (*co-occurrence*) di beberapa literatur yang dikaji menjadi dasar dalam menentukan keterkaitan antar topik yang dimaksud. Hasil visualisasi dari *VOSviewer* dari literatur yang dipilih dan kata kunci yang digunakan disajikan dalam **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta visualisasi co-occurrence kata kunci terkait *Nature-Based Solutions* dan pencegahan banjir menggunakan *VOSviewer*.

Berdasarkan hasil visualisasi pada **Gambar 1**, kelompok pertama yang ditandai dengan warna merah berpusat pada konsep NbS. Hal ini menunjukkan keterkaitan erat dengan kata kunci seperti *climate change*, *ecosystem services*, *biodiversity*, *sustainability*, dan *governance*. Kelompok ini menunjukkan bahwa pendekatan ekosistemik dan tata kelola berperan penting sebagai komponen pendukung dalam penerapan NbS. Studi sebelumnya menyatakan bahwa realisasi NbS sangat tergantung pada kerangka tata kelola yang adaptif, aliansi lintas sektor, dan mekanisme partisipasi yang kuat (Martin et al. 2025). Hal ini menunjukkan bahwa dalam literatur terdahulu, NbS tidak hanya dilihat sebagai solusi teknis atau fisik, tetapi juga sebagai strategi yang memiliki kaitan erat dengan dinamika lingkungan, keberlanjutan, serta sistem sosial dan kelembagaan. Sebagai bagian dari kelembagaan dan sistem sosial, partisipasi masyarakat dalam perencanaan dan penerapan NbS sangat diperlukan. Dengan melihat pemetaan klaster ini di **Gambar 1**, argumen kuat dapat diajukan bahwa implementasi NbS yang hanya berfokus pada aspek teknis tanpa memperhitungkan faktor kelembagaan dan sosial akan berisiko rendah dalam mencapai hasil jangka panjang. Hasil ini juga menegaskan bahwa strategi penerapan NbS di kota harus diarahkan pada penguatan tata kelola transdisipliner dan partisipasi publik agar tidak hanya menjawab tantangan ekologis tetapi juga memperkuat sistem sosial-ekologis dalam konteks urban.

Kelompok kedua yang ditandai dengan warna hijau mencakup kata kunci seperti *flood risk management* dan *hydro-meteorological*. Kelompok ini lebih berfokus pada aspek teknis dan fungsional manfaat dari NbS dalam mengelola dan mengurangi risiko bencana akibat perubahan iklim dan hidrometeorologi. Studi terkait telah menegaskan bahwa integrasi NbS ke dalam strategi mitigasi banjir dapat meningkatkan kapasitas retensi air dan mengurangi limpasan secara signifikan (Chen et al. 2021). Hubungan kuat antara NbS dan *flood risk management* menunjukkan bahwa dalam sepuluh tahun terakhir, penelitian mengenai potensi NbS untuk mengurangi dampak banjir dan bencana hidrometeorologi semakin meningkat. Kondisi ini menunjukkan bahwa kondisi area urban yang telah menerapkan NbS lebih mampu menghadapi dan mengelola bencana hidrometeorologi terutama banjir.

Menariknya, *climate change* muncul sebagai simpul penghubung antara kedua kelompok, yang menunjukkan perubahan iklim memiliki peran utama sebagai latar belakang perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi penerapan NbS. Temuan ini sejalan dengan pandangan Raymond *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa NbS tidak dapat dilepaskan dari konteks perubahan iklim karena secara fundamental dirancang untuk memperkuat ketahanan ekosistem dan masyarakat terhadap dampak iklim ekstrem. Hal ini menegaskan posisi perubahan iklim sebagai variabel utama dalam pengembangan penelitian ilmiah mengenai solusi berbasis alam dan pengurangan risiko banjir terutama di wilayah perkotaan. Garis penghubung (*link strength*) yang tebal antara NbS dengan *ecosystem services* dan *flood risk management* juga menunjukkan bahwa ekosistem tidak hanya dapat diabaikan atau dianggap sebagai elemen pasif atau sekedar obyek yang perlu dilindungi, akan tetapi sebagai elemen aktif atau subyek pelaku dan pemeran dalam pengendalian risiko banjir. Hal ini sejalan dengan studi Cohen-Shacham *et al.* (2019) yang menekankan bahwa ekosistem berperan sebagai “aktor fungsional” yang mendukung mitigasi dan adaptasi melalui layanan ekologis seperti retensi air, filtrasi, dan penyerapan karbon. Hubungan antara *governance* dengan *flood risk management* masih relatif lemah yang ditunjukkan dengan tidak adanya garis penghubung langsung. Hal ini menunjukkan adanya potensi pengembangan penelitian yang berkaitan dengan upaya mengintegrasikan tata kelola dan pengambilan kebijakan dalam konteks teknis mitigasi bencana berbasis alami.

Secara keseluruhan, visualisasi ini menunjukkan bahwa pendekatan NbS dalam pengurangan risiko banjir di perkotaan melibatkan keterkaitan erat antara aspek ekologis, sosial, dan tata kelola. Meskipun hubungan antar komponen tersebut belum sepenuhnya seimbang dalam literatur yang ada, temuan ini menegaskan bahwa efektivitas NbS sangat bergantung pada integrasi ketiga aspek tersebut. Dengan demikian, penerapan NbS di wilayah urban perlu diarahkan pada pendekatan yang holistik, kolaboratif, dan adaptif untuk memperkuat ketahanan kota terhadap bencana banjir.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan bibliometrik dapat menjadi salah satu cara yang efektif untuk memahami struktur dan tren penelitian terkait NbS dalam konteks pengurangan risiko banjir di kawasan perkotaan. Hasil analisis visual menggunakan *VOSviewer* terhadap publikasi ilmiah selama periode 2015–2024, ditemukan bahwa NbS memiliki keterkaitan yang erat dengan berbagai konsep utama seperti *climate change*, *ecosystem services*, *governance*, dan *flood risk management*. Temuan ini menegaskan bahwa NbS bukan hanya konsep ekologis, tetapi juga strategi penerapan multidimensi yang mengintegrasikan aspek teknis, sosial, dan kelembagaan dalam pengelolaan risiko banjir berbasis alam.

Keberhasilan NbS di kawasan perkotaan sangat dipengaruhi oleh integrasi kebijakan, partisipasi masyarakat, serta kolaborasi lintas sektor dalam perencanaan tata ruang dan pengelolaan sumber daya air. Penerapan NbS seperti taman kota, lahan basah buatan, ruang terbuka hijau, dan sistem drainase alami terbukti mampu meningkatkan kapasitas kota dalam menyerap limpasan air dan menurunkan potensi banjir. Namun, lemahnya koordinasi antar lembaga dan keterlibatan publik masih menjadi kendala utama dalam implementasinya. Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu difokuskan pada pengembangan model tata kelola dan mekanisme partisipatif yang memperkuat efektivitas penerapan NbS secara teknis dan sosial. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar konseptual dan praktis bagi perumusan kebijakan perkotaan yang lebih adaptif, kolaboratif, dan berkelanjutan terhadap risiko bencana hidrometeorologi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bush B, Dronova I and Sierra L. 2019. Building urban resilience with nature-based solutions: how can urban planning contribute?. *Cities* 95(2):102483.
- Chen C, Ngiam RWJ, Quek RHQ, Carrasco LR and Song XP. 2021. Development and modelling of realistic retrofitted nature-based solution scenarios to reduce flood occurrence at the catchment scale. *Ambio* 50(8):1462–1476.
- Cohen-Shacham E, Andrade A, Dalton J, Dudley N, Jones M, Kumar C, Maginnis S, Maynard S, Nelson CR, Renaud FG, Welling R and Walters G. 2019. Core principles for successfully implementing and upscaling nature-based solutions.

- Environmental Science and Policy 98(1):20–29.
- Croeser T, Garrard GE, Sharma R, Desha C, Backstrom AC, Mata L and Bekessy SA. 2021. Choosing the right nature-based solutions to meet diverse urban challenges. *Urban Forestry and Urban Greening* 65(1):127337.
- Debele SE, Kumar P, Sahani J, Marti-Cardona B, Mickes K, Leo LS, Di Sabatino S, Buzasi A, Guida S, Brinyiczki K and Slobodova V. 2023. Nature-based solutions can help reduce the impact of natural hazards: a global analysis of NbS case studies. *Science of the Total Environment* 902(1):166129.
- Donthu N, Kumar S, Mukherjee D, Pandey N and Lim WM. 2021. How to conduct a bibliometric analysis: an overview and guidelines. *Journal of Business Research* 133(1):285–296.
- van Eck NJ and Waltman L. 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics* 84(2):523–538.
- Ferreira CSS, Kalantari Z and Stolte J. 2022. Nature-based solutions for flood mitigation and resilience in urban areas. *Handbook of Environmental Chemistry* 107(1):59–78.
- Frantzeskaki N. 2019. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental Science and Policy* 93(1):101–111.
- Kabisch N, Frantzeskaki N, Pauleit S, Naumann S, Davis M, Artmann M, Haase D, Knapp S, Korn H, Stadler J, Zaunberger K and Bonn A. 2016. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society* 21(2):39.
- Kumar P, Debele SE, Sahani J, Rawat N, Marti-Cardona B, Alfieri SM, Pulvirenti B, Carducci A, Abate R, Ascari E and De Vreese R. 2021. An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards. *Earth-Science Reviews* 217(1):103603.
- Kumar P, Debele SE, Sahani J, Arabi M, Bardout M, Buzasi A, Ciraolo G, Giurato D, Hlavacova V, Lupu A and Mattas C. 2021. Nature-based solutions efficiency evaluation against natural hazards: modelling methods, advantages and limitations. *Science of the Total Environment* 784(1):147054.

- Long'or Lokidor S, Sishodia RP, Gichaba CM and Kipkemboi J. 2024. Nature-based solutions for sustainable flood management in East Africa. *Journal of Flood Risk Management* 17(1):e12957.
- Martin J, Thaler T, Elrick-Barr C, Ghorbani M, van den Hoorn L, Mees H and Seneviratne S. 2025. The nature-based solution implementation gap: a review of nature-based solution governance barriers and enablers. *Journal of Environmental Management* 388(2):126007.
- Melanidis M and Hagerman AD. 2022. Competing narratives of nature-based solutions: leveraging the power of nature or dangerous distraction?. *Environmental Science and Policy* 132(1):273–281.
- Nesshöver C, Assmuth T, Beese K, Balian EV, Delbaere B, Haase D, Hilsberg J, Keune H, Jacobs K, Kertész M and Primmer E. 2017. The science, policy and practice of nature-based solutions: an interdisciplinary perspective. *Science of the Total Environment* 579(1):1215–1227.
- Raymond CM, Berry P, Breil M, Nita MR, Kabisch N, de Bel M, Enzi V, Frantzeskaki N, Geneletti D, Cardinaletti M and Maragno D. 2017. A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science and Policy* 77(2):15–24.
- Sahani J, Kumar P, Debele S, Spiric V, Di Sabatino S, Pulvirenti B, Brattich E and Minguzzi E. 2019. Hydro-meteorological risk assessment methods and management by nature-based solutions. *Science of the Total Environment* 696(2):133936.
- Sowińska-Świerkosz B and García J. 2021. A New evaluation framework for Nature-Based Solutions (NBS) Projects based on the application of performance questions and indicators approach. *Science of the Total Environment* 787 (1):147615.
- Sowińska-Świerkosz B and García J. 2022. What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions* 2(1):100009.
- Thaler T, Schindelegger A and Seebauer S. 2023. Natural flood management: opportunities to implement nature-based solutions on privately owned land. *WIREs Water* 10(3):e1637.

- Thorslund J, Jarsjö J, Jaramillo F, Jawitz JW, Manzoni S, Basu NB, Chalov SR, Cohen MJ, Creed IF, Goldenberg R and Hylin A. 2017. Wetlands as large-scale nature-based solutions: status and challenges for research, engineering and management. *Ecological Engineering* 108:489–497.
- Wickenberg B, Olsson JA, Goodwin G and McCormick K. 2021. Advancing the implementation of nature-based solutions in cities: a review of frameworks. *Environmental Science and Policy* 125(2):44–53.

Analisis manfaat ekologis spesies dominan di RTH Kota Samarinda menggunakan *national tree benefit calculator*

Ecological benefits analysis of dominant tree species in Samarinda urban green spaces using the national tree benefit calculator

Dina Hayati Putri^{1*}, Budiman²

¹Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

²Program Studi Biologi, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

Abstrak.

Ruang Terbuka Hijau (RTH) berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekologis dan meningkatkan kualitas lingkungan perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui spesies dan menganalisis manfaat ekologis spesies dominan pada RTH Kota Samarinda menggunakan *National Tree Benefit Calculator* (NTBC). Metode penelitian melibatkan identifikasi jenis dan jumlah spesies dominan di beberapa taman kota, diikuti dengan penghitungan manfaat ekologis seperti kemampuan vegetasi dalam mereduksi polutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dominasi pohon di RTH Kota Samarinda merupakan indikator positif bahwa RTH tersebut telah dikelola dengan baik dan memberikan manfaat ekologis, sosial, dan estetika yang signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyerapan polutan oleh vegetasi per tahunnya yaitu *Polyalthia longifolia* menyerap polutan paling tinggi, yaitu Karbonmonoksida sebesar 2,65 oz, Ozon sebesar 10,46 oz, Nitrogen dioksida sebesar 126,1 oz, Sulfur dioksida sebesar 22,57 oz dan PM_{2.5} sebesar 6,58 oz. Penelitian ini memberikan rekomendasi untuk pemilihan spesies yang tepat dalam pengembangan RTH, dengan mempertimbangkan manfaat ekologis. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengambil kebijakan dalam merencanakan dan mengelola RTH yang berkelanjutan di Kota Samarinda.

Kata kunci: ruang terbuka hijau (RTH), manfaat ekologis, *polyalthia longifolia*, *national tree benefit calculator* (NTBC)

Abstract.

*Urban Green Space (UGS) plays a crucial role in maintaining ecological balance and enhancing the quality of urban environments. This study aims to identify species and analyze the ecological benefits of dominant species in the UGS of Samarinda City using the National Tree Benefit Calculator (NTBC). The research method involved identifying the types and numbers of dominant species in several city parks, then calculating ecological benefits, such as vegetation's ability to reduce pollutants. The results show that the dominance of large trees in Samarinda City's UGS is a positive indicator that the UGS has been well-managed and provides significant ecological, social, and aesthetic benefits. Research suggests that *Polyalthia longifolia* absorbs the highest amount of pollutants, including carbonmonoxide (2,65 oz), ozone (10,46 oz), nitrogen dioxide (126,1 oz), sulphur dioxide (22,57 oz), and PM_{2.5} (6,58 oz). This study recommends selecting appropriate species for UGS development, with ecological benefits in mind. The findings are expected to serve as a reference for policymakers in planning and managing sustainable UGS in Samarinda City.*

Keywords: *urban green space, ecological benefits, polyalthia longifolia, national tree benefit calculator (NTBC)*

1. PENDAHULUAN

Ruang Terbuka Hijau (RTH) merupakan salah satu komponen penting dalam pembangunan kota berkelanjutan yang mempunyai peran dalam menjaga keseimbangan ekologis wilayah perkotaan (Rajput *et al.* 2021). Menurut Peraturan Menteri PU No. 5/PRT/M/2008, setiap kota diwajibkan memiliki RTH minimal 30% dari luas wilayah kota yaitu terdiri dari 20% RTH yang ditujukan untuk publik dan 10% RTH merupakan area privat.

* Korespondensi Penulis
Email : dinahayatiputri@fmipa.unmul.ac.id

Di tengah pesatnya pembangunan Kota Samarinda sebagai ibukota Provinsi Kalimantan Timur, keberadaan RTH menjadi semakin krusial dalam mengatasi berbagai permasalahan lingkungan perkotaan. Penelitian yang dilakukan oleh Oosterbroek *et al.* (2023) menunjukkan bahwa RTH yang terkelola dengan baik dapat mengurangi dampak urbanisasi, seperti peningkatan kualitas udara dan penurunan suhu di wilayah perkotaan. Selain aspek lingkungan, RTH juga berperan dalam aspek sosial dan kesehatan, yaitu dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat melalui peningkatan akses terhadap ruang rekreasi dan kesehatan mental (Lima *et al.* 2022; Yaneza *et al.* 2023).

Kota Samarinda, dengan luas wilayah 718 km² dan populasi 827.994 jiwa (Badan Pusat Statistik Kota Samarinda, 2022), menghadapi tantangan dalam menjaga kualitas lingkungan perkotaan. Peningkatan suhu udara rata-rata dari 27,3°C pada tahun 2010 menjadi 28,7°C pada tahun 2020 (Badan Meterologi Klimatologi dan Geofisika Samarinda, 2021) mengindikasikan fenomena *urban heat island* yang memerlukan penanganan serius melalui optimalisasi fungsi RTH. Penelitian oleh Abhijith *et al.* (2019) menunjukkan bahwa peningkatan tutupan vegetasi di RTH dapat menurunkan suhu hingga 2-4°C yang berperan penting dalam penanganan efek *urban heat island* tersebut. Pemanfaatan RTH yang optimal juga dapat mengurangi konsumsi energi melalui efek pendinginan secara alami oleh tumbuhan, yang akhirnya dapat menurunkan emisi karbon dan polutan (Zhang *et al.* 2013; Fan *et al.* 2021). Hal ini tentu saja tidak lepas dari peran vegetasi yang ditanam di RTH tersebut.

Vegetasi dalam RTH memberikan beragam manfaat ekosistem, termasuk penyerapan karbon dioksida, pengurangan polusi udara, pendinginan alami dan manajemen air limpasan (Nowak *et al.* 2018; Song *et al.* 2020). Pemilihan spesies vegetasi yang tepat menjadi faktor kunci dalam memaksimalkan manfaat ekologis RTH. Syahputra *et al.* (2020) menunjukkan bahwa pohon peneduh seperti Angsana (*Pterocarpus indicus*) dapat menyerap hingga 125,6 kg CO₂/tahun per pohon, sementara itu untuk vegetasi ornamental berkontribusi terhadap nilai estetika dan kenyamanan visual. Kombinasi antara pohon peneduh dan vegetasi penutup tanah dapat meningkatkan kapasitas penyerapan air hujan hingga 30%, sehingga mengurangi risiko banjir dan sekaligus mendukung keanekaragaman hayati dengan menyediakan habitat bagi berbagai spesies hewan (Zhang *et al.* 2022).

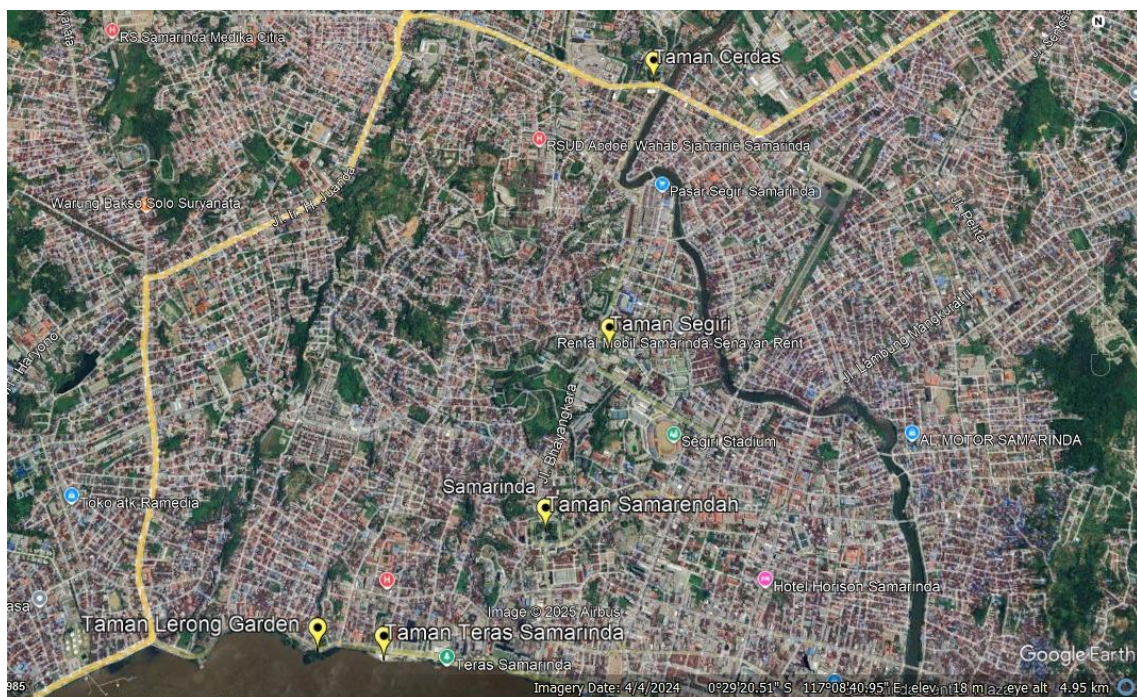
Untuk menguantifikasi manfaat ekologis vegetasi perkotaan secara akurat, *National Tree Benefit Calculator* (NTBC) yang dikembangkan oleh *Casey Trees* dan *Davey Tree Expert Co.* telah terbukti efektif dalam berbagai studi kasus. Penerapannya di Doha, Qatar (Tannous *et al.* 2021) menunjukkan bahwa NTBC mampu menghitung nilai ekonomi layanan ekosistem dari vegetasi. Pendekatan serupa di Jakarta oleh Hidayati *et al.* (2019) berhasil mengidentifikasi nilai ekonomi pohon peneduh mencapai Rp 1,2 juta per pohon per tahun. Selain itu, NTBC dapat membantu perencanaan kota dalam memprioritaskan spesies dengan manfaat ekologis dan ekonomi tertinggi (Song *et al.* 2020), serta memprediksi dampak jangka panjang terhadap kualitas lingkungan perkotaan (Li *et al.* 2023).

Meskipun beberapa penelitian telah dilakukan terkait RTH di Kota Samarinda, seperti studi inventarisasi vegetasi oleh Rahman *et al.* (2019) dan analisis kecukupan RTH oleh Wahyuni *et al.* (2020), namun belum ada penelitian komprehensif yang menguantifikasi manfaat ekologis spesies dominan menggunakan NTBC. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi jenis dan jumlah spesies dominan, (2) menganalisis manfaat ekologis spesies dominan menggunakan NTBC, dan (3) memberikan rekomendasi pengembangan RTH berbasis data kuantitatif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengambilan kebijakan pengelolaan RTH di Kota Samarinda, khususnya dalam pemilihan spesies dengan mempertimbangkan manfaat ekologis. Penelitian serupa di Surabaya oleh Prasetyo *et al.* (2021) menunjukkan bahwa penggunaan data kuantitatif dalam perencanaan RTH dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan lingkungan perkotaan. Selain itu, rekomendasi berbasis data juga dapat memastikan bahwa RTH dikembangkan secara berkelanjutan, memenuhi kebutuhan ekologis dan sosial masyarakat.

2. METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan di 5 area Ruang Terbuka Hijau (RTH) Kota Samarinda yang tersebar di 10 kecamatan yaitu Taman Cerdas, Taman Segiri, Taman Samarendah, Taman Lerong Garden dan Taman Teras Samarinda. Pengambilan data dilakukan dari Januari hingga Februari 2025. Pemilihan lokasi dilakukan secara *purposive sampling* dengan mempertimbangkan keberadaan vegetasi yang representatif (Nowak *et al.* 2018).

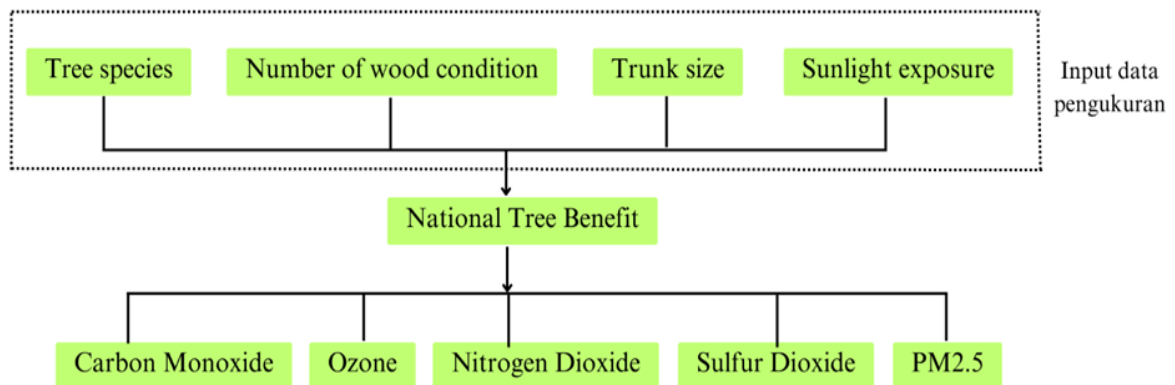
Dalam pelaksanaan penelitian, peralatan yang digunakan meliputi GPS untuk penentuan lokasi, *phi band* untuk pengukuran diameter batang serta komputer yang dilengkapi dengan *software National Tree Benefit Calculator* (NTBC) (Casey Trees & Davey Tree Expert Co. 2018). Selain itu, dokumentasi lapangan dilakukan menggunakan kamera digital untuk menunjang validitas data yang dikumpulkan. Pengumpulan data vegetasi dilakukan melalui inventarisasi menyeluruh terhadap jenis-jenis tumbuhan yang ditemukan di lokasi penelitian. Mengacu pada metodologi yang dikembangkan oleh Rahman *et al.* (2019), vegetasi yang dijumpai diklasifikasikan ke dalam dua kelompok utama, yakni pohon peneduh dan tanaman hias.



Gambar 1. *Satellite map lokasi RTH di Kota Samarinda.*

Identifikasi spesies vegetasi dilakukan melalui kombinasi beberapa metode. Pertama, peneliti mengacu pada papan nama/label tanaman yang telah terpasang di masing-masing RTH sebagai acuan awal. Selanjutnya, hasil tersebut diverifikasi secara langsung di lapangan melalui pengamatan morfologi tanaman, dengan bantuan buku flora/panduan identifikasi tanaman dan aplikasi identifikasi tanaman digital (*PlantNet/iNaturalist*). Untuk spesies yang sulit diidentifikasi, dilakukan konfirmasi melalui wawancara singkat dengan pengelola taman. Data nama spesies yang diperoleh kemudian dicocokkan dengan nama ilmiah yang valid mengacu pada basis data taksonomi tumbuhan yang berlaku.

Untuk setiap individu pohon, dilakukan pengukuran parameter yang meliputi diameter batang setinggi dada (DBH) pada ketinggian 1,3 meter dari permukaan tanah, serta *trunk* atau tinggi batang bebas cabang. Pencatatan jumlah individu per spesies juga dilakukan untuk menentukan dominansi vegetasi di kawasan RTH. Spesies dominan ditetapkan berdasarkan jumlah individu terbanyak di tiap RTH, mengacu pada metode Hidayati *et al.* (2019). Spesies-spesies dominan tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan NTBC untuk mengetahui kontribusinya dalam menyerap polutan udara, pada lima parameter polutan yaitu: karbon monoksida (CO), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan PM_{2.5}. Analisis data dilakukan secara komprehensif meliputi analisis kuantitatif vegetasi dan analisis manfaat ekologis berdasarkan kemampuan vegetasi dalam mereduksi lima parameter polutan tersebut.



Gambar 2. Skema analisis data menggunakan NTBC.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi RTH Kota Samarinda

Ruang Terbuka Hijau (RTH) merupakan area yang didominasi oleh tumbuhan, termasuk pohon, yang berfungsi untuk mendukung ekosistem alami, meningkatkan kualitas udara, serta memberikan manfaat sosial dan estetika bagi masyarakat (Nowak *et al.* 2002; Tak and Kakade 2020; Amoatey and Sulaiman 2020). Salah satu indikator penting dalam menilai kualitas RTH adalah kondisi tutupan pohon, yang mengacu pada seberapa luas dan sehat pohon-pohon tersebut dalam menutupi area RTH (Selmi *et al.* 2016). Berikut gambaran dari kondisi tutupan pohon pada kelima RTH yang diamati di Kota Samarinda (**Gambar 3**).



Gambar 3. Kondisi tutupan pohon pada masing-masing RTH.

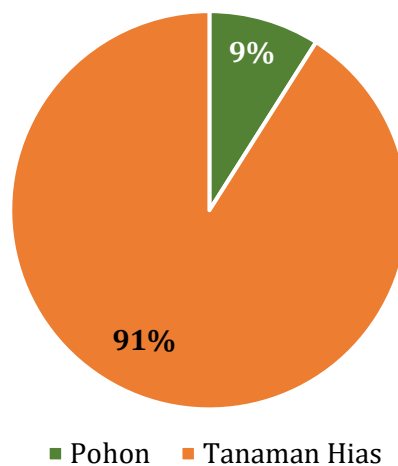
Dominasi pohon besar di masing-masing RTH, seperti yang terlihat pada **Gambar 3**, merupakan indikator positif bahwa RTH tersebut telah dikelola dengan baik dan memberikan manfaat ekologis, sosial, dan estetika yang signifikan. Hal ini tidak hanya meningkatkan efektivitas RTH dalam menciptakan iklim mikro yang sejuk dan nyaman, tetapi juga menunjukkan bahwa pohon-pohon tersebut sehat dan terpelihara dengan baik. Dengan kondisi vegetasi tersebut, RTH ini berpotensi memberikan dampak positif secara sosial dan estetika, seperti menyediakan ruang teduh yang nyaman bagi aktivitas masyarakat serta meningkatkan kualitas visual kawasan. Namun demikian, kajian lebih lanjut melalui survei persepsi masyarakat diperlukan untuk mengkonfirmasi potensi manfaat sosial dan estetika tersebut secara empiris.

Vegetasi pohon memberikan naungan yang luas, membuat area RTH lebih nyaman untuk aktivitas masyarakat. Kehadiran pohon besar dengan bentuk yang indah dan kokoh menambah keindahan visual RTH, menjadikannya tempat yang menarik untuk dikunjungi. Selain itu, kanopi pohon besar mampu menyerap dan mengurangi kebisingan, menciptakan lingkungan yang lebih tenang (Fitzky *et al.* 2019; Antenzio *et al.* 2024).

Namun, meskipun dominasi pohon besar memberikan banyak manfaat, ada beberapa tantangan yang perlu diperhatikan, seperti perlindungan dari kerusakan akibat aktivitas manusia, pemeliharaan yang intensif, dan pentingnya regenerasi pohon muda untuk memastikan keberlanjutan RTH. Untuk itu, diperlukan upaya berkelanjutan seperti program penanaman pohon baru, pemantauan kesehatan pohon, edukasi masyarakat, dan kebijakan perlindungan (Tefera *et al.* 2024). Hal ini tentu saja dapat dilakukan secara optimal jika diketahui jenis spesies yang terdapat pada RTH sehingga akan memudahkan dalam proses pemantauan pertumbuhan dan pengelolaan spesies tersebut.

3.2. Spesies tumbuhan yang ditemukan

Hasil identifikasi spesies tumbuhan dari 5 RTH di Kota Samarinda dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu pohon dan tanaman hias. Sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 4**, persentase keanekaragaman spesies tanaman hias secara konsisten lebih tinggi dibandingkan jumlah jenis pohon pada setiap RTH yang diteliti, bukan hanya secara keseluruhan tetapi juga apabila ditinjau secara individual di masing-masing lokasi.



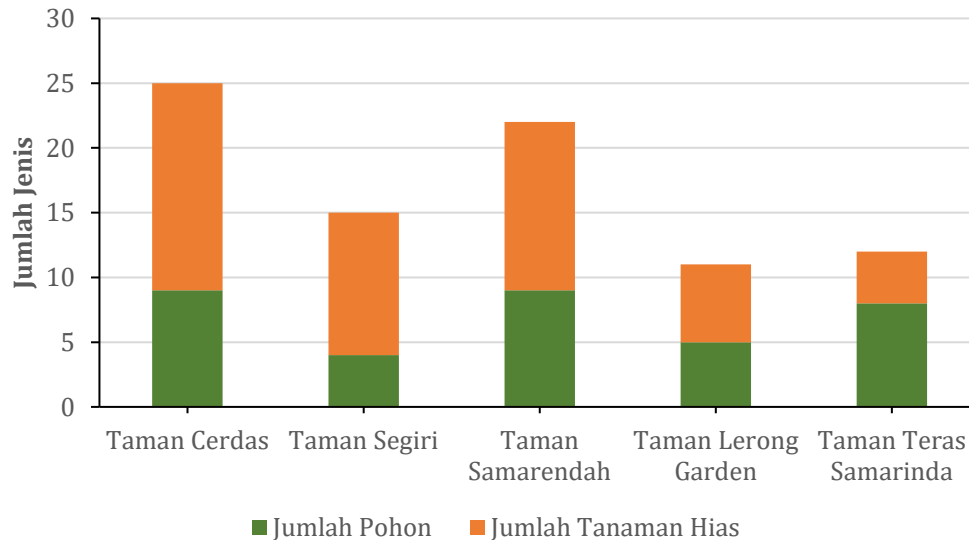
Gambar 4. Perbandingan jumlah spesies yang ditemukan.

Kemudian terdapat variasi yang signifikan dalam komposisi vegetasi antara taman-taman yang diamati. Dibandingkan dengan semua taman, taman Teras Samarinda memiliki lebih banyak pohon dibandingkan tanaman hias. Sementara itu, pada taman yang lain terlihat bahwa tanaman hias lebih mendominasi dari segi jumlah jenis spesies.

Berdasarkan **Gambar 5** yang disajikan, dapat disimpulkan bahwa terdapat variasi yang signifikan dalam komposisi vegetasi di beberapa taman teras Samarinda cenderung memiliki lebih banyak pohon, yang tentunya akan memberikan manfaat ekologis yang lebih besar seperti penyerapan karbon dan penyediaan habitat bagi satwa. Studi oleh Nowak *et al.* (2018) dan Dewald *et al.* (2024), menunjukkan bahwa pohon besar, memiliki kapasitas penyerapan karbon yang tinggi, dengan rata-rata pohon dewasa mampu menyerap hingga 22 kg CO₂ per tahun. Selain itu, keberadaan pohon besar juga mendukung keanekaragaman hayati dengan menyediakan habitat bagi burung, serangga, dan mamalia kecil. Hal ini sejalan dengan temuan bahwa taman dengan dominasi pohon besar cenderung memiliki ekosistem yang lebih stabil dan beragam.

Di sisi lain, Taman Cerdas, Taman Segiri dan Taman Samarendah didominasi tanaman hias yang berfungsi meningkatkan estetika dan daya tarik visual. Meskipun kapasitas penyerapan karbonnya lebih rendah dibandingkan pohon besar, tanaman hias tetap berkontribusi dalam mengurangi polusi udara dan meningkatkan kenyamanan visual (Zhang *et al.* 2022). Selain itu, kehadiran tanaman hias di RTH juga berperan dalam mendukung kesejahteraan psikologis pengunjung. Paparan terhadap elemen vegetasi, termasuk tanaman hias berbunga dan berdaun hijau, telah terbukti secara ilmiah mampu menurunkan tingkat stres dan memberikan efek relaksasi melalui stimulasi visual dan sensoris (Li *et al.* 2024). Dengan demikian, keanekaragaman tanaman hias di RTH Kota Samarinda tidak hanya bernilai estetis, tetapi juga berkontribusi pada kenyamanan masyarakat. Namun, perlu diperhatikan bahwa dominasi tanaman hias tanpa keseimbangan pohon besar dapat mengurangi manfaat ekologis secara keseluruhan, seperti penurunan kapasitas penyerapan air hujan dan peningkatan suhu mikro (Santoso *et al.* 2020).

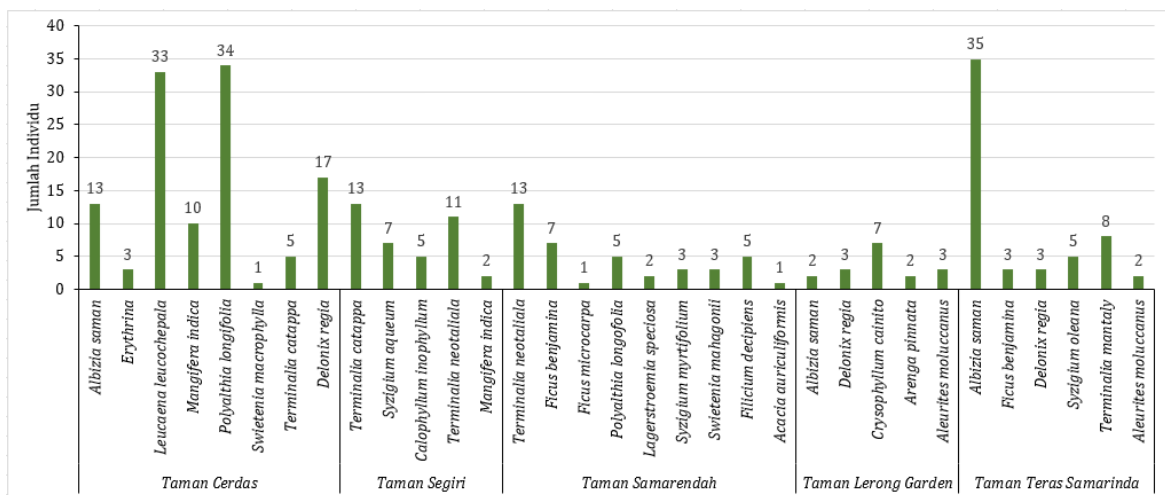
Sementara itu, Taman Lerong Garden menunjukkan keseimbangan yang lebih baik antara jumlah pohon dan tanaman hias, mencerminkan perencanaan lanskap yang lebih holistik. Keseimbangan ini penting untuk memastikan bahwa taman tidak hanya memenuhi fungsi estetika, tetapi juga memberikan manfaat ekologis yang optimal. Penelitian oleh Prasetyo *et al.* (2021) menunjukkan bahwa kombinasi antara pohon besar dan tanaman hias dapat meningkatkan kapasitas penyerapan karbon sekaligus menciptakan lingkungan yang nyaman bagi pengunjung.



Gambar 5. Komposisi vegetasi di masing-masing RTH.

3.3. Analisis spesies pohon dominan

Berdasarkan **Gambar 6** yang disajikan, terlihat variasi komposisi vegetasi di 5 RTH di Samarinda. Pohon dengan jumlah yang paling banyak yaitu *Albizia saman* sebanyak 35 pohon, *Polyalthia longifolia* sebanyak 34 pohon, *Leucaena leucocephala* sebanyak 33 pohon dan *Delonix regia* sebanyak 17 pohon. Sementara itu pohon dengan jumlah yang paling sedikit yaitu *Acacia auriculiformis* dan *Switenia macrophylla* sebanyak 1 pohon.



Gambar 6. Jumlah spesies pohon pada masing-masing RTH.

Keberagaman ini menunjukkan upaya menciptakan keseimbangan antara fungsi ekologis dan estetika. *Albizia saman* dan *Swietenia macrophylla* dikenal sebagai pohon peneduh yang efektif dalam menyerap karbon dan memberikan naungan (Udayakumar *et al.* 2018). Selanjutnya, *Polyalthia longifolia* banyak ditanam di kawasan perkotaan karena kemampuannya yang tinggi dalam menyerap polutan udara, termasuk ozon, NO₂, dan partikulat, sekaligus memiliki nilai estetika tinggi karena bentuknya yang simetris dan tegak (Datta *et al.* 2021; Pandey *et al.* 2015). *Terminalia neotaliala* juga banyak ditanam dengan tujuan estetika karena percabangan horizontalnya yang khas dan rapi. Berdasarkan data yang disajikan, Taman Cerdas mencatat jumlah pohon terbanyak dibandingkan dengan taman-taman lainnya, yaitu sebanyak 116 pohon. Jumlah ini jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan Taman Teras Samarinda yang memiliki 56 pohon, Taman Samarendah dengan 39 pohon, Taman Segiri dengan 38 pohon, dan Taman Lerong Garden yang hanya memiliki 17 pohon. Perbedaan yang signifikan ini menunjukkan bahwa Taman Cerdas menjadi lokasi dengan penanaman pohon paling intensif atau mungkin memiliki luas area yang lebih besar.

Keberadaan 116 pohon di Taman Cerdas tidak hanya mencerminkan upaya penghijauan yang lebih serius, tetapi juga memberikan dampak positif bagi lingkungan, seperti meningkatkan kualitas udara, mengurangi polusi, dan menyediakan ruang hijau yang lebih luas bagi masyarakat. Dengan demikian, Taman Cerdas dapat dianggap sebagai contoh keberhasilan dalam program penghijauan dan pelestarian lingkungan di wilayah tersebut, sekaligus menjadi acuan untuk pengembangan taman-taman lainnya.

Di sisi lain, Taman Lerong Garden mencatat jumlah pohon paling sedikit, yaitu hanya 17 pohon. Jumlah ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan taman-taman lainnya, bahkan kurang dari separuh jumlah pohon di Taman Segiri dan Taman Samarendah. Rendahnya jumlah pohon di Taman Lerong Garden kemungkinan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang secara umum diketahui mempengaruhi kepadatan pohon di RTH perkotaan. Luas area taman merupakan salah satu faktor utama, mengingat penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ketersediaan lahan yang terbatas secara langsung membatasi ruang penanaman pohon di kawasan perkotaan (Malnes *et al.* 2025).

Selain itu, intensitas program penanaman dan pengelolaan pohon juga berperan penting, di mana faktor tata kelola dan kebijakan lokal terbukti berkontribusi signifikan terhadap distribusi dan kepadatan pohon di ruang terbuka hijau (Healy *et al.* 2022). Kondisi lingkungan seperti karakteristik tanah dan ketersediaan ruang tumbuh juga dapat menjadi faktor pembatas, mengingat pohon perkotaan sangat dipengaruhi oleh kondisi edafis dan fisik lokasi penanaman (Kosno *et al.* 2026). Kajian lebih lanjut mengenai kondisi spesifik Taman Lerong Garden diperlukan untuk mengkonfirmasi faktor dominan yang menyebabkan rendahnya jumlah pohon di lokasi tersebut.

Meskipun demikian, keberadaan 17 pohon ini tetap memiliki nilai penting dalam upaya penghijauan, meskipun skalanya lebih kecil. Taman Lerong Garden dapat menjadi fokus untuk pengembangan lebih lanjut, seperti penambahan jumlah pohon atau diversifikasi spesies, agar dapat memberikan kontribusi yang lebih signifikan terhadap pelestarian lingkungan dan kenyamanan masyarakat (Feltynowski *et al.* 2018; Sanduijav *et al.* 2021). Dengan upaya yang tepat, Taman Lerong Garden memiliki potensi untuk tumbuh menjadi ruang hijau yang lebih produktif dengan manfaat yang lebih besar.

Tabel 1. Jumlah serapan polutan udara oleh pohon dominan di RTH Kota Samarinda berdasarkan analisis NTBC.

No.	Nama ilmiah	Nama lokal	Karbon monoksida (oz)	Ozon (oz)	Nitrogen dioksida (oz)	Sulfur dioksida (oz)	PM _{2,5} (oz)
1	<i>Albizia saman</i>	Trembesi	2,2	105,04	8,72	18,8	5,48
2	<i>Polyalthia longifolia</i>	Glodogan	2,65	126,1	10,46	22,57	6,58
3	<i>Leucaena leucocephala</i>	Lamtoro	2,06	98	8,13	17,54	5,12
4	<i>Delonix regia</i>	Flamboyan	2,25	107,42	8,91	19,23	5,61
5	<i>Terminalia catappa</i>	Ketapang	0,6	28,44	2,36	5,09	1,48

Jika dilihat pada **Tabel 1**, dari parameter penyerapan karbon monoksida (CO), nilai tertinggi dicapai oleh *Polyalthia longifolia* yang ditandai dengan cetak tebal pada tabel untuk menunjukkan spesies dengan kinerja penyerapan polutan tertinggi secara keseluruhan yaitu sebesar 2,65 oz, sedangkan nilai terendah ditunjukkan oleh *Terminalia catappa* sebesar 0,60 oz. Perbedaan kemampuan penyerapan ini secara fisiologis berkaitan erat dengan karakteristik stomata masing-masing spesies, yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat tumbuhnya.

Polyalthia longifolia memiliki daun dengan permukaan kasar dan bertekstur sehingga efektif menangkap dan menahan partikel debu dan PM_{2,5}, sementara stomatanya aktif menyerap gas polutan seperti ozon (O₃) dan nitrogen dioksida (NO₂) (Shaukat *et al.* 2024). Sementara itu, *Terminalia catappa* memiliki karakteristik stomata yang lebih sedikit sehingga kapasitas serapan gasnya lebih rendah (Banerjee *et al.* 2022). Faktor lingkungan seperti intensitas cahaya, kelembaban, dan ketersediaan air turut memengaruhi kinerja serapan ini melalui mekanisme fisiologis yang berbeda. Intensitas cahaya yang tinggi merangsang pembukaan stomata sehingga meningkatkan laju pertukaran gas polutan dengan atmosfer, kelembaban udara yang rendah menyebabkan stomata menutup untuk mencegah kehilangan air sehingga mengurangi serapan polutan, dan keterbatasan air tanah menurunkan tekanan turgor sel penjaga stomata yang pada akhirnya mengurangi konduktansi stomata secara keseluruhan (Pace *et al.* 2021; Winbourne *et al.* 2021; Buckley 2019).

Penemuan ini memiliki implikasi penting dalam pemilihan tanaman untuk program penghijauan atau pengendalian polusi udara di perkotaan. *P. longifolia*, dengan kemampuan penyerapan CO yang tinggi, dapat dijadikan sebagai tanaman prioritas dalam proyek-proyek penghijauan, terutama di daerah dengan tingkat polusi udara yang tinggi. Di sisi lain, *T. catappa*, meskipun memiliki kemampuan penyerapan CO yang lebih rendah, mungkin masih memiliki manfaat lain, seperti nilai estetika, ketahanan terhadap kondisi lingkungan atau kemampuan menyerap polutan lain. Oleh karena itu, kombinasi berbagai jenis tanaman dengan karakteristik yang saling melengkapi dapat menjadi strategi yang lebih efektif dalam menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih sehat dan berkelanjutan (Haakman *et al.* 2020).

Berdasarkan data yang disajikan, terlihat bahwa beberapa spesies pohon yang umum ditemukan di Ruang Terbuka Hijau (RTH) memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam menyerap polutan udara, seperti karbon monoksida (CO), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan partikulat halus (PM_{2,5}). *Polyalthia longifolia* menunjukkan kemampuan yang cukup tinggi dalam menyerap berbagai polutan udara, dengan nilai penyerapan 2,65 oz karbon monoksida, 126,1 oz ozon, 10,46 oz nitrogen dioksida, 22,57 oz sulfur dioksida, dan 6,58 oz PM_{2,5} per pohon per tahun.

Kemampuan tersebut menjadikan *P. longifolia* sebagai salah satu spesies yang efektif dalam mengurangi polusi udara di kawasan perkotaan beriklim tropis dan subtropis. Efektivitas ini didukung oleh karakteristik *leaf area index* (LAI) yang sangat tinggi akibat bentuk tajuk yang padat dan tegak, sehingga luas permukaan daun untuk serapan polutan melalui stomata maupun deposisi partikulat menjadi jauh lebih besar (Datta *et al.* 2021). Secara umum, pohon dengan daun lebat dan luas permukaan daun yang tinggi memang terbukti memiliki kapasitas penyerapan polutan yang lebih tinggi, karena deposisi PM_{2.5} oleh vegetasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik morfologi daun spesifik (Su *et al.* 2022). Namun, besaran serapan polutan oleh *P. longifolia* dapat bervariasi antar kota tergantung pada konsentrasi polutan, kondisi meteorologi, dan tingkat kepadatan lalu lintas setempat (Datta *et al.* 2021; Gaglio *et al.* 2022), sehingga nilai serapan yang diperoleh dalam penelitian ini mencerminkan kondisi spesifik RTH di Kota Samarinda.

Albizia saman juga menunjukkan kemampuan yang signifikan dalam menyerap polutan udara, meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan *Polyalthia longifolia*. Spesies ini mampu menyerap 2,2 oz karbon monoksida, 105,04 oz ozon, 8,72 oz nitrogen dioksida, 18,8 oz sulfur dioksida, dan 5,48 oz PM_{2.5} per pohon per tahun. *Albizia saman* dikenal sebagai pohon peneduh yang efektif, dengan kanopi yang luas dan daun yang lebat. Kemampuannya dalam menyerap polutan menjadikannya pilihan yang baik untuk RTH di daerah perkotaan yang padat lalu lintas dan industri.

Sementara itu flamboyan (*Delonix regia*) memiliki kemampuan menyerap polutan yang hampir sama dengan *Albizia saman*, dengan nilai penyerapan 2,25 oz karbon monoksida, 107,42 oz ozon, 8,91 oz nitrogen dioksida, 19,23 oz sulfur dioksida, dan 5,61 oz PM_{2.5} per pohon per tahun. Selain manfaat ekologisnya, *D. regia* juga dikenal memiliki nilai estetika yang tinggi bukan hanya karena bunganya yang berwarna cerah, tetapi juga karena bentuk tajuknya yang lebar dan menyebar serta dedaunan yang rimbun sehingga memberikan naungan yang efektif di kawasan perkotaan (Talal *et al.* 2021). Secara estetika lanskap, pohon dengan tajuk besar, bunga mencolok, dan dedaunan lebat terbukti meningkatkan preferensi visual pengunjung taman dan mendorong aktivitas rekreasi yang lebih lama di ruang terbuka hijau (Talal *et al.* 2021; Li *et al.* 2024).

Kombinasi antara manfaat ekologis dan estetika ini menjadikan *D. regia* banyak ditemukan di RTH perkotaan di berbagai kota tropis. Di India, spesies ini digunakan sebagai pohon jalan dan taman (Pandey *et al.* 2015), sementara di Vietnam dikenal sebagai pohon kota yang ikonis. Di kawasan Asia Tenggara termasuk Indonesia, spesies ini dikenal sebagai flamboyan dan umum ditanam di taman kota dan jalur hijau jalan (Vozzo 2002).

Kemudian, *Terminalia catappa* menunjukkan kemampuan penyerapan polutan yang lebih rendah dibandingkan spesies lainnya, dengan nilai penyerapan 0,6 oz karbon monoksida, 28,44 oz ozon, 2,36 oz nitrogen dioksida, 5,09 oz sulfur dioksida, dan 1,48 oz PM_{2,5} per pohon per tahun. Meskipun demikian, *T. catappa* tetap memiliki peran penting dalam RTH, terutama dalam pengendalian erosi dan penyerapan air hujan. Spesies ini juga dikenal tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem, menjadikannya pilihan yang baik untuk daerah dengan kondisi tanah yang kurang subur. Perbedaan kemampuan penyerapan polutan di antara spesies-spesies ini menunjukkan pentingnya pemilihan jenis pohon yang tepat dalam perencanaan RTH.

Polyalthia longifolia dan *Albizia saman* dapat menjadi pilihan utama untuk daerah dengan tingkat polusi udara yang tinggi, sementara *Delonix regia* dapat digunakan untuk menggabungkan manfaat ekologis dan estetika. Di sisi lain, *Terminalia catappa* dapat digunakan di daerah yang membutuhkan pengendalian erosi dan penyerapan air hujan. Dengan memilih spesies yang tepat, RTH dapat berfungsi secara optimal sebagai alat untuk mengurangi polusi udara dan meningkatkan kualitas lingkungan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dominasi pohon di RTH Kota Samarinda merupakan indikator positif bahwa RTH tersebut telah dikelola dengan baik dan memberikan manfaat ekologis, sosial, dan estetika yang signifikan. *Polyalthia longifolia* merupakan pohon yang paling menyerap polutan tertinggi sehingga dapat dipertimbangkan menjadi jenis pohon yang direkomendasikan untuk ditanam pada RTH khususnya di wilayah perkotaan. Untuk menentukan spesies tanaman penyerap polutan di RTH, prioritaskan yang memiliki daun lebat dan bertekstur kasar seperti *Polyalthia longifolia* untuk menjebak partikel debu, serta pilih spesies yang tahan terhadap kondisi perkotaan seperti panas dan polusi agar dapat bertahan dan berfungsi secara berkelanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abhijith K and Kumar P. 2019. Field investigations for evaluating green infrastructure effects on air quality in open-road conditions. *Atmospheric Environments*. 201:132–147.
- Amoatey P and Sulaiman H. 2020. Quantifying carbon storage potential of urban plantations and landscapes in Muscat, Oman. *Environment, Development and Sustainability* 22(8):7969–7984.
- Antenozio M.L, Caissutti C, Caporusso F.M, Marzi D and Brunetti P. 2024. Urban air pollution and plant tolerance: Omics responses to ozon, nitrogen oxides, and particulate matter. *Plants* 13:2027.
- Banerjee S, Banerjee A and Palit D. 2022. Morphological and biochemical study of plant species—A quick tool for assessing the impact of air pollution. *Journal of Cleaner Production* 339:130647.
- Begum A and Harikrishna S. 2010. Evaluation of some tree species to absorb air pollutants in three industrial locations of South Bengaluru, India. *E-Journal of Chemistry* 7(S1):151–156.
- [BMKG] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Samarinda. 2021. Data suhu udara rata-rata Kota Samarinda 2010-2020. Samarinda: BMKG.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kota Samarinda. 2022. Kota Samarinda dalam angka 2022. Samarinda: BPS Kota Samarinda.
- Buckley, T.N. (2019). How do stomata respond to humidity? *Plant, Cell & Environment*, 42(12), 3109–3126.
- Casey Trees & Davey Tree Expert Co. 2018. National tree benefit calculator [internet]. Tersedia di: <https://www.treebenefits.com/calculator/>.
- Datta S, Sharma A, Parkar V, Hakkim H, Kumar A, Chauhan A, Tomar SS and Sinha B. 2021. A new index to assess the air quality impact of urban tree plantation. *Urban Climate* 40:100995.
- Dewald JR, Southworth J, Szapocznik J, Lombard JL, and Brown SC. 2024. Greening the urban landscape: Assessing the impact of tree-planting initiatives and climate influences on Miami-Dade County's greenness. *Remote Sensing* 16(1):157.

- Fan S, Zhang M, Li Y, Li K. and Dong L. 2021. Impacts of composition and canopy characteristics of plant communities on microclimate and airborne particles in Beijing, China. *Sustainability* 13:4791.
- Feltynowski M, Kronenberg J, Bergier T, Kabisch N, Łaskiewicz E and Strohbach MW. 2018. Challenges of urban green space management in the face of using inadequate data. *Urban Forestry & Urban Greening* 31:56–66.
- Fitzky A. C, Sandén H, Karl T, Fares S, Calfapietra C, Grote R, Saunier A and Rewald B. 2019. The interplay between ozone and urban vegetation—BVOC emissions, ozone deposition, and tree ecophysiology. *Frontiers in Forests and Global Change* 2:50.
- Gaglio M, Pace R, Muresan AN, Grote R, Castaldelli G, Calfapietra C and Fano EA. 2022. High-resolution modeling of air pollutant removal by urban trees: A case study in Italy. *Science of The Total Environment* 844:157131.
- Gholami A, Shiran G, Rashidi Y, Nakhaeizadeh GR, Fedra K and Hatefi AS. 2020. Tehran air pollution estimation improvement. *Journal of Soft Computing and Information Technology* 9(2):87–99.
- Haakman R, Beenakker I and Geerlings H. 2020. Reducing vehicle-related NO_x and PM emissions in metropolitan areas: A comparison between the Randstad and the Rhine Ruhr area. *Journal of Cleaner Production* 247:119175.
- Healy M, Geron N, Harper RW, Rogan J, Martin DG and Roman LA. 2022. Urban Forest Management Motivations and Practices in Relation to a Large-Scale Tree Planting Initiative. *Society & Natural Resources* 35(12):1301-1322.
- Hidayati N, Mansur I and Prasetyo LB. 2019. Kajian manfaat ekologis dan nilai ekonomi vegetasi perkotaan di Jakarta. *Media Konservasi* 24(2):152–162.
- Kosno-Jończy J, Suchocka M, Swoczyna T, Dudek-Klimiuk J and Tuchowska Ż. 2026. The suitability of structural soil for the development of trees growing in urban areas. *PeerJ* 14:e17021.
- Li J, Huang Z, Zhu Z and Ding G. 2024. Coexistence perspectives: exploring the impact of landscape features on aesthetic and recreational values in urban parks. *Ecological Indicators* 162:112043.
- Li Q, Zhu Y and Zhu Z. 2023. Calculation and optimization of the carbon sink benefits of green space plants in residential areas: a case study of Suojin Village in Nanjing. *Sustainability* 15:607.

- Lima PAB and Mariano EB. 2022. Eudaimonia in the relationship between human and nature: A systematic literature review. *Cleaner Production Letters*, 2(1): 100007.
- Malnes HA, Soedwihajono and Rin EF. 2025. Factors influencing urban park provision for sustainable development in Bekasi City. *Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota dan Permukiman* 7(2):149-161.
- Nowak DJ, Greenfield EJ, Hoehn RE and Lapoint E. 2018. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution* 178:229–236.
- Nowak DJ, Hirabayashi S, Bodine A, and Greenfield E. 2018. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193:119–129.
- Nowak DJ and Crane DE. 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3):381–389.
- Oosterbroek B, Joop de Kraker, Maud MTEH, Pim MV. 2023. Assessment of green space benefits and burdens for urban health with spatial modelling *Urban Forestry & Urban Greening* 86:128023
- Pace R, De Fino F, Rahman MA, Pauleit S, Nowak DJ, Grote R. 2021. A single tree model to consistently simulate cooling, shading, and pollution uptake of urban trees. *Int J Biometeorol* 65(2):277-289.
- Pandey, A.K., Pandey, M., Mishra, A., Tiwary, S.M., & Tripathi, B.D. (2015). Air pollution tolerance index and anticipated performance index of some plant species for development of urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 820–829.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan. (2008). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Prasetyo, A., Yudono, A., & Wikantiyoso, R. (2021). Implementasi Data Kuantitatif dalam Perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) untuk Meningkatkan Kualitas Lingkungan Perkotaan di Surabaya. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 32(2), 145-160.
- Rahman AF, Qomariah S dan Iskandar R. 2019. Inventarisasi dan pemetaan jenis pohon pada kawasan ruang terbuka hijau Kota Samarinda. *Jurnal Kehutanan Tropika Humida* 2(1):41–56.

- Rajput H, Arora K and Mathur R. 2021. Urban Green Space, Health Economics and Air Pollution in Delhi. Routledge. India
- Sanduijav C, Ferreira S, Filipski M dan Hashida Y. 2021. Air pollution and happiness: Evidence from the coldest capital in the world. *Ecological Economics* 187: 107085.
- Santoso, A. D., Rahayu, S., & Prawesti, A. (2020). Analisis Komposisi Vegetasi dan Pengaruhnya terhadap Iklim Mikro di Ruang Terbuka Hijau Kota. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 12(1), 25-34.
- Selmi W, Weber C, Rivière E, Blond N, Mehdi L and Nowak D. 2016. Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban Forestry & Urban Greening* 17:192–201.
- Shaukat SS, Khan MA and Khan A. 2024. Impacts of air pollution on trees growing by the roadside of Karachi with respect to their tolerance characteristics. *Pakistan Journal of Botany* 56(2):731–739.
- Song P, Kim G, Mayer A, He R and Tian G. 2020. Assessing the ecosystem services of various types of urban green spaces based on i-Tree Eco. *Sustainability* 12(4):1630.
- Su TH, Lin CS and Liu CP. 2025. City-scale PM_{2.5} removal by urban trees: validation of i-Tree eco and biomonitoring of PM_{2.5}-bound trace elements. *Ecological Indicators* 181:114390.
- Syahputra M, Christanto M dan Hadisusanto S. 2020. Estimasi serapan karbon dioksida oleh pohon peneduh di kawasan perkotaan: Studi kasus Kota Samarinda *Jurnal Ilmu Lingkungan* 18(2):283–291.
- Tak AA and Kakade UB. 2020. Analysis of carbon sequestration by dominant trees in urban areas of Thane city. *International Journal of Global Warming* 20(1):1–11.
- Talal ML, Santelmann MV and Jenna H. 2021. Urban park visitor preferences for vegetation – An on-site qualitative research study. *Plants, People, Planet* 3(5):578–590.
- Tannous S, Manneh R, Nopens I and El-Hassan T. 2021. Quantifying ecosystem services of urban trees in Qatar using i-Tree tools. *Urban Forestry & Urban Greening* 62:127176

- Tefera Y, Soebarto V, Bishop C, Kandulu J and Williams C. 2024. A scoping review of urban planning decision support tools and processes that account for the health, environment, and economic benefits of trees and greenspace. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 21(1):48.
- Udayakumar M, Selvam A and Sekar T. 2018. Aboveground biomass stockpile and carbon sequestration potential of *Albizia saman* in Chennai Metropolitan City, India. *Plant* 6(3):60.
- Vozzo JA. 2002. *Delonix regia* (flamboyan). *Tropical Tree Seed Manual*. USDA Forest Service.
- Wahyuni S, Sulfahri dan Muslimin. 2020. Analisis kecukupan ruang terbuka hijau di Kota Samarinda menggunakan sistem informasi geografis. *Jurnal Geodesi dan Geomatika* 4(2):89–98.
- Winbourne JB, Jones TS, Garvey SM, Harrison JL, Wang L, Li D, Templer PH and Hutrya LR. 2020. Tree transpiration and urban temperatures: current understanding, implications, and future research directions. *BioScience* 70(7):576-588.
- Yaneza DV, Evelise PB, Marta C, Carolyn D, Mark N and Natalie M. 2023. An urban green space intervention with benefits for mental health: A health impact assessment of the Barcelona “Eixos Verds” Plan *Environment International* 174:107880.
- Zhang C, Liu H, Huang N, Zhang F, Meng Y, Wang J, and Li Y. 2022. Coordination of leaf hydraulic and economic traits in *Cinnamomum camphora* under impervious pavement. *BMC Plant Biology* 22(347).
- Zhang Z, Lv Y and Pan H. 2013. Cooling and humidifying effect of plant communities in subtropical urban parks. *Urban For. Urban Green* 12(3):323–329.

Analisis kualitas air Sungai Krueng Aceh berdasarkan indeks pencemaran untuk pengelolaan lingkungan berkelanjutan

Water quality analysis of Krueng Aceh River based on pollution index for sustainable environmental management

Rizky Kurniawan^{1*}, Maysitah¹, Irhamni¹, Mutia Ardila², Hadi Kurniawan¹

¹Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, Banda Aceh, Indonesia

²Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

Abstrak.

Sungai Krueng Aceh merupakan sumberdaya air penting yang rentan terhadap tekanan antropogenik dari aktivitas perkotaan dan limbah domestik. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kualitas air berdasarkan parameter fisika-kimia serta menentukan status mutu menggunakan Indeks Pencemaran (IP). Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan grab sampling pada tiga stasiun (hulu, tengah, hilir). Analisis laboratorium mengacu pada SNI dan penilaian mutu air menggunakan baku mutu kelas II. Hasil menunjukkan pH netral (7,0–7,1), TSS (0,0127–0,0407 mg/L) dan TDS (2,06–2,29 mg/L) rendah, serta sulfat meningkat dari hulu ke hilir (5,73–107,40 mg/L) namun masih di bawah ambang batas. Logam berat (Fe, Zn, Cu, Pb, Ni) berada di bawah batas deteksi. Sebaliknya, amonia melebihi baku mutu di semua stasiun dengan nilai tertinggi di S2 (0,3582 mg/L), menjadi faktor dominan penentu mutu air. Nilai IP menunjukkan kondisi baik di S1 (0,9856) dan cemar ringan di S2 (1,6175) serta S3 (1,1789). Hasil ini mengindikasikan potensi degradasi kualitas air sehingga diperlukan pengelolaan berkelanjutan melalui pengendalian beban pencemar dan pemantauan berkala.

Kata kunci: antropogenik, Sungai Krueng Aceh, kualitas air, indeks pencemaran

Abstract.

The Krueng Aceh River is an important water resource vulnerable to anthropogenic pressures from urban activities and domestic waste. This study aimed to evaluate water quality based on physicochemical parameters and determine its status using the Pollution Index (PI). A quantitative descriptive approach with grab sampling was applied at three stations (upstream, midstream, downstream). Laboratory analyses followed Indonesian National Standards (SNI), and water quality assessment referred to Class II standards. Results showed neutral pH (7.0–7.1), low TSS (0.0127–0.0407 mg/L) and TDS (2.06–2.29 mg/L), and increasing sulfate from upstream to downstream (5.73–107.40 mg/L), all below threshold limits. Heavy metals (Fe, Zn, Cu, Pb, Ni) were below detection limits. In contrast, ammonia exceeded the standard at all stations, with the highest concentration at S2 (0.3582 mg/L), making it the dominant factor influencing water quality. The PI indicated good quality at S1 (0.9856) and lightly polluted conditions at S2 (1.6175) and S3 (1.1789). These findings suggest potential water quality degradation, highlighting the need for sustainable management through pollutant load control and regular monitoring.

Keywords: anthropogenic, Krueng Aceh River, water quality, water pollution index

1. PENDAHULUAN

Sungai Krueng Aceh berperan penting sebagai sumber air baku, irigasi, dan penopang kebutuhan masyarakat di Kabupaten Aceh Besar hingga Kota Banda Aceh. Potensi ini menjadikan kualitas air sebagai faktor kunci dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung pembangunan berkelanjutan (Pambudi dan Pramujio 2025). Lebih lanjut, beberapa penelitian menegaskan bahwa kondisi kualitas air sungai sangat berpengaruh terhadap keberlangsungan fungsi ekologis perairan dan kesehatan masyarakat (Hu *et al.* 2022; Pramaningsih *et al.* 2023; Lin *et al.* 2025)

* Korespondensi Penulis
Email : rizky.kurniawan@ar-raniry.ac.id

Oleh karena itu, pemantauan kualitas air Sungai Krueng Aceh menjadi bagian penting dari upaya pengelolaan lingkungan berkelanjutan. Meskipun memiliki peran strategis, sungai juga rentan terhadap tekanan lingkungan akibat meningkatnya aktivitas antropogenik, seperti urbanisasi, aktivitas domestik, pertanian, serta pembuangan limbah industri (Adi *et al.* 2024; Madjar dan Vasile Scăețeanu 2025). Hal ini menimbulkan potensi penurunan kualitas air yang berdampak pada kesehatan masyarakat dan keberlanjutan ekosistem. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa parameter pencemar seperti amonia, nitrat, fosfat, sulfat, COD, BOD, dan logam berat (Cu, Pb, Zn, Ni) dapat terakumulasi dalam perairan sungai dan melebihi ambang baku mutu, sehingga menimbulkan risiko ekologis maupun kesehatan (Mukti *et al.* 2021; Nursaini dan Harahap. 2022; Blanco-Ramírez *et al.* 2025). Kondisi ini menegaskan perlunya pengendalian dan evaluasi kualitas air sungai secara berkelanjutan guna mencegah degradasi lebih lanjut dan menjaga keberlanjutan fungsi ekosistem.

Kajian kualitas air sungai memberikan peluang besar dalam mendukung pengelolaan lingkungan yang lebih adaptif. Penerapan metode Indeks Pencemaran (*Pollution Index*) memberikan penilaian status mutu perairan secara komprehensif, sekaligus menjadi dasar bagi penyusunan kebijakan pengelolaan sungai yang berorientasi pada keberlanjutan (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003; Sutrisno *et al.* 2025). Lebih lanjut, temuan ini dapat dimanfaatkan sebagai rujukan dalam restorasi ekosistem, perencanaan tata ruang, serta strategi mitigasi pencemaran pada kawasan perkotaan maupun pesisir. Evaluasi kualitas air sungai juga selaras dengan target *Sustainable Development Goals (SDGs 6: Clean Water and Sanitation; SDGs 14: Life Below Water)*, yang menekankan pentingnya pengelolaan sumberdaya air secara berkelanjutan (Permata *et al.* 2024).

Meski demikian, tantangan di masa depan tidak dapat diabaikan. Dinamika perubahan tata guna lahan, pertumbuhan populasi dan intensitas aktivitas ekonomi diperkirakan akan semakin menekan daya dukung sungai (Fatiawan *et al.* 2024; Nugraha *et al.* 2025). Keterbatasan infrastruktur pemantauan kualitas air secara berkelanjutan serta lemahnya implementasi regulasi juga menjadi faktor yang mempersulit pengendalian (Waskitho 2024). Tren pencemaran pada sungai-sungai perkotaan menunjukkan peningkatan beban polutan organik maupun anorganik yang berpotensi mengancam keberlanjutan ekosistem (Nur Annisa *et al.* 2022; Sutrisno *et*

al. 2025). Oleh karena itu, diperlukan langkah strategis berupa evaluasi kualitas air sungai yang terukur melalui parameter fisika-kimia sebagai indikator ilmiah untuk menentukan status pencemaran, sehingga fungsi ekologis dan sosial-ekonomi Sungai Krueng Aceh dapat tetap terjaga.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air Sungai Krueng Aceh pada segmen hulu, tengah, dan hilir menggunakan pendekatan Indeks Pencemaran guna menentukan status mutu air berdasarkan parameter fisik-kimia. Analisis kualitas air Sungai Krueng Aceh dengan pendekatan Indeks Pencemaran dipandang krusial untuk memperoleh gambaran kondisi aktual perairan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai status mutu air yang dapat menjadi dasar pertimbangan dalam perumusan strategi pengelolaan lingkungan sungai yang lebih efektif dan berkelanjutan. Dengan demikian, studi ini memiliki urgensi tinggi dalam menjaga keberlanjutan fungsi ekosistem sekaligus mendukung pemanfaatan sumber daya air secara bijaksana.

2. METODOLOGI

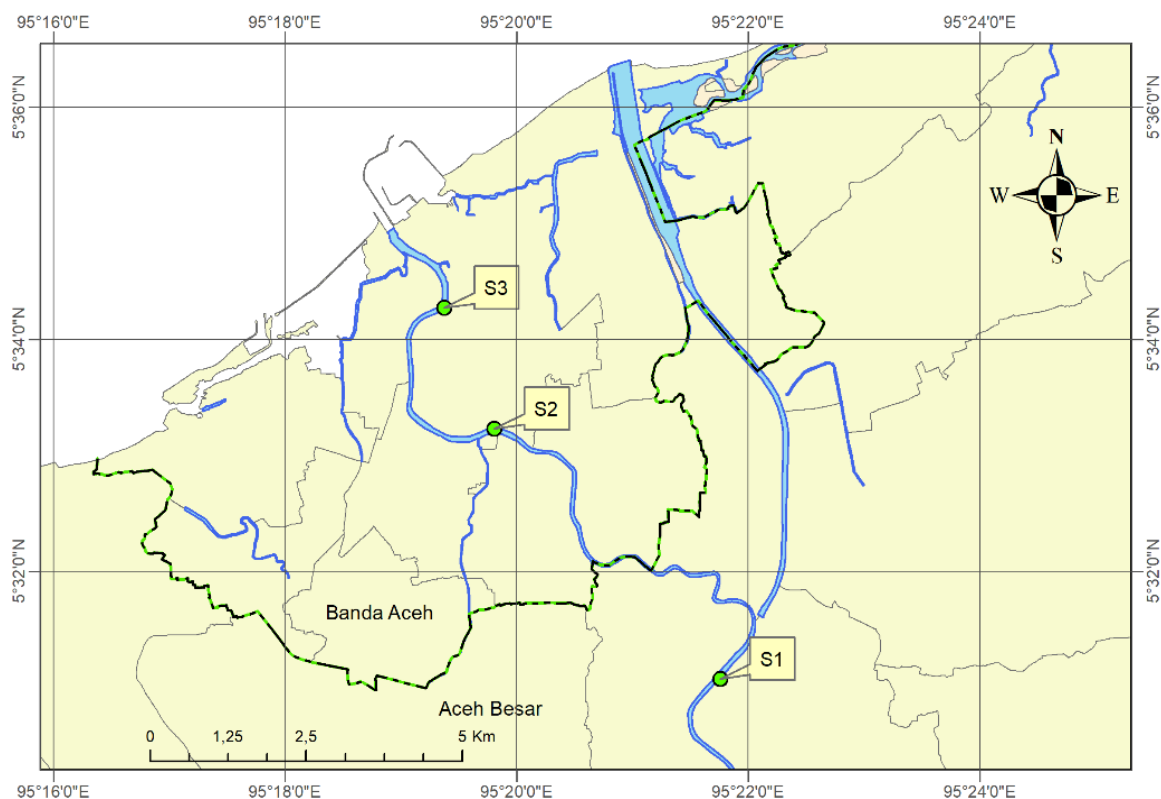
2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan di aliran Sungai Krueng Aceh yang melintasi wilayah Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh, Indonesia. Hidrologi sungai ini dipengaruhi oleh variasi penggunaan lahan, mulai dari kawasan hulu yang relatif alami hingga daerah perkotaan dengan aktivitas antropogenik yang intensif. Pengambilan sampel dilakukan pada tiga stasiun yang mewakili segmen hulu, tengah, dan hilir seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1** dengan lokasi pengambilan sampel air Sungai Krueng dilakukan di tiga lokasi berbeda yang dijelaskan pada **Tabel 1**. Pemilihan lokasi ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh aktivitas antropogenik terhadap kualitas air sungai.

Sampling dilaksanakan pada periode Juli 2025 dengan kondisi cuaca cerah serta debit sungai stabil. Periode pengambilan sampel bertepatan dengan kategori Hari Tanpa Hujan (HTH) pendek (6-10 hari) dan curah hujan wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh berada pada kategori rendah (0-50 mm/dasarian) (BMKG Stasiun Klimatologi Aceh 2025).

Tabel 1. Lokasi pengambilan sampel air sungai Krueng Aceh.

Stasiun	Lokasi	Koordinat	Segmen
1	Jurong Peujeura, Kecamatan Ingin Jaya, Kabupaten Aceh Besar	N: 5,51798 E: 95,36267	Hulu sungai (relatif alami, berdekatan dengan kawasan pegunungan)
2	Beurawe, Kecamatan Kuta Alam, Kota Banda Aceh	N: 5,553907 E: 95,33017	Daerah tengah kota (kawasan padat aktivitas penduduk)
3	Lampulo, Kecamatan Kuta Alam, Kota Banda Aceh	N: 5,571248 E: 95,32296	Hilir sungai (daerah pemukiman dan muara sungai)

**Gambar 1.** Lokasi pengambilan sampel pada aliran Sungai Krueng Aceh.

2.2. Prosedur analisis data

Sampel air diambil dari tiga stasiun penelitian yang merepresentasikan variasi lokasi di sepanjang aliran Sungai Krueng Aceh, mulai dari bagian hulu hingga mendekati hilir (**Gambar 1**). Seluruh sampel diberi kode identifikasi sesuai lokasi pengambilan, kemudian disimpan dalam kotak penyimpanan untuk menjaga kestabilan parameter kualitas air selama transportasi menuju laboratorium. Pengambilan sampel air dilakukan secara langsung (*grab sampling*) menggunakan botol polipropilena berkapasitas 1 L yang telah dipersiapkan sesuai dengan SNI 8995:2021 tentang Metode Pengambilan Contoh Uji Air untuk Pengujian Fisika dan

Kimia. Sebelum digunakan, botol sampel dibilas terlebih dahulu dengan air sungai di lokasi pengambilan. Pada setiap stasiun, sampel diambil dalam radius ± 3 m dari titik koordinat utama guna memperoleh contoh uji yang representatif.

Analisis laboratorium dilakukan terhadap parameter kualitas air permukaan sesuai standar nasional yang berlaku, yaitu: pH (SNI 6989.11-2019), *Total Suspended Solids* (TSS) (SNI 6989.3-2019), *Total Dissolved Solids* (TDS) (SNI 6989.27-2019), Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) (SNI 06-6989.30-2005), Sulfat (SO_4^{2-}) (SNI 6989.20-2019) dan Logam berat (SNI 6989.84-2019). Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk menentukan status mutu air Sungai Krueng Aceh dengan mengacu pada baku mutu air kelas II sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Penilaian status mutu dilakukan menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP) berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air berdasarkan metode indeks pencemaran yang disajikan pada **Tabel 2**. Rumus perhitungan Indeks Pencemaran yang digunakan berdasarkan Nemerow (1985) (**Persamaan 1**).

$$IP_j = \sqrt{\frac{(Ci/Lij)_M^2 + (Ci/Lij)_R^2}{2}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

Ci : Variabel hasil uji laboratorium

Lij : Batas baku mutu (Kelas II)

Ci/Lij : Perbandingan hasil uji laboratorium dengan batas baku mutu

(Ci/Lij)_R : Nilai Ci/Lij rata-rata

(Ci/Lij)_M : Nilai Ci/Lij maksimum

Tabel 2. Status mutu air sungai berdasarkan metode indeks pencemaran.

No.	Rentang nilai IP	Kategori
1	$0 \leq PI_j \leq 1,0$	Baik
2	$1,0 < PI_j \leq 5,0$	Cemar ringan
3	$5,0 < PI_j \leq 10$	Cemar sedang
4	$PI_j > 10$	Cemar Berat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik parameter kualitas air Sungai Krueng Aceh

Parameter kualitas air Sungai Krueng Aceh secara umum menunjukkan kondisi yang masih memenuhi baku mutu kelas II, dengan variasi antar stasiun yang mencerminkan perbedaan tekanan lingkungan. Hasil pengukuran pH, TSS, TDS, amonia, sulfat, dan logam berat memberikan gambaran menyeluruh mengenai status kualitas air, sekaligus dasar evaluasi melalui Indeks Pencemaran (**Tabel 3**).

Hasil uji one-way ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar lokasi pada parameter pH, TDS, amonia dan sulfat ($p < 0,05$), sedangkan TSS tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$). Parameter logam berat (Fe, Zn, Cu, Pb dan Ni) tidak dianalisis secara statistik karena seluruh konsentrasi berada dibawah batas deteksi metode ($<MDL$). Temuan ini menunjukkan bahwa kualitas air sungai lebih dipengaruhi oleh dinamika zat terlarut (pH, TDS, amonia, dan sulfat) dibandingkan partikel tersuspensi. Pola serupa juga dilaporkan oleh (Nur *et al.* 2023) pada Sungai Krueng Brayeun dan (Salami *et al.* 2025) di Sungai Citarum, yang menunjukkan bahwa variasi kualitas air sungai lebih ditentukan oleh parameter zat terlarut.

Tabel 3. Tabulasi parameter fisika-kimia air sungai Krueng Aceh.

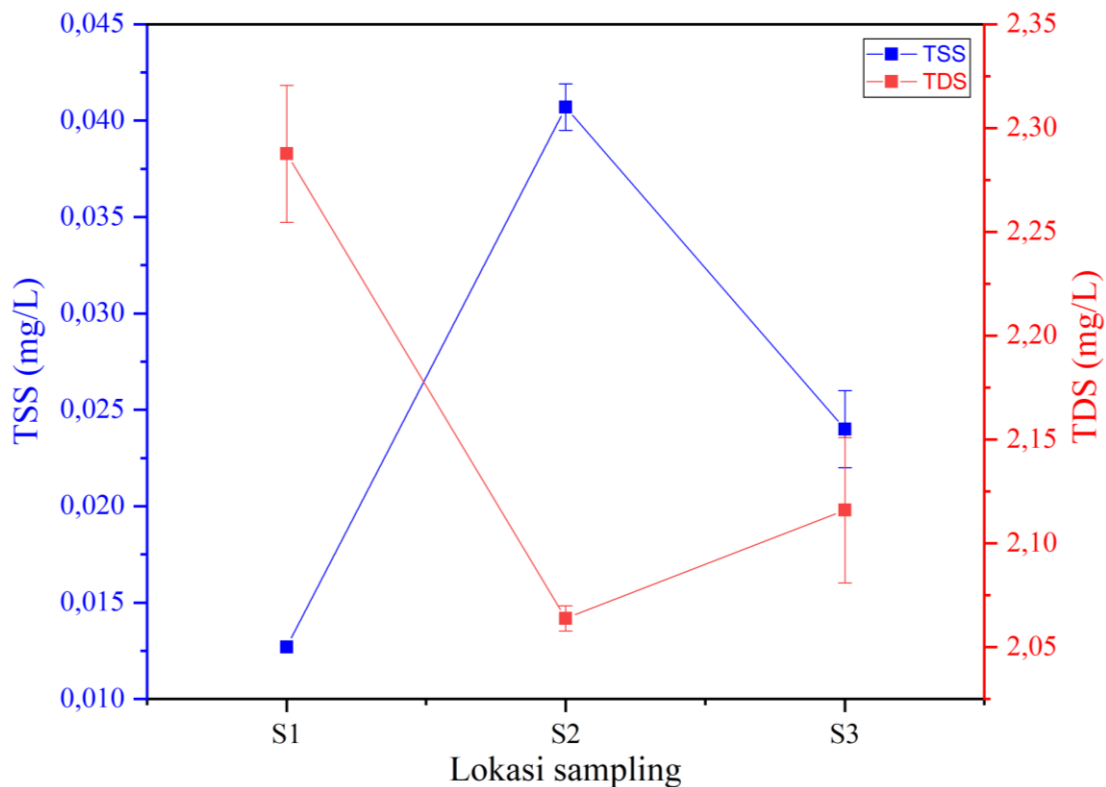
No	Parameter	Unit	Lokasi pengambilan sampel			Baku mutu ¹	p-value	Ket. one-way ANOV
			S1	S2	S3			
1	pH	-	7,1	7,1	7,0	6-9	0,0069	Signifikan
2	TSS	mg/L	0,0127	0,0407	0,024	50	0,421	Tidak Signifikan
3	TDS	mg/L	2,2876	2,0638	2,116	1000	0,0001	Signifikan
4	Amonia	mg/L	0,2384*	0,3582*	0,2694*	0,2	0,0188	Signifikan
5	Sulfat	mg/L	5,7271	94,4347	107,4004	300	3E-12	Signifikan
6	Fe ²	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	-	-	<MDL
7	Zn ²	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	-	<MDL
8	Cu ²	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	-	<MDL
9	Pb ²	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	-	<MDL
10	Ni ²	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	0,05	-	<MDL

¹Baku mutu air sungai (Kelas 2) PP RI No. 22 Tahun 2021.

²Metode Deteksi Limit (MDL) Fe = 0,02 mg/L, Zn = 0,01 mg/L, Cu = 0,01 mg/L, Pb = 0,03 mg/L dan Ni = 0,03 mg/L.

Nilai pH berada pada kisaran 7,0-7,1, relatif netral dan masih sesuai PP Nomor 22 Tahun 2021 yang menyatakan bahwa nilai tersebut masih memenuhi baku mutu kelas II (6,0–9,0) dan standar WHO (2022). Netralitas pH ini menegaskan bahwa perairan masih mampu mempertahankan keseimbangan kimia yang penting bagi kelangsungan organisme akuatik (Nabila dan Hendrawan 2025; Wan *et al.* 2025). Sungai dengan pH netral umumnya memiliki kapasitas penyangga yang baik terhadap fluktuasi masukan antropogenik (Afzaal *et al.* 2022; Fynnisa *et al.* 2024; Singh *et al.* 2024).

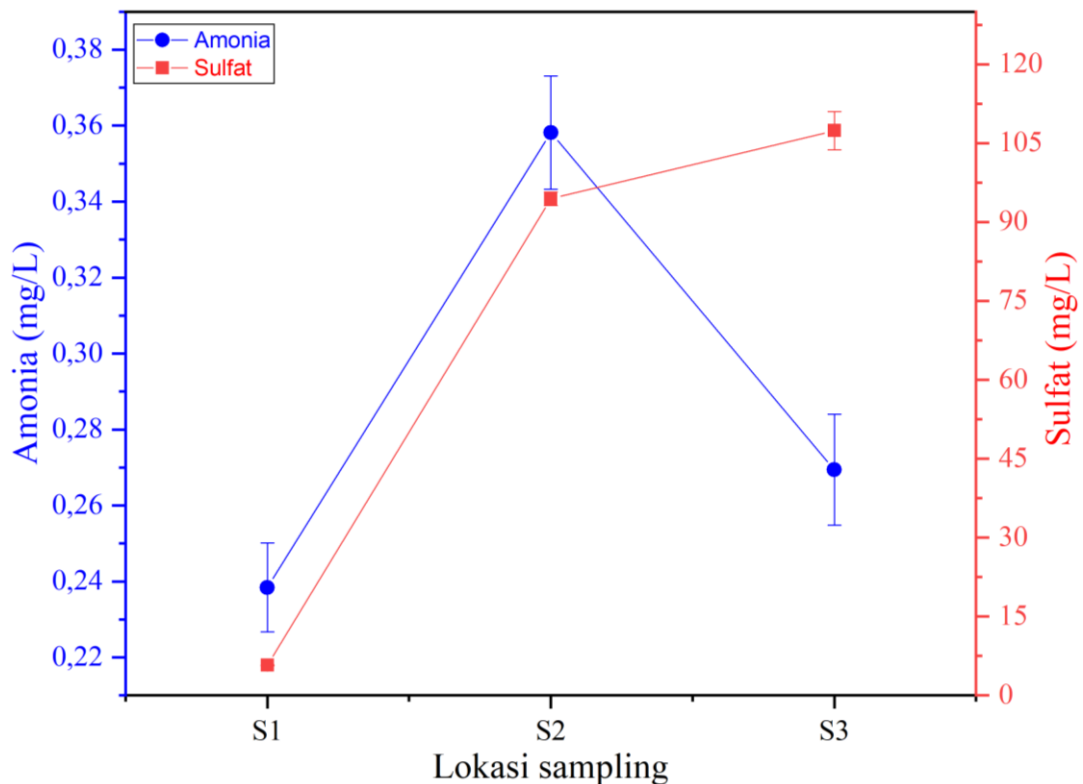
Konsentrasi TSS (0,0127–0,0407 mg/L) dan TDS (2,06–2,29 mg/L) di ketiga lokasi berada di bawah baku mutu kelas II. Hasil ini menunjukkan rendahnya beban partikel tersuspensi dan zat terlarut anorganik, sehingga kondisi perairan relatif aman bagi ekosistem sungai. Pola fluktuatif TSS dan TDS (**Gambar 2**) menunjukkan adanya pengaruh aktivitas antropogenik di sepanjang DAS Krueng Aceh. Temuan ini perlu diantisipasi mengingat konsentrasi TSS yang tinggi dapat menurunkan penetrasi cahaya dan memengaruhi proses fotosintesis fitoplankton, sedangkan TDS berhubungan dengan kestabilan ionik perairan serta osmoregulasi biota akuatik (Astria *et al.* 2023; Julita *et al.* 2023).



Gambar 2. Pola konsentrasi TSS dan TDS pada tiga lokasi sampling di DAS Krueng Aceh.

Konsentrasi amonia seperti yang ditunjukkan **Gambar 3**, tercatat sebesar 0,2384 mg/L (S1), meningkat menjadi 0,3582 mg/L (S2), lalu menurun menjadi 0,2694 mg/L (S3). Nilai ini melebihi ambang batas baku mutu kelas II (0,2 mg/L), terutama pada S2 yang dipengaruhi oleh aktivitas perkotaan dan masukan domestik. Amonia dikenal sebagai parameter sensitif untuk mendeteksi perubahan kualitas air akibat tekanan antropogenik, karena erat kaitannya dengan dekomposisi bahan organik, masukan limbah rumah tangga, maupun aktivitas pertanian di sekitar daerah aliran sungai (Pradani *et al.* 2024; Sutrisno *et al.* 2025). Oleh karena itu, variasi spasial DAS Krueng Aceh perlu dicermati sebagai indikator awal potensi pencemaran.

Lebih lanjut, sulfat menunjukkan tren meningkat konsisten dari 5,73 mg/L (S1), 94,43 mg/L (S2), hingga 107,40 mg/L (S3). Meskipun masih di bawah baku mutu kelas II (300 mg/L), kenaikan dari hulu ke hilir mencerminkan kontribusi masukan antropogenik seperti limpasan drainase perkotaan, infiltrasi limbah domestik, dan penggunaan deterjen, di samping sumber alami seperti pelapukan mineral sulfida (Wang dan Zhang, 2019; Zhang *et al.* 2024). Distribusi spasial ini menegaskan bahwa meskipun konsentrasi masih aman, tekanan lingkungan yang terus meningkat berpotensi menurunkan kualitas ekosistem jika tidak dikendalikan.



Gambar 3. Pola konsentrasi amonia dan sulfat pada tiga lokasi sampling di DAS Krueng Aceh.

Sementara itu, analisis logam berat menunjukkan bahwa konsentrasi Fe, Zn, Cu, Pb, dan Ni berada di bawah batas deteksi metode (masing-masing 0,02 mg/L; 0,01 mg/L; 0,01 mg/L; 0,03 mg/L; dan 0,03 mg/L). Konsistensi nilai <MDL pada seluruh stasiun menandakan bahwa Sungai Krueng Aceh belum mengalami tekanan akibat logam berat, baik dari aktivitas antropogenik maupun sumber alami. Kondisi ini sejalan dengan temuan (Nur *et al.* 2023) yang melaporkan rendahnya kandungan logam berat di sungai dengan aktivitas industri terbatas, sehingga faktor non-logam cenderung lebih dominan dalam memengaruhi variasi kualitas perairan. Meskipun demikian, sifat logam yang akumulatif dan toksik pada konsentrasi rendah menegaskan pentingnya pemantauan berkelanjutan (Zhang *et al.* 2023; Hama Aziz *et al.* 2023; Salami *et al.* 2025).

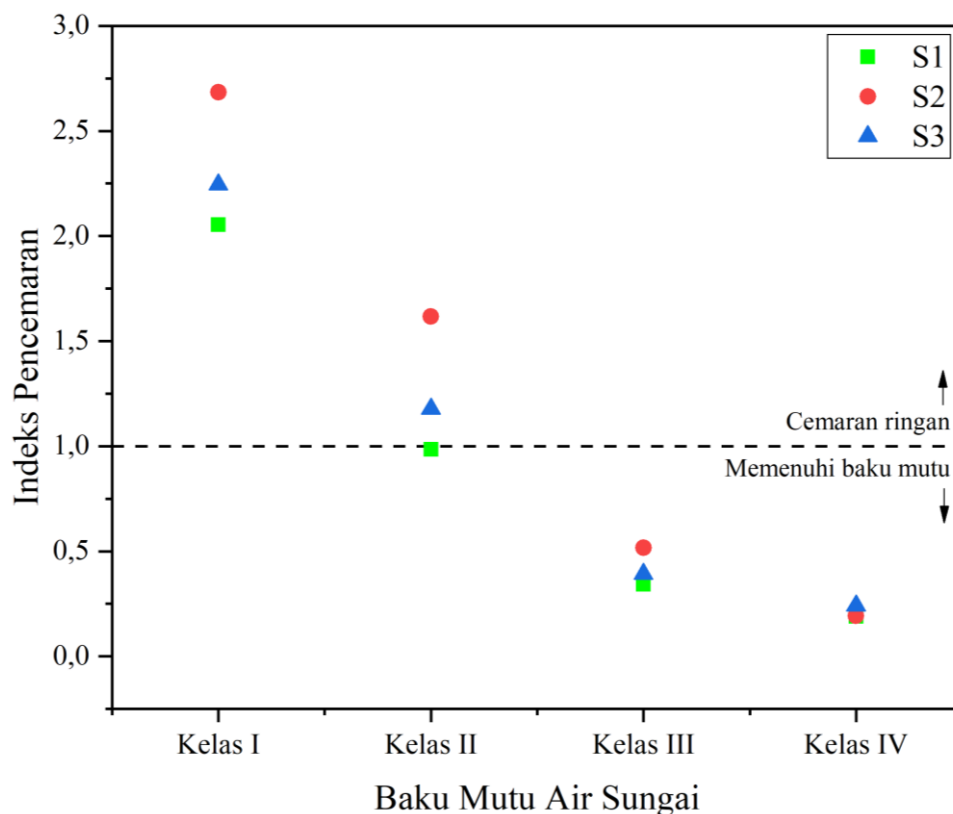
Secara keseluruhan, parameter uji pH, TSS, TDS, amonia, sulfat dan logam berat memberikan gambaran tentang dinamika kualitas perairan Krueng Aceh. Sehingga, evaluasi komprehensif melalui perhitungan Indeks Pencemaran menjadi langkah penting untuk menilai status mutu perairan secara holistik.

3.2 Evaluasi status mutu sungai berdasarkan indeks pencemaran

Analisis Indeks Pencemaran (IP) sungai Krueng Aceh terhadap empat kelas baku mutu menunjukkan nilai IP berada pada kategori “kondisi baik-cemaran ringan”, dengan tren status air lebih baik pada kelas yang lebih rendah seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. Selanjutnya, evaluasi dalam studi ini menggunakan baku mutu Kelas II sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, mengingat hingga kini Sungai Krueng Aceh belum memiliki penetapan kelas mutu resmi. Pendekatan ini selaras dengan Qanun Aceh Nomor 1 Tahun 2023, yang menyatakan sebagian besar sungai di wilayah Aceh berada pada Kelas I–III, sedangkan hanya sebagian kecil yang jatuh pada Kelas IV (PP Nomor 22 Tahun 2021),

Berdasarkan baku mutu Kelas II (**Tabel 4**), nilai IP Sungai Krueng Aceh berkisar 0,99–1,62 dan dikategorikan cemar ringan. Nilai ini lebih rendah dibandingkan hasil pemantauan resmi dalam Qanun Aceh Nomor 1 Tahun 2023) (IP = 1,97). Secara spasial, hasil studi menunjukkan bahwa S1 masih memenuhi baku mutu, sedangkan S2 dan S3 menunjukkan status cemar ringan akibat tekanan antropogenik dari aktivitas perkotaan dan limbah domestik (Novianti *et al.* 2022; Zhang *et al.* 2024). Kondisi ini menandakan bahwa sungai masih mampu menjalankan fungsi ekologisnya, namun

berisiko mengalami degradasi lebih lanjut apabila pencemar tidak terkendali. Oleh karena itu, temuan ini menegaskan perlunya penerapan strategi pengelolaan lingkungan berkelanjutan melalui pengendalian beban pencemar, penguatan pengolahan limbah domestik, dan pemantauan kualitas air secara periodik. Strategi praktis di Sungai Krueng Aceh meliputi peningkatan IPAL komunal, penertiban pembuangan limbah rumah tangga, pengendalian sampah padat melalui *trash boom* dan pengangkutan rutin, serta pemberdayaan masyarakat dalam pemantauan kualitas air. Upaya ini sejalan dengan target *Sustainable Development Goals* (SDG 6: *Clean Water and Sanitation* dan SDG 14: *Life Below Water*), yang menekankan urgensi menjaga kualitas sumber daya air dan ekosistem akuatik untuk menjamin keberlanjutan fungsi ekologis serta manfaat sosial-ekonomi sungai di masa depan.



Gambar 4. Status mutu Sungai Krueng Aceh pada 4 kelas mutu.

Tabel 4. Evaluasi status mutu air Sungai Krueng Aceh berdasarkan nilai IP.

No.	Stasiun	Indeks Pencemaran	
		Nilai IP (Kelas II)	Kategori
1	S1	0,9856	Baik
2	S2	1,6175	Cemar ringan
3	S3	1,1789	Cemar ringan

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas air Sungai Krueng Aceh dan menentukan status mutu air berdasarkan Indeks Pencemaran. Hasil evaluasi kualitas air Sungai Krueng Aceh menunjukkan status mutu kategori cemar ringan pada segmen tengah dan hilir, sedangkan hulu masih dalam kondisi baik. Parameter pH, TSS, TDS, sulfat, dan logam berat berada dalam batas aman, namun amonia yang melebihi ambang batas menjadi faktor dominan pencemar. Kondisi tersebut menunjukkan tekanan antropogenik dari aktivitas perkotaan dan limbah domestik yang berpotensi menurunkan fungsi ekologis sungai.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adi M, Walukouw A dan Manalu J. 2024. Dampak kegiatan antropogenik di daerah aliran sungai (DAS) Yahim dan Kuruwaka terhadap kualitas perairan Danau Sentani di Distrik Sentani. *Jurnal Portal Sipil* 13(1):1–10.
- Afzaal M, Hameed S, Liaqat I, Khan AAA, Manan HA, Shahid R and Altaf M. 2022. Heavy metals contamination in water, sediments and fish of freshwater ecosystems in Pakistan. *Water Practice and Technology* 17(5):1253–1272.
- Astria BH, Cokrowati N and Putra AP. 2023. Analisis tingkat pencemaran perairan di lokasi budidaya rumput laut, Labuhan Sangoro, Teluk Saleh Kabupaten Sumbawa. *Jurnal Perikanan Unram* 13(3):744–754.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2008. SNI 6989.57: Metode pengambilan contoh air permukaan. BSN. Jakarta.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI 6989.3: Cara uji total padatan tersuspensi (TSS). BSN. Jakarta.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI 6989.11: Cara uji derajat keasaman (pH). BSN. Jakarta.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI 6989.20: Cara uji sulfat (SO_4^{2-}). BSN. Jakarta.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2005. SNI 06-6989.30: Cara uji kadar amonia dengan spektrofotometer secara fenat. BSN. Jakarta.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI 6989.27: Cara uji total padatan terlarut (TDS). BSN. Jakarta.

- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI 6989.84: Cara uji logam berat dengan SSA. BSN. Jakarta.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2021. SNI 8995: Metode pengambilan contoh uji air untuk pengujian fisika dan kimia. BSN. Jakarta.
- Blanco-Ramírez S, van Meerveld I, Camargo A and Seibert J. 2025. "The water is murky, the water is not moving": qualitative water quality assessment by citizen scientists. *Frontiers in Water* 7:1552646.
- [BMKG] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Aceh. 2025. Buletin iklim Aceh (Analisis iklim Juni dan prakiraan Agustus–Oktober 2025). BMKG Aceh.
- Fatiawan E, Zubair H dan Lias SA. 2024. Pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap kondisi tata air daerah aliran sungai (DAS) Tallo. *Jurnal Ecosolum* 13(2):179–199.
- Fynnisa Z, Nugroho ED, Sakaria FS, Juniatmoko R, Sinurat J, Polapa FS, Arida V, Laksani MRT, Siahaya N and Situmorang MTN. 2024. Ekologi perairan. Widina. Kabupaten Bandung.
- Hama Aziz KH, Mustafa FS, Omer KM, Hama S, Hamarawf RF and Rahman KO. 2023. Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review. *RSC Advances* 13(26):17595–17610.
- Hu L, Chen L, Li Q, Zou K, Li J and Ye H. 2022. Water quality analysis using the CCME-WQI method with time series analysis in a water supply reservoir. *Water Supply* 22(7):6281–6295.
- Julita N, Simarmata A dan Purwanto E. 2023. Hubungan total padatan tersuspensi (TSS) dengan klorofil-a di perairan pesisir Kecamatan Dumai Barat, Kota Dumai, Riau. *Ilmu Perairan* 11(3):202–210.
- [KepmenLH] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air
- Lin Y, Dai J, Peng X, Li Z and Wan Z. 2025. Effects of water level changes on the hydrological connectivity and water quality of a lake-type wetland. *Frontiers in Environmental Science* 13:1531893.

- Madjar RM and Scăețeanu GV. 2025. An overview of heavy metal contamination in water from agriculture: origins, monitoring, risks, and control measures. *Sustainability* 17(16):7368.
- Mukti GT, Prayogo TB and Haribowo R. 2021. Studi penentuan status mutu air dengan menggunakan metode indeks pencemaran dan metode water quality index (WQI) di Sungai Donan Cilacap, Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air* 1(1):238–251.
- Nabila C and Hendrawan DI. 2025. Water quality and degradation rate analysis: assessing pollution and environmental impact for effective management, West Java. *Applied Environmental Science* 2(2):1480.
- Novianti N, Zaman B and Sarminingsih A. 2022. Kajian status mutu air dan identifikasi sumber pencemaran Sungai Cidurian segmen hilir menggunakan metode indeks pencemaran (IP). *Jurnal Ilmu Lingkungan* 20(1):22–29.
- Nugraha BRA, Suryaningrum I, Amanda P, Agfanisa R, Ardeny ANF, Pratama LS, Haris A, Fariz TR, Jabbar A, Kholil PA and Faizah N. 2025. Perubahan tata guna lahan terhadap daya dukung fungsi lindung daerah aliran sungai (DAS) Babon di Semarang dan sekitarnya. *Jurnal Riptek* 19(1):77–86.
- Nur A, Darnas Y and Fauzi M. 2023. Studi kualitas air Krueng Brayeun di Kabupaten Aceh Besar sebagai air baku air minum. *Jurnal Serambi Engineering* 8(2):5794–5800.
- Nur Annisa NA, Hakim A and Setyowati RDN. 2022. Analisis status mutu air Sungai Mahakam Kota Samarinda menggunakan metode indeks pencemaran. *Jurnal Serambi Engineering* 7(4):4201–4210.
- Nemerow NL. 1985. *Industrial water pollution: origins, characteristics, and treatment*. John Wiley & Sons. New York.
- Nursaini D and Harahap A. 2022. Kualitas air sungai. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains* 5(1):312–321.
- Pambudi AS and Pramujo B. 2025. Peran konservasi sumber daya air dalam pembangunan ekonomi, sosial, dan lingkungan berkelanjutan. *Bulletin of Community Engagement* 5(1):1–17.
- [PP] Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang pedoman perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

- Permata C, Larasati MA, Ayuningtyas ML, Putri AAK and Wahyudi AV. 2024. Analisis potensi dan kemajuan dalam pengelolaan air bersih dan sanitasi berkelanjutan (SDGs 6) di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Lingkungan dan Pembangunan* 25(1):16–24.
- Pradani MA, Wijayanti P and Tjahjono GA. 2024. Analisis kualitas air Sungai Sawur sebagai upaya pengendalian pencemaran air di Kecamatan Sambungmacan Kabupaten Sragen tahun 2023. *Indonesian Journal of Environment and Disaster* 3(1):97–110.
- Pramaningsih V, Yuliawati R, Sukisman S, Hansen H, Suhelmi R and Daramusseng A. 2023. Indeks kualitas air dan dampak terhadap kesehatan masyarakat sekitar Sungai Karang Mumus, Samarinda. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 22(3):313–319.
- Qanun Aceh Nomor 1 Tahun 2023 tentang rencana perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
- Salami IRS, Thufailah NA, Fahimah N and Roosmini D. 2025. Health risk assessment of physicochemical and heavy metals exposures of the usage of shallow groundwater located at the proximity to Citarum River, Indonesia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 11:101153.
- Singh V, Ahmed G, Vedika S, Kumar P, Chaturvedi SK, Rai SN, Vamanu E and Kumar A. 2024. Toxic heavy metal ions contamination in water and their sustainable reduction by eco-friendly methods: isotherms, thermodynamics and kinetics study. *Scientific Reports* 14(1):58061.
- Sutrisno, Rukmini, Amin R, Nasirudin and Silviani. 2025. Analisis kualitas air dan pengendalian pencemaran Sungai Bangkok di Kecamatan Gempol Kabupaten Pasuruan Jawa Timur. *E-Jurnal Sumberdaya dan Lingkungan* 14(1):1–14.
- Wan S, Wang S, Qaisar M, Zeb BS, Wang R, Yuan L and Zheng P. 2025. Critical role of pH in wastewater treatment and resource recovery from the hazardous chemical polishing wastewater. *Journal of Water Process Engineering* 75:107944.
- Wang H and Zhang Q. 2019. Research advances in identifying sulfate contamination sources of water environment by using stable isotopes. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(11):1914.

- Waskitho NT. 2024. Pengelolaan daerah aliran sungai di Indonesia. UMMPress. Malang.
- [WHO] World Health Organization. 2022. Guidelines for drinking-water quality. WHO.
- Zhang D, Xue T, Xiao J, Chai N and Gong S. 2024. Significant influence of water diversion and anthropogenic input on riverine sulfate based on sulfur and oxygen isotopes. *Journal of Hazardous Materials* 461:132622.
- Zhang P, Yang M, Lan J, Huang Y, Zhang J, Huang S, Yang Y and Ru J. 2023. Water quality degradation due to heavy metal contamination: health impacts and eco-friendly approaches for heavy metal remediation. *Toxics* 11(10):1.

Integrasi *ecosystem approach to aquaculture* (EAA) dalam penilaian keberlanjutan multidimensi budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa

Integrating the ecosystem approach to aquaculture (EAA) into multidimensional sustainability assessment of seaweed farming in Sampolawa Bay

Muhaimin Ali Ma'ruf^{1,2*}, Zairion², Gatot Yulianto², Ali Mashar²

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

²Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, IPB University, Bogor, Indonesia

Abstrak.

Budidaya rumput laut merupakan salah satu kegiatan ekonomi utama di kawasan pesisir Indonesia, namun keberlanjutannya terus mengalami tekanan akibat kompleksitas interaksi sosial-ekologi yang belum sepenuhnya tertangkap dalam pendekatan penilaian keberlanjutan konvensional. Metode *Rapid Appraisal for Fisheries* (Rapfish) telah banyak digunakan dalam penilaian keberlanjutan budidaya rumput laut, namun sebagian besar masih menggunakan atribut multidimensi yang bersifat umum dan tidak secara eksplisit merefleksikan prinsip *Ecosystem Approach to Aquaculture* (EAA). Penelitian ini mengintegrasikan prinsip EAA ke dalam pemilihan dan pengelompokan atribut Rapfish untuk memberikan penilaian yang holistik pada sistem budidaya rumput laut. Tujuan dari penelitian ini adalah menilai keberlanjutan multidimensi budidaya rumput laut *Eucheuma cottonii* di Teluk Sampolawa, Kabupaten Buton Selatan. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan *Multi-Dimensional Scaling* (MDS) melalui perangkat Rapfish pada lima dimensi keberlanjutan yaitu ekologi, ekonomi, sosial, teknologi, dan kelembagaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi EAA memberikan kerangka penilaian yang lebih komprehensif, terutama pada dimensi sosial dan kelembagaan. Secara keseluruhan, budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa tergolong cukup berkelanjutan dengan nilai indeks sebesar 60,64. Dimensi sosial dan ekologi merupakan penopang utama keberlanjutan, sementara dimensi ekonomi menjadi faktor pembatas yang memerlukan perhatian khusus, terutama terkait aksesibilitas pemasaran dan stabilitas harga pasar untuk menjaga tingkat keberlanjutan budidaya rumput laut di masa mendatang.

Kata kunci: *ecosystem approach to aquaculture* (EAA), *Eucheuma cottonii*, keberlanjutan, rapfish, rumput laut

Abstract.

Seaweed cultivation is a major economic activity in Indonesia's coastal areas, but its sustainability challenged by complex socio-ecological interactions that are not fully captured by conventional sustainability assessment approaches. The *Rapid Appraisal for Fisheries* (Rapfish) method has been widely applied, but most studies still employ generic multidimensional attributes that do not explicitly reflect the principles of the *Ecosystem Approach to Aquaculture* (EAA). This study integrates EAA principles into the selection and grouping of Rapfish attributes to provide a holistic assessment of seaweed farming systems. This study aims to assess the multidimensional sustainability of *Eucheuma cottonii* cultivation in Sampolawa Bay, South Buton Regency. The analysis was conducted using the *Multi-Dimensional Scaling* (MDS) approach in the Rapfish tool across five sustainability dimensions: ecology, economy, society, technology, and institutions. The results showed that EAA integration enhances the comprehensive assessment framework, especially in the social and institutional dimensions. Overall, seaweed cultivation in Sampolawa Bay was categorized as moderately sustainable with an index value of 60.64. The social and ecological dimensions were the main pillars of sustainability, whereas the economic dimension was a limiting factor requiring attention, particularly regarding market accessibility and price stability to ensure the sustainability of seaweed cultivation in the future.

Keywords: *ecosystem approach to aquaculture* (EAA), *Eucheuma cottonii*, sustainability, rapfish, seaweed

* Korespondensi Penulis
Email : muhaimin.a.maruf@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Budidaya rumput laut merupakan salah satu aktivitas pemanfaatan jasa ekosistem dengan laju pertumbuhan tercepat di dunia (Garlock *et al.* 2024). Pada tahun 2020 produksi budidaya rumput laut global mencapai lebih dari 35 juta ton, dengan Indonesia berkontribusi sebesar 27% dari total produksi tersebut (Cai *et al.* 2021; FAO 2022). Berdasarkan data statistik perikanan dan kelautan Indonesia, produksi budidaya rumput laut pada tahun 2024 mencapai 10,8 juta ton, mengalami peningkatan sebesar 10,82% dibandingkan tahun sebelumnya (KKP 2025). Meskipun menunjukkan peningkatan yang signifikan, namun budidaya rumput laut di Indonesia didominasi oleh pembudidaya skala kecil yang tergolong rentan terhadap tekanan internal maupun eksternal (Buschmann *et al.* 2017; Rimmer *et al.* 2021).

Seiring dengan peningkatan yang terjadi, masih terdapat kritik tajam atas keberlanjutan aspek ekologi dan sosial budidaya rumput laut seiring dengan dorongan pencapaian tujuan ekonomi (Valenti *et al.* 2018; Garlock *et al.* 2024). Menurut Cai *et al.* (2021) masih banyak kegiatan budidaya yang mengabaikan daya dukung kawasan, selain itu konflik kawasan dan lemahnya aspek kelembagaan turut menjadi aspek pembatas perkembangan budidaya rumput laut. Menurut Andaki *et al.* (2025) fluktuasi harga dan hasil produksi, serta keterbatasan aspek pengawasan sebagai hambatan serius. Selain itu, Aslan *et al.* (2020) menekankan rendahnya kualitas bibit dan kurangnya dukungan teknologi berkontribusi terhadap rendahnya produktifitas.

Penilaian keberlanjutan budidaya rumput laut memerlukan pendekatan multidimensi (Valenti *et al.* 2018; Andaki *et al.* 2025). Salah satu alat yang banyak digunakan dalam penilaian keberlanjutan adalah *Rapfish*. Metode ini dikembangkan oleh University of British Columbia dan dikenal karena kemampuannya yang adaptif dan efisien dalam menilai keberlanjutan multidimensi (Pitcher dan Preikshot 2001; Fauzi dan Anna 2005). Di Indonesia, *Rapfish* telah banyak diterapkan dalam studi keberlanjutan budidaya rumput laut, seperti di Kabupaten Parigi Moutong, Sulawesi Tengah (Laapo *et al.* 2021), Kabupaten Muna (Yusuf *et al.* 2023) dan Kota Bau-bau, Sulawesi Tenggara (Annisa *et al.* 2023).

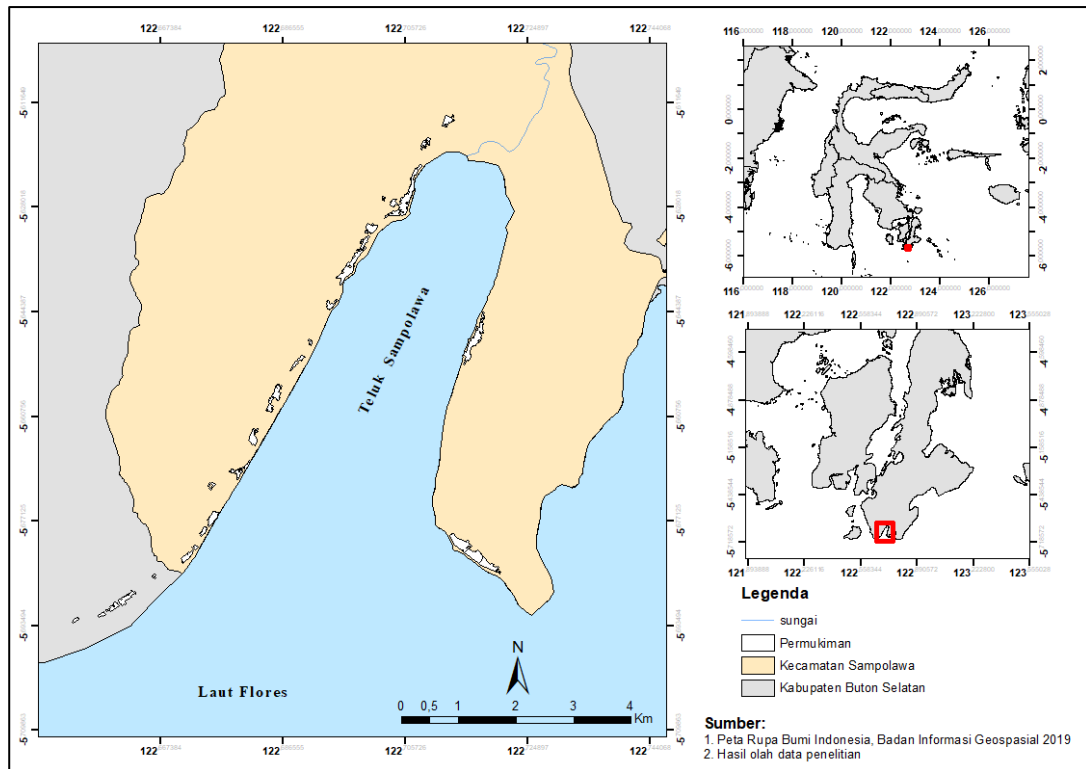
Kerangka EAA merupakan implementasi spesifik dari model pengelolaan *Ecosystem Approach* (EA) pada aspek budidaya untuk menjamin praktik budidaya yang berkontribusi positif bagi ekosistem dan kesejahteraan masyarakat secara berkelanjutan (Soto *et al.* 2008; Brugère *et al.* 2019). EAA memiliki tiga prinsip yaitu: (1) pengelolaan yang mempertimbangkan interaksi antara sistem ekologi dan sistem sosial; (2) kontribusi budidaya terhadap kesejahteraan masyarakat harus dioptimalkan dalam konteks yang adil dan inklusif; dan (3) pengembangan budidaya harus dilakukan di dalam batasan daya dukung ekosistem (FAO 2010). Prinsip EAA bukan hanya sebuah kerangka konseptual pengelolaan budidaya berkelanjutan, namun juga sebuah pendekatan analitik yang mengintegrasikan dimensi ekologi, ekonomi dan sosial secara seimbang dalam menilai keberlanjutan suatu sistem budidaya (Soto *et al.* 2008; Byron dan Costa-Pierce 2013; Brugère *et al.* 2019).

Penggunaan *Rapfish* dalam penilaian keberlanjutan budidaya rumput laut telah banyak dilakukan, namun mayoritas studi masih mengacu pada perangkat atribut yang bersifat umum yang tidak secara tegas mengacu pada prinsip pendekatan tertentu. Meskipun fungsional, namun belum sepenuhnya menangkap kompleksitas pada sistem budidaya rumput laut. Keterbatasan ini menegaskan pentingnya integrasi pendekatan yang lebih holistik dalam penilaian keberlanjutan salah satunya melalui integrasi prinsip EAA. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan prinsip EAA pada penilai keberlanjutan multidimensi budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa, Kabupaten Buton Selatan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April-Juni 2025 bertempat di Kecamatan Katilombu, Kecamatan Sampolawa, Kabupaten Buton Selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara.



Gambar 1. Lokasi penelitian Teluk Sampolawa, Kabupaten Buton Selatan.

2.2. Prosedur analisis data

Data pada penelitian ini meliputi data primer yang diperoleh dari hasil observasi dan wawancara, serta data sekunder yang berasal dari hasil studi pustaka. Responden pada penelitian berjumlah 40 orang, dipilih secara *purposive sampling* dari kelompok pembudidaya rumput laut, pelaku usaha, masyarakat lokal serta *stakeholder* yang terlibat dalam aktivitas budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa. Penilaian keberlanjutan multidimensi budidaya rumput laut menggunakan metode *Multidimensional Scaling (MDS)* dengan alat analisis *Rapfish* (Fauzi dan Anna 2005).

MDS merupakan suatu teknik statistik yang mengukur objek-objek dalam ruang multidimensional berdasarkan pada penilaian responden terhadap kemiripan (*similarity*) objek kajian (Saeed et al. 2019). Analisis MDS dilakukan berdasarkan tahapan Alder et al. (2000), yang diawali dengan penentuan dimensi dan atribut keberlanjutan berdasarkan studi pustaka, prinsip *Ecosystem Approach to Aquaculture (EAA)*, serta relevansinya dengan kondisi lokal. Selanjutnya, setiap atribut kegiatan budidaya didefinisikan secara operasional untuk memastikan keseragaman pemahaman dalam proses penilaian, dengan kriteria yang merepresentasikan kondisi ideal (*good*), buruk (*bad*), dan kondisi antara.

Tahap berikutnya adalah penyusunan nilai skor dan penentuan titik referensi, dengan menggunakan rentang skor 0–3, di mana nilai 3 menunjukkan kondisi ideal dan 0 kondisi buruk, meskipun rentang lain seperti 1–10 dapat digunakan selama konsisten antara titik *bad-good* (Kavanagh dan Pitcher 2004). Ordinasasi MDS kemudian dilakukan secara terpisah pada setiap dimensi keberlanjutan untuk memetakan unit budidaya dan titik referensi dalam ruang multidimensi menggunakan jarak *Euclidean*, sehingga diperoleh nilai indeks keberlanjutan (Fauzi dan Anna 2005; Annisa et al. 2023). Selanjutnya, analisis *leverage* digunakan untuk mengidentifikasi atribut yang paling sensitif terhadap perubahan nilai indeks, yang diukur berdasarkan nilai *root mean square* (RMS) dari perubahan ordinasasi. Untuk menguji kestabilan hasil dan mengukur ketidakpastian akibat variasi skor atribut, dilakukan simulasi *Monte Carlo*. Tahap akhir adalah penentuan status keberlanjutan berdasarkan nilai ordinasasi pada masing-masing dimensi, dengan mengacu pada klasifikasi keberlanjutan yang dikembangkan oleh Kavanagh dan Pitcher (2004) (**Tabel 1**).

Tabel 1. Indeks keberlanjutan budidaya rumput laut.

Indeks	Kategori
0-24,9	Tidak berkelanjutan
25-49,9	Kurang berkelanjutan
50-74,9	Cukup berkelanjutan
75-100	Sangat berkelanjutan

Validitas data dan reliabilitas hasil analisis dinilai berdasarkan kestabilan hasil ordinasasi MDS terhadap variasi penilaian atribut. Indikator yang digunakan adalah selisih nilai ordinasasi MDS dan simulasi *Monte Carlo*, selisih yang kecil menunjukkan ketidakpastian rendah dan hasil yang lebih reliabel (Alder et al. 2000; Laapo et al. 2021). Selain itu, kualitas ordinasasi dievaluasi melalui nilai *standardized residual sum of squares* (stress) dan koefisien determinasi (R^2), di mana nilai *stress* <0,20–0,25 dan R^2 mendekati satu menunjukkan kecocokan yang baik antara data dan konfigurasi ordinasasi (Pitcher dan Preikshot 2001; Kavanagh dan Pitcher 2004).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Integrasi prinsip *ecosystem approach to aquaculture* pada dimensi dan atribut keberlanjutan

Pemilihan dimensi dan atribut keberlanjutan pada penelitian ini dirancang untuk merepresentasikan prinsip utama EAA, yaitu keberlanjutan ekosistem, kesejahteraan dan pemerataan sosial masyarakat, dan tata kelola (Soto *et al.* 2008), dengan tetap mempertimbangkan karakteristik lokal budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa. Berdasarkan hasil observasi lapang dan studi pustaka maka penilaian dilakukan pada lima dimensi keberlanjutan yakni ekologi, ekonomi, sosial, teknologi dan kelembagaan serta enam atribut yang mewakili aspek dimensi keberlanjutan budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa (**Tabel 2**).

Tabel 2. Konektivitas prinsip EAA dan atribut keberlanjutan budidaya rumput laut.

Prinsip EAA	Dimensi	Atribut	Kriteria penilaian	Skor
Keberlanjutan Ekologi	Ekologi	1. Kesesuaian lokasi	▪ Kondisi kualitas air	0-3
		2. Daya dukung	▪ Daya dukung fisik kawasan	
		3. Serangan penyakit	▪ Tingkat kemampuan penanggulangan penyakit	
		4. Serangan hama	▪ Tingkat kemampuan penanggulangan hama	
		5. Produktivitas budidaya	▪ Kondisi hasil produksi per siklus	
		6. Ancaman antropogenik	▪ Tingkat ancaman antropogenik	
	Teknologi	1. Ketersediaan input produksi	▪ Kemudahan memperoleh input produksi budidaya	0-3
		2. Penguasaan pengetahuan dan teknologi budidaya	▪ Tingkat penguasaan metode dan teknologi budidaya	
		3. Penguasaan dan penerapan CBIB	▪ Penerapan sertifikasi CBIB	
		4. Akses teknologi informasi	▪ Kemampuan akses dan pemanfaatan teknologi informasi	
		5. Proses <i>sharing</i> informasi dan teknologi budidaya	▪ Intensitas proses pertukaran informasi antar pembudidaya	
		6. Sarana dan prasarana	▪ Ketersediaan sarana-prasarana	
Keberlanjutan Sosial dan kesetaraan	Sosial	1. Tingkat Pendidikan	▪ Tingkat Pendidikan formal pembudidaya	0-3
		2. Sosial kapital	▪ Pola hubungan masyarakat	
		3. Kesetaraan gender	▪ Komposisi gender dalam kesempatan kerja	
		4. Konflik	▪ Frekuensi konflik dalam 5 tahun terakhir	
		5. Akses Kesehatan dan pendidikan	▪ Kemampuan akses layanan kesehatan dan pendidikan	
		6. Penerimaan masyarakat	▪ Tingkat penerimaan masyarakat terhadap kegiatan budidaya rumput laut	
	Ekonomi	1. Akses pasar	▪ Potensi permintaan pasar	0-3
		2. Kelayakan usaha	▪ Analisis keuntungan dan <i>Revenue-Cost Ratio</i>	
		3. Stabilitas harga	▪ Perkembangan harga jual	
		4. Diversifikasi pendapatan	▪ Adanya sumber pendapatan selain budidaya rumput laut	

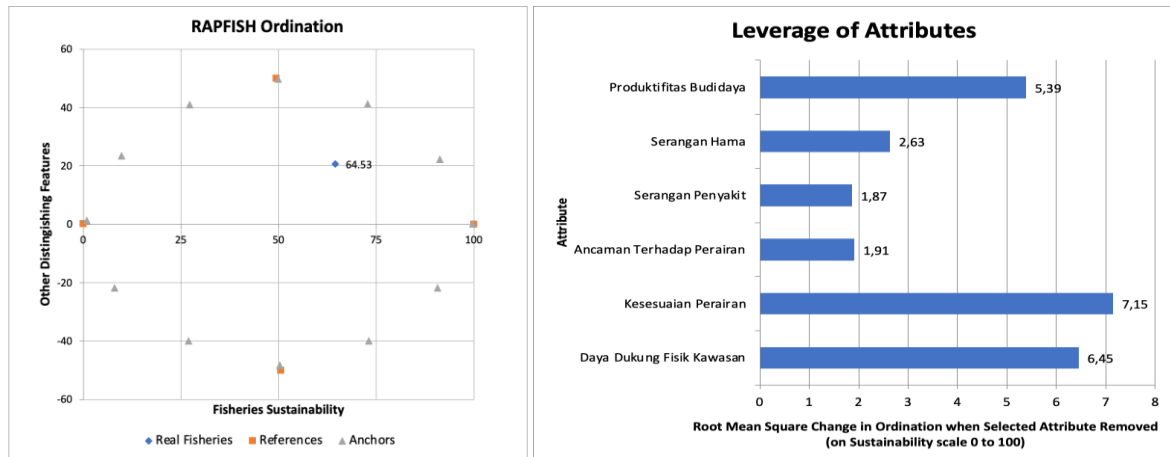
Prinsip EAA	Dimensi	Atribut	Kriteria penilaian	Skor
Tata Kelola	Kelembagaan	5. Tenaga kerja	▪ Pemanfaatan tenaga kerja lokal	0-3
		6. Struktur modal usaha	▪ Proporsi modal usaha	
		1. Kelembagaan budidaya	▪ Adanya lembaga dan aturan yang mengikat pembudidaya	
		2. Mekanisme pengambilan keputusan	▪ Adanya metode pengambilan keputusan yang demokratis	
		3. Penyuluh perikanan	▪ Ketersediaan SDM penyuluh	
		4. Kelembagaan permodalan	▪ Adanya pelayanan kelembagaan permodalan	
		5. Koordinasi antar <i>stakeholder</i>	▪ Tingkat koordinasi antar <i>stakeholder</i>	
		6. Pengawasan dan sanksi	▪ Adanya kelembagaan yang penerapan pengawasan dan sanksi	

Integrasi prinsip EAA ke dalam penilaian keberlanjutan pada penelitian ini memberikan matriks atribut yang berbeda secara substantif dibandingkan penelitian lain berbasis *Rapfish*, seperti budidaya rumput laut di Kabupaten Parigi Moutong, Sulawesi Tengah (Laapo *et al.* 2021), Kota Bau-bau (Annisa *et al.* 2023), Kabupaten Muna (Yusuf *et al.* 2023) yang menekankan dimensi ekologi dan ekonomi dengan penguatan pada atribut terkait aspek biofisik dan kinerja usaha, namun dimensi sosial dan kelembagaan masih direpresentasikan secara umum seperti tingkat pendidikan, konflik, ataupun keberadaan kelompok dan kelembagaan formal. Penelitian Lasima (2022) terkait penilaian keberlanjutan budidaya udang windu di Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan, telah mengaitkan prinsip EAA dalam pemilihan atribut keberlanjutan, namun belum mengeksplorasi secara mendalam khususnya aspek inklusi sosial dan inovasi teknologi yang cukup penting dalam EAA.

Pada penelitian ini penguatan dilakukan melalui atribut yang merepresentasikan inklusi sosial (kesetaraan gender), keadilan resiliensi (diversifikasi pendapatan), pemerataan ekonomi (tenaga kerja), kapasitas komunitas (penerimaan masyarakat, sosial kapital), kapasitas tata kelola (koordinasi antar *stakeholder*, pengawasan dan sanksi, mekanisme pengambilan keputusan), serta teknologi (penerapan CBIB, akses teknologi informasi, proses *sharing* informasi dan teknologi budidaya). Atribut-atribut tersebut memperluas konsep penilaian keberlanjutan berbasis *Rapfish*, khususnya pada dimensi sosial dan kelembagaan yang sangat krusial bagi keberlanjutan budidaya rumput laut yang didominasi pembudidaya skala kecil yang rentan terhadap tekanan sosial dan ekonomi.

3.2. Status keberlanjutan dimensi ekologi

Dimensi ekologi budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa berada pada kategori cukup berkelanjutan (indeks 64,53) (**Gambar 2**). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi biofisik perairan masih mendukung keberlanjutan budidaya rumput laut, walaupun belum pada kondisi optimal. Berdasarkan hasil analisis *leverage*, keberlanjutan dimensi ekologi dipengaruhi oleh atribut kualitas perairan, daya dukung fisik kawasan dan produktivitas budidaya (**Gambar 2**).

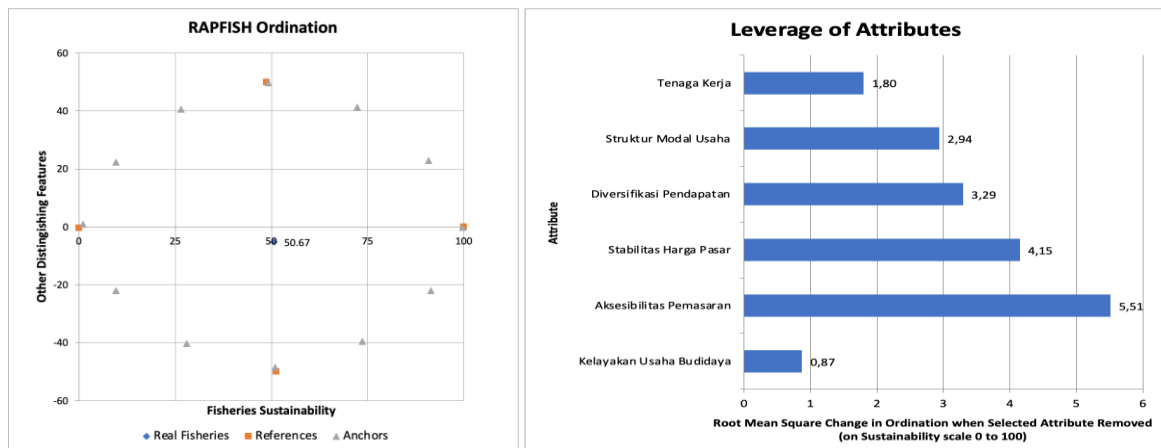


Gambar 2. Hasil ordinasi MDS dan analisis *leverage* dimensi ekologi budidaya rumput laut.

Kondisi kualitas perairan Teluk Sampolawa sangat mendukung untuk kegiatan budidaya rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* dan jumlah rakit yang beroperasi masih berada dalam rentang daya dukung fisik perairan. Temuan ini mengimplikasikan bahwa produktivitas budidaya yang menurun belum menjadi faktor pembatas selama kondisi kedua atribut kualitas perairan dan daya dukung fisik kawasan tetap terjaga. Namun, peningkatan jumlah penduduk berpotensi meningkatkan tekanan antropogenik terhadap perairan yang dapat memicu degradasi lingkungan. Meskipun atribut ancaman terhadap perairan menunjukkan nilai RMS yang rendah, namun atribut ini memiliki pengaruh yang besar terhadap atribut pengungkit utama khususnya kualitas perairan. Oleh karena itu prioritas pengelolaan dimensi ekologi perlu difokuskan pada perlindungan kualitas perairan melalui pengendalian tekanan antropogenik, sebagai bentuk pencegahan risiko perubahan indeks keberlanjutan.

3.3. Status keberlanjutan dimensi ekonomi

Dimensi ekonomi keberlanjutan budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa berada pada kategori kurang berkelanjutan (indeks 50,67) (**Gambar 3**). Analisis *leverage* memperlihatkan bahwa aksesibilitas pemasaran dan stabilitas harga pasar menjadi faktor penting pendukung keberlanjutan budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa (**Gambar 3**).

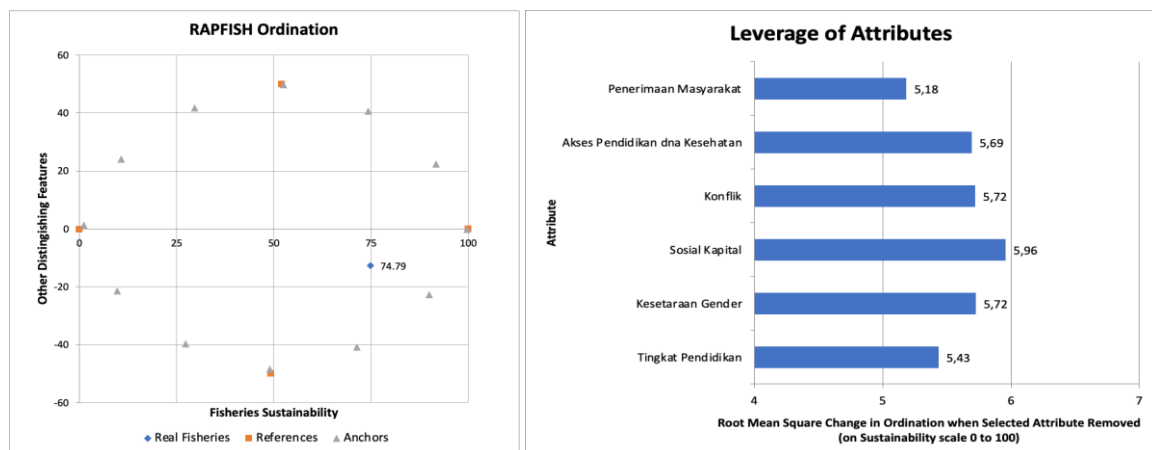


Gambar 3. Hasil ordinasi MDS dan analisis *leverage* dimensi ekonomi budidaya rumput laut.

Hasil produksi budidaya rumput laut dijual dalam bentuk kering dengan kisaran harga Rp.15.000,- hingga Rp.25.000,- per kilogram. Penjualan dilakukan melalui transaksi langsung antar pembudidaya dengan pedagang pengumpul yang ada di Kota Bau-bau. Tidak ada kontrak penjualan maupun hubungan *patron-client* dalam aktivitas budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa, kondisi ini cukup memberikan keleluasaan daya tawar bagi pembudidaya. Menurut Ahila *et al.* (2025) hubungan kontraktual cenderung merugikan pihak pembudidaya karena adanya kewajiban penjualan pada pemberi kontrak dengan harga yang cenderung ditetapkan secara sepihak. Namun, Terlepas dari kondisi tersebut posisi pembudidaya tetap lemah karena kurangnya jalur pemasaran hasil panen. Berdasarkan kondisi tersebut, maka strategi pengelolaan dimensi ekonomi dapat dilakukan dengan penguatan jaringan akses pemasaran dan stabilisasi harga. Hal ini dapat dicapai dengan peningkatan nilai tambah, dan diversifikasi produk, dengan adanya peningkatan variasi produk dapat membuka jalur pemasaran baru dan memperkuat posisi tawar pembudidaya.

3.4. Status keberlanjutan dimensi sosial

Dimensi sosial keberlanjutan budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa berada pada kategori cukup berkelanjutan dengan nilai ordinasi 74,79 (**Gambar 4**). Hal ini menunjukkan bahwa sistem sosial masyarakat pesisir di Teluk Sampolawa relatif mendukung kegiatan budidaya rumput laut. Atribut pengungkit berdasarkan analisis *leverage* adalah sosial kapital, konflik dan kesetaraan gender (**Gambar 4**). Nilai RMS analisis *leverage* antar atribut relatif berdekatan, dengan kata lain tidak terdapat atribut yang berperan secara dominan sebagai pengungkit utama keberlanjutan.

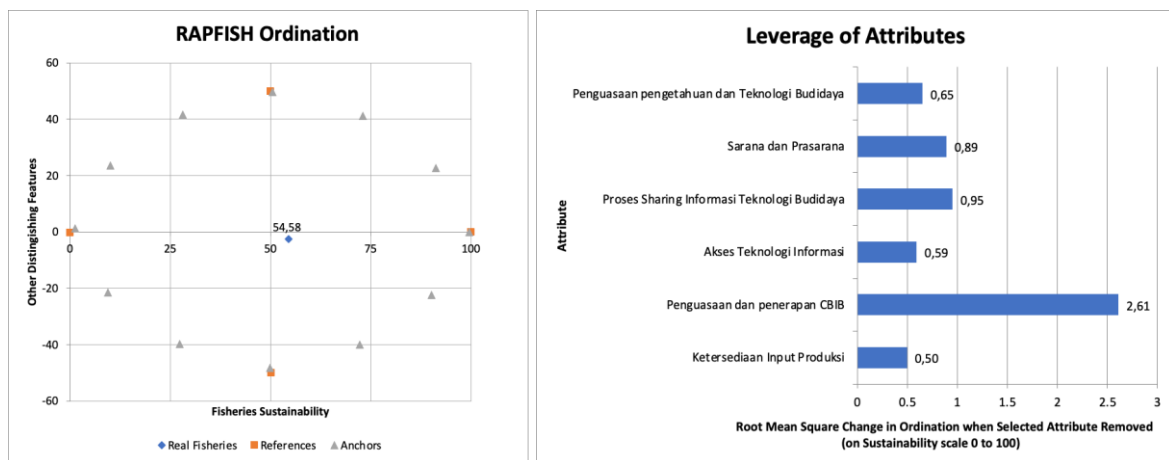


Gambar 4. Hasil ordinasi MDS dan analisis *leverage* dimensi sosial budidaya rumput laut.

Modal sosial memainkan peranan yang besar dalam menjaga harmoni sosial kegiatan budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa, hal ini tercermin dari minimnya frekuensi konflik yang terjadi, baik antara sesama pembudidaya ataupun pembudidaya dengan masyarakat lokal. Penerimaan masyarakat yang baik akan kegiatan budidaya salah satunya dikarenakan pemanfaatan tenaga kerja lokal serta keterlibatan perempuan dan kesetaraan gender dalam setiap tahapan aktivitas budidaya. Meskipun tingkat pendidikan pembudidaya tergolong rendah, namun belum menjadi faktor pembatas keberlanjutan karena pemahaman teknis budidaya umumnya terjadi secara informal melalui diskusi. Prioritas pengelolaan pada dimensi sosial dapat diarahkan pada upaya kolektif yang berfokus pada atribut sosial kapital melalui penguatan ruang diskusi kolektif antar pembudidaya atau penguatan mekanisme sosial yang sudah ada menjadi kelembagaan formal. Selain itu penguatan peran perempuan dan kesetaraan gender perlu dipertahankan karena terbukti berkontribusi terhadap stabilitas sosial dan ekonomi masyarakat.

3.5. Status keberlanjutan dimensi teknologi

Dimensi teknologi berada pada kategori cukup berkelanjutan (indeks 54,58) (**Gambar 5**). Hal ini menunjukkan bahwa praktik teknologi yang diterapkan mampu menopang keberlanjutan namun belum berjalan optimal. Penguasaan dan penerapan CBIB merupakan atribut pengungkit utama keberlanjutan budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa, dengan nilai RMS yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan atribut lainnya (**Gambar 5**). Hal ini mengindikasikan bahwa keberlanjutan akan dominan dipengaruhi oleh kualitas dan konsistensi praktik budidaya yang sesuai standar CBIB.

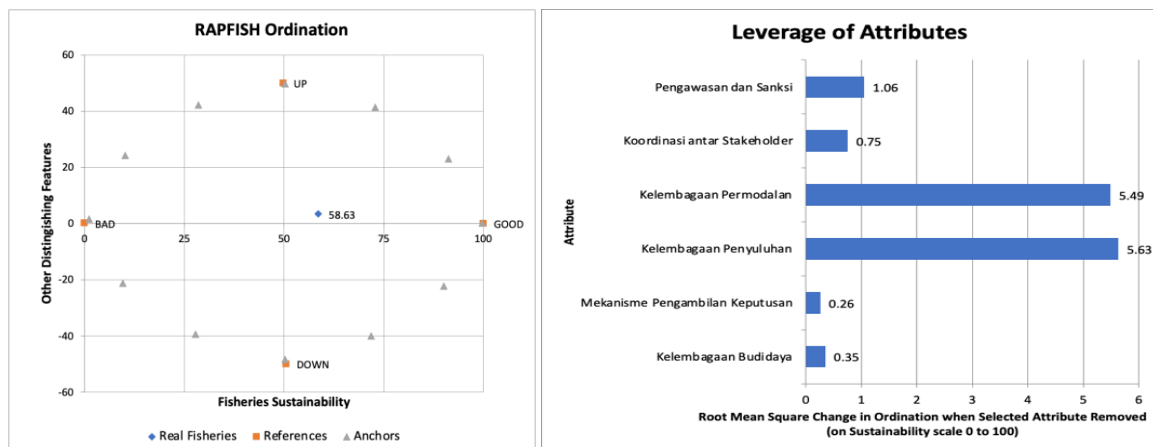


Gambar 5. Hasil ordinasi MDS dan analisis *leverage* dimensi teknologi budidaya rumput laut.

Teknologi budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa masih bersifat tradisional dengan teknologi yang sederhana, di mana pembesaran menggunakan metode rakit apung sistem satu jangkar dan pengeringan memanfaatkan angin dan sinar matahari pada meja jemur yang disebut *para-para*. Strategi pengelolaan dimensi teknologi diarahkan pada penguatan pengetahuan dan penerapan CBIB dengan melakukan pendampingan teknis, dan peningkatan kapasitas pembudidaya. Peningkatan kapasitas ini dapat difokuskan pada penguasaan akses teknologi informasi untuk meningkatkan kapasitas adaptif dan inovasi teknologi budidaya.

3.6. Status keberlanjutan dimensi kelembagaan

Dimensi kelembagaan budidaya rumput laut cukup berkelanjutan (58,63), dengan kelembagaan permodalan dan kelembagaan penyuluhan muncul sebagai atribut paling dominan atau pengungkit utama keberlanjutan (**Gambar 6**). Hal ini menegaskan pentingnya institusi pendukung akses pembiayaan dan penguatan kapasitas pembudidaya dalam menjaga aktivitas budidaya tetap berjalan.



Gambar 6. Hasil ordinasi MDS dan analisis *leverage* dimensi kelembagaan budidaya rumput laut.

Pembudidaya rumput laut di Teluk Sampolawa belum memanfaatkan lembaga permodalan secara maksimal, hal ini tercermin dari struktur modal usaha yang masih didominasi pembiayaan pribadi. Kondisi ini membatasi kapasitas pengembangan usaha terutama pada peningkatan sarana produksi dan adopsi teknologi yang lebih efisien. Sebaliknya, kelembagaan penyuluh perikanan memainkan peran strategis melalui transfer informasi, penerapan teknologi dan pendampingan adaptif yang mendukung pengambilan keputusan dalam menghadapi dinamika ekologi dan pasar.

Atribut mekanisme pengambilan keputusan dan kelembagaan budidaya, menunjukkan pengaruh yang relatif rendah berdasarkan analisis *leverage*, hal ini dikarenakan kuatnya mekanisme informal berbasis modal sosial, norma lokal dan musyawarah. Mekanisme ini cukup efektif dalam mengatur kegiatan budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa, sehingga strategi pengelolaan pada dimensi kelembagaan harus menguatkan mekanisme informal ini melalui pengaturan kelembagaan yang legal dan mengikat, khususnya terkait pengaturan zonasi dan batasan jumlah rakit yang diperbolehkan beroperasi dalam kawasan teluk maupun jumlah rakit yang boleh dimiliki oleh satu individu.

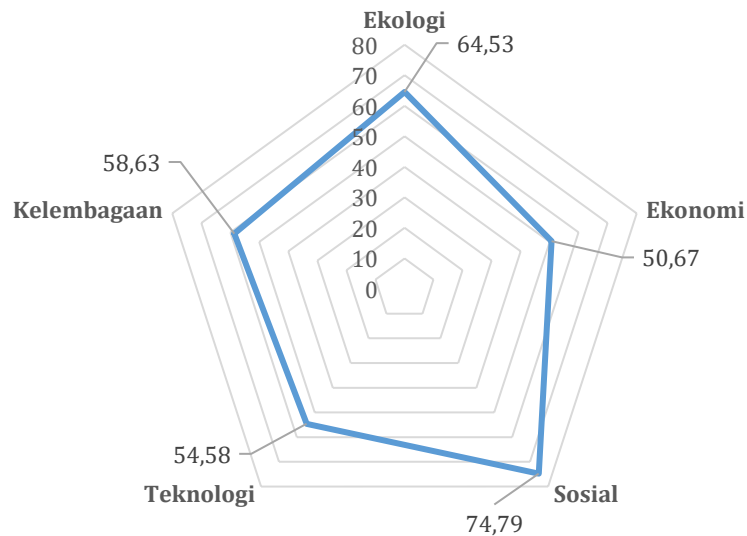
3.7. Status keberlanjutan multidimensi budidaya rumput laut

Penilaian keberlanjutan multidimensi menunjukkan budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa berada pada kategori cukup berkelanjutan (60,64), namun dengan tingkat capaian yang bervariasi antar dimensi (**Tabel 3**). Nilai indeks ini juga menggambarkan bahwa secara keseluruhan budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa masih menyisakan ruang yang cukup besar untuk pengembangan dan perbaikan.

Tabel 3. Indeks dan status keberlanjutan budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa.

Dimensi	Indeks	Status
Ekologi	64,53	Cukup berkelanjutan
Ekonomi	50,67	Kurang berkelanjutan
Sosial	74,79	Cukup berkelanjutan
Teknologi	54,58	Cukup berkelanjutan
Kelembagaan	58,63	Cukup berkelanjutan
Rata-rata	60,64	Cukup berkelanjutan

Pola ketidakseimbangan antar dimensi yang ter gambarkan dalam diagram radar menunjukkan keberlanjutan budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa ditopang oleh kekuatan dari dimensi sosial (74,79) dan dimensi ekologi (64,53) (**Gambar 7**). Sebaliknya dimensi ekonomi berpotensi menjadi *bottleneck* dalam keberlanjutan, hal ini ditunjukkan dari nilai indeks terendah dibandingkan dengan dimensi yang lain. Kondisi ini mengindikasikan bahwa keberlanjutan berpotensi terhambat apabila permasalahan dimensi ekonomi tidak ditangani dengan baik dan terarah. Berdasarkan hal tersebut maka untuk mencapai keberlanjutan strategi pengelolaan difokuskan pada atribut dengan *leverage* tertinggi pada masing-masing dimensi, namun dengan mengutamakan penyelesaian permasalahan keberlanjutan pada dimensi ekonomi yang berada pada kategori kurang berkelanjutan. Dimensi keberlanjutan lain tetap memerlukan penguatan agar dapat bergerak menuju tingkat keberlanjutan yang lebih tinggi dan menopang keberlanjutan sistem secara utuh dan dalam jangka panjang.



Gambar 7. Indeks keberlanjutan budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa.

Hasil analisis RAP-Multidimensi memperlihatkan rata-rata nilai *stress* sebesar 0,15%, dan nilai R^2 sebesar 94% (**Tabel 4**). Nilai ini menunjukkan bahwa rentan kepercayaan terhadap hasil analisis telah akurat dan dapat dipertanggung jawabkan, hal sejalan dengan pendapat Kavanagh & Pitcher (2004) dan Pitcher & Preikshot (2001), bahwa semakin kecil nilai *stress* (< dari 25%) dan nilai R^2 mendekati 100 maka hasil analisis semakin baik dan dapat dipercaya.

Tabel 4. Parameter statistik (*goodness of fit*) analisis indeks keberlanjutan.

Dimensi	<i>Stress</i> (%)	R^2 (%)
Ekologi	0,15	94
Ekonomi	0,15	94
Sosial	0,15	94
Teknologi	0,17	93
Kelembagaan	0,16	94
Rata-rata	0,15	94

Hasil ordinasasi MDS dan simulasi *Monte Carlo* menunjukkan kisaran selisih nilai yang sangat kecil pada seluruh dimensi keberlanjutan (**Tabel 5**). Perbedaan nilai yang kecil mengindikasikan bahwa posisi keberlanjutan tidak banyak berubah meskipun terjadi variasi dalam penilaian atribut, sehingga hasil yang diperoleh dianggap stabil dan cukup andal untuk digunakan dalam analisis.

Tabel 5. Nilai indeks keberlanjutan MDS dan *Monte Carlo*.

Dimensi	MDS	Monte Carlo	Selisih
Ekologi	64.53	64.29	0.24
Ekonomi	50.67	50.48	0.19
Sosial	74.79	72.90	1.89
Teknologi	54.58	54.26	0.32
Kelembagaan	58.63	58.51	0.12
Rata-rata	60.64	60.09	0.552

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Integrasi prinsip EAA ke dalam penilaian keberlanjutan multidimensi menggunakan *Rapfish* memperluas pemahaman konseptual khususnya pada dimensi sosial dan kelembagaan. Budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa berada pada kategori cukup berkelanjutan dengan nilai indeks sebesar 60,64. Penopang utama keberlanjutan adalah dimensi sosial dan dimensi ekologi, sedangkan dimensi ekonomi menjadi faktor pembatas yang berpotensi menghambat keberlanjutan apabila tidak dikelola secara baik dan terarah. Prioritas kebijakan perlu diarahkan pada penguatan dimensi ekonomi, khususnya peningkatan akses pasar dan stabilitas harga melalui peningkatan nilai tambah dan diversifikasi produk hasil budidaya.

Pada saat yang sama perlindungan terhadap kualitas perairan dari ancaman antropogenik dan pengendalian daya dukung fisik kawasan melalui aturan zonasi memerlukan legalitas kelembagaan yang jelas dan mengikat. Penelitian ini memiliki keterbatasan metodologis terkait jumlah dan karakteristik responden serta subjektivitas responden pada proses *scoring* atribut, walaupun secara parameter statistik stabil dan dapat dipercaya. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya diharapkan melibatkan responden yang lebih luas dengan pendekatan dan kemampuan pewawancara yang lebih baik.

5. DAFTAR PUSTAKA

Ahila M, Qureshi NW, Krishna M, Ananthan PS, Jhonson B and Gopalakrishnan BN. 2025. Socio-economic challenges for the wild harvested seaweed sector development: the value chain mapping and strategies for its institutionalization. *Socioecon Chall* 9(2):260–281. doi:10.61093/sec.9(2).260-281.2025.

- Alder J, Pitcher TJ, Preikshot D, Kaschner K and Ferriss BE. 2000. How good is good: a rapid appraisal technique for evaluation of the sustainability status of fisheries of the North Atlantic. Fish. Cent. UBC.
- Andaki JA, Tumbol RA and Rantung SV. 2025. Status of sustainable livelihoods of seaweed cultivators on Nain Island, North Sulawesi Province, Indonesia. *Int. J. For. Anim. Fish. Res.* 9(1):01–09. doi:10.22161/ijfaf.9.1.1.
- Annisa N, Samawi MF and Idrus MR. 2023. Status of seaweed *K. alvarezii* cultivation sustainability as a strategic direction for seaweed management in Baubau City, Southeast Sulawesi. *J. Penelit. Pendidik. IPA.* 9(2):931–937. doi:10.29303/jppipa.v9i2.2874.
- Aslan LOM, Cahyani H, Hardianti H, Kurnia DP, Febriani A, Prity NA, Ariskanti, Anastasia H, Disnawati and Iba W. 2020. Field cultivation of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex silva using tissue-cultured seedlings at Bungin Permai Costal Waters, South Konawe, Southeast (Se) Sulawesi: The Third Year Of Seaweed Growth Monitoring. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 473(1):012007. doi:10.1088/1755-1315/473/1/012007.
- Brugère C, Aguilar-Manjarrez J, Beveridge MCM dan Soto D. 2019. The ecosystem approach to aquaculture 10 years on – a critical review and consideration of its future role in blue growth. *Rev. Aquac.* 11(3):493–514. doi:10.1111/raq.12242.
- Buschmann AH, Camus C, Infante J, Neori A, Israel Á, Hernández-González MC, Pereda SV, Gomez-Pinchetti JL, Golberg A, Tadmor-Shalev N. 2017. Seaweed production: overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity. *Eur. J. Phycol.* 52(4):391–406.
- Byron CJ and Costa-Pierce BA. 2013. Carrying capacity tools for use in the implementation of an ecosystems approach to aquaculture. *Site Sel. Carr. Capacit. Inland Coast. Aquac.*:87–101.
- Cai L, Dabbadie J, Lovatelli A, Aguilar-Manjarrez J and Cornish L. 2021. Fisheries Seaweeds and Microalgae: An Overview for Unlocking. No. 1229. FAO. Rome.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2010. Aquaculture Development. 4: Ecosystem Approach to Aquaculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO technical guidelines for responsible fisheries / Food and Agriculture Organization of the United Nations).

- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Toward Blue Transformation. Rome.
- Fauzi A dan Anna S. 2005. Pemodelan Sumber Daya Perikanan dan Kelautan untuk Analisis Kebijakan. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Garlock TM, Asche F, Anderson JL, Eggert H, Anderson TM, Che B, Chávez CA, Chu J, Chukwuone N and Dey MM. 2024. Environmental, economic, and social sustainability in aquaculture: the aquaculture performance indicators. *Nat Commun.* 15(1):5274. doi:10.1038/s41467-024-49556-8.
- Kavanagh P and Pitcher TJ. 2004. Implementing microsoft excel software for Rapfish : a technique for the rapid appraisal of fisheries status. doi:10.14288/1.0074801.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2025. Volume produksi perikanan budidaya pembesaran komoditas rumput laut per provinsi. Tersedia pada: <https://satudata.kkp.go.id>
- Laapo A, Howara D, Kassa S, Sultan H and Rahim Abd. 2021. A multidimensional approach to assessing the leverage factors of the sustainability of seaweed farming in coastal area of Parigi Moutong District, Indonesia. *Journal of Aquac. Fish Health* 10(3):271. doi:10.20473/jafh.v10i3.24281.
- Lasima W. 2022. Strategi penerapan akuakultur dengan pendekatan ekosistem pada komoditas udang windu di Kabupaten Pinrang Sulawesi Selatan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Pitcher TJ and Preikshot D. 2001. Rapfish: a rapid appraisal technique to evaluate the sustainability status of fisheries. *Fish. Res.* 49(3):255–270. doi:10.1016/S0165-7836(00)00205-8.
- Rimmer MA, Larson S, Lapong I, Purnomo AH, Pong-masak PR, Swanepoel L and Paul NA. 2021. Seaweed aquaculture in indonesia contributes to social and economic aspects of livelihoods and community wellbeing. *Sustain Switz* 13(19):1–22. doi:10.3390/su131910946.
- Saeed N, Nam H, Haq MIU and Muhammad Saqib DB. 2019. A survey on multidimensional scaling. *ACM Comput. Surv* 51(3):1–25. doi:10.1145/3178155.
- Soto D, Aguilar-Manjarrez J and Hishamunda N. 2008. Building an Ecosystem Approach To Aquaculture: FAO/Universitat De Les Illes Balears Expert Workshop 7-11

MAY 2007, PALMA DE MALLORCA, SPAIN. ROME: FAO. (FAO FISHERIES and aquaculture proceedings).

- Valenti WC, Kimpara JM, Preto BDL and Moraes-Valenti P. 2018. Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. *Ecol. Indic.* 88:402–413.doi:10.1016/j.ecolind.2017.12.068.
- Yusuf LOMI, Ismail A dan Nuva N. 2023. Evaluasi status keberlanjutan budidaya rumput laut di Kecamatan Pasikolaga Kabupaten Muna (Pendekatan Rapfish-Multi Dimensional Scaling). *J. Ilmu Lingkung.* 21(1):150–158.doi:10.14710/jil.21.1.150-158.

Strategi keberlanjutan kegiatan jasa pengolahan limbah medis melalui pendekatan SWOT

Strategy for a sustainable medical waste management service through a SWOT approach

Imaniar Septa Kencana Wuri^{1*}, Sri Setiawati Tumuyu¹, Suyud Warno Utomo¹

¹Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia

Abstrak.

Meningkatnya timbulan limbah medis pasca pandemi Covid-19, keterbatasan fasilitas pengolahan, serta pertumbuhan layanan kesehatan mendorong kebutuhan akan jasa pengelolaan limbah yang lebih terintegrasi dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak jasa pengolahan limbah medis terhadap kualitas udara dan keterlibatan masyarakat, serta merumuskan strategi keberlanjutannya. Metode *mixed-method* digunakan pengumpulan dan analisis data, sedangkan perumusan strategi dilakukan menggunakan analisis SWOT. Penelitian dilakukan di PT X, yaitu industri jasa pengolahan limbah medis di Kecamatan Polokarto, Kabupaten Sukoharjo, Provinsi Jawa Tengah. Hasil menunjukkan bahwa kualitas udara dari kegiatan pengolahan limbah medis telah memenuhi baku mutu. Namun, partisipasi masyarakat masih rendah dan program CSR belum berorientasi pada *community development*, sehingga manfaat jangka panjang belum optimal. Berdasarkan analisis SWOT, strategi yang direkomendasikan meliputi intervensi teknologi melalui substitusi bahan bakar ramah lingkungan, peningkatan inovasi CSR berbasis *community development*, serta pembangunan fasilitas penimbunan produk akhir berupa abu insinerasi.

Kata kunci: limbah medis, pengelolaan berkelanjutan, analisis SWOT, fasilitas kesehatan

Abstract.

The surge in medical waste generation following the Covid-19 pandemic, limited treatment facilities, and the expansion of healthcare services have driven the need for more integrated and sustainable waste management systems. This study aims to analyze the impact of medical waste treatment services on air quality and community involvement, as well as to formulate sustainability strategies. A mixed-method approach was used for data collection and analysis, while strategy formulation was conducted using SWOT analysis. Conducted at PT X, a medical waste management service industry located in Polokarto District, Sukoharjo Regency, Central Java Province. The study found that air quality from medical waste processing activities complied with quality standards. However, community participation remains low, and corporate social responsibility (CSR) programs are not yet oriented toward community development, resulting in suboptimal long-term benefits. The strategies needed based on the results of the SWOT analysis are technological intervention with environmentally friendly fuel substitution, enhancing CSR innovation towards community development, and building a landfill facility.

Keywords: medical waste, sustainable management, SWOT analysis, healthcare facilities

1. PENDAHULUAN

Pandemi COVID-19 memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan timbulan limbah medis serta kebutuhan akan sistem pengelolaan yang lebih baik agar tidak membahayakan manusia dan lingkungan. Pada tahun 2021, Ombudsman menyebutkan bahwa terdapat sekitar 138 juta ton limbah medis tidak dikelola dengan baik (Siswanti 2022). Permasalahan pengelolaan limbah medis itu sendiri juga dipengaruhi oleh terbatasnya jumlah fasilitas pengolahan limbah medis yang dimiliki oleh rumah sakit atau fasilitas pelayanan kesehatan lainnya (Listiningrum *et al.* 2021).

* Korespondensi Penulis
Email : imaniarsepta@gmail.com

Di Indonesia, sekitar 3.200 fasilitas pelayanan kesehatan menghasilkan limbah medis ± 38.300 ton per tahun pada 2021 dan jumlah ini diperkirakan terus meningkat (KLHK 2021). Namun, hingga 2024 hanya terdapat sekitar 14 perusahaan pengolah limbah medis berizin, sementara lebih dari 3.000 rumah sakit dan puluhan ribu fasilitas kesehatan lainnya menghasilkan limbah setiap hari (Kementerian Kesehatan 2024). Ketimpangan ini menunjukkan bahwa kapasitas pengolahan limbah medis nasional masih terbatas, sehingga berpotensi menyebabkan sebagian limbah tidak dikelola sesuai ketentuan. Akibatnya, banyak fasilitas kesehatan harus bekerja sama dengan pihak ketiga yang memiliki izin dari KLH dalam pengelolaan limbah B3 medis.

Sampah dari aktivitas domestik perkotaan yang ditimbun di tempat pemrosesan akhir (TPA) menjadi salah satu potensi terjadinya pencemaran terhadap lingkungan baik pencemaran air permukaan dan air tanah karena adanya lindi yang merupakan suatu permasalahan yang signifikan (Walid *et al.* 2020). Lindi atau *leachate* yang berasal dari kegiatan TPA sampah ini mengandung cemaran organik, anorganik, logam berat, dan bakteri yang akan masuk ke dalam tanah dan mencemari air tanah (Ningsih 2020). Hal ini sangat membahayakan karena air merupakan kebutuhan pokok manusia dengan fakta bahwa sepertiga populasi manusia (sekitar 2,2 miliar atau 31,5% populasi manusia) di muka bumi bergantung pada pemakaian air tanah dalam menunjang kehidupan sehari-hari (Murphy *et al.* 2017; Emenike *et al.* 2018; Shammi *et al.* 2019).

Dalam konteks tersebut, PT X sebagai perusahaan pengelola limbah medis menjalankan sistem pengelolaan terintegrasi untuk meminimalkan potensi pencemaran serta meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah B3 medis. Operasional PT X telah mengacu pada dokumen lingkungan yang dimiliki sebagai upaya meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan yang ditimbulkan. PT X secara konsisten melaporkan kinerja pengelolaan lingkungan sejak tahun 2018. Upaya tersebut juga tercermin dari pencapaian peringkat PROPER Hijau, yang menunjukkan komitmen perusahaan dalam menjaga kinerja lingkungan.

PT X telah melakukan upaya pengelolaan dampak sosial ekonomi bagi masyarakat sekitar melalui rekrutmen tenaga kerja lokal dan pelaksanaan program *Corporate Social Responsibility* (CSR), seperti pemeriksaan kesehatan masyarakat. Studi yang pernah dilakukan oleh Leal Filho *et al.* (2023) menyimpulkan bahwa kunci penyelesaian permasalahan limbah medis adalah tersedianya sistem pengelolaan limbah medis yang baik yang mampu mengendalikan faktor risiko terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan hidup. Selain kendala politik dan teknologi, partisipasi masyarakat juga menjadi tantangan penting dalam mewujudkan pengelolaan limbah medis yang berkelanjutan. Oleh karena itu, pendekatan pengelolaan yang terintegrasi menjadi kebutuhan utama dalam meningkatkan efektivitas sistem tersebut.

Sejalan dengan peningkatan timbulan limbah medis, keterbatasan kapasitas pengolahan limbah medis nasional, serta potensi dampak lingkungan dan sosial yang ditimbulkan, penelitian ini difokuskan pada keberlanjutan kegiatan jasa pengolahan limbah medis di PT X. Fokus kajian mencakup kondisi pengelolaan lingkungan hidup yang diterapkan PT X, khususnya kualitas udara dari kegiatan pengolahan limbah medis, pelaksanaan pengelolaan aspek sosial melalui keterlibatan masyarakat dan program CSR, serta analisis faktor internal dan eksternal yang memengaruhi keberlanjutan kegiatan.

Untuk mewujudkan kegiatan pengolahan limbah medis yang berkelanjutan, diperlukan pengelolaan lingkungan hidup yang optimal, khususnya kualitas udara di lokasi kegiatan pengolahan limbah medis, serta peningkatan keterlibatan masyarakat. Selain itu, pemenuhan persyaratan teknis dari sisi regulasi dan perizinan juga perlu diperhatikan agar tercapai keseimbangan antara manfaat yang didapat dan dampak yang ditimbulkan oleh kegiatan PT X, sehingga diharapkan PT X mampu menerapkan jasa pengolahan limbah medis yang berkelanjutan.

Penelitian ini menawarkan kebaruan melalui pendekatan yang menggabungkan aspek lingkungan, sosial, dan regulatif dalam merumuskan strategi keberlanjutan menggunakan analisis SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, dan Threats*). Berbeda dari studi sebelumnya yang umumnya berfokus pada pengelolaan limbah di tingkat fasilitas kesehatan, penelitian ini mengkaji peran perusahaan pengolah limbah medis (PT X) sebagai pihak ketiga dalam mewujudkan pengelolaan limbah medis yang berkelanjutan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di PT X, yaitu industri jasa pengolahan limbah medis yang berlokasi di Dusun Menjing, Desa Kayuapak, Kecamatan Polokarto, Kabupaten Sukoharjo, Provinsi Jawa Tengah. Lokasi kegiatan PT X berdiri pada lahan seluas 10.846 m². Pelaksanaan dan pengumpulan data dilakukan pada bulan Juni sampai November 2024.

2.2. Metode pengambilan data

Penelitian ini menggunakan teknik pengumpulan data yang terdiri dari observasi lapangan melalui penelitian langsung ke lokasi kegiatan PT X dan studi kepustakaan melalui pengumpulan data dari literatur yang berkaitan. Selanjutnya, instrumen pengumpulan data yang digunakan ialah dokumentasi, berupa sumber data yang diperoleh dari PT X, fasilitas pelayanan kesehatan pengguna jasa PT X, dan masyarakat di sekitar lokasi kegiatan PT X. Selanjutnya dilakukan wawancara berdasarkan pedoman wawancara yang merupakan instrumen yang digunakan pada saat penulis melakukan riset langsung. Wawancara akan dilakukan kepada narasumber dari PT X, RSUD Kota Semarang dan Sekretariat PROPER-KLHK. Kuesioner digunakan untuk memperoleh data pelibatan masyarakat Desa Polokarto dan Desa Kayuapak sebagai tenaga kerja dalam kegiatan PT X dan juga fasilitas pelayanan kesehatan pengguna jasa PT X untuk melihat peran PT X dalam efisiensi dan efektivitas pengelolaan limbah medis.

2.3. Metode pengolahan data

Analisis strategi pengelolaan lingkungan hidup PT X berdasarkan konsep keberlanjutan akan menggunakan metode analisis SWOT. Analisis SWOT mengidentifikasi faktor internal dan faktor eksternal yang berpengaruh terhadap suatu organisasi. Faktor internal terbagi dalam kekuatan (*strengths*) dan kelemahan (*weaknesses*) dalam organisasi, sementara faktor eksternal terdiri dari peluang (*opportunities*) dan ancaman (*threats*) yang berpengaruh terhadap organisasi. Setelah penentuan faktor-faktor internal dan eksternal tersebut maka selanjutnya dilakukan pemodelan untuk mendapatkan strategi yang paling sesuai (Rangkuti 2006).

Pembobotan dan penentuan *rating* masing-masing faktor ditentukan berdasarkan kuesioner yang disebar kepada responden. Pembobotan mengindikasikan sifat penting faktor, yaitu nilai 1 (sangat penting) dan 0 (tidak penting). Sementara nilai *rating* menunjukkan kondisi faktor, yaitu *rating* 1 (buruk) hingga *rating* 5 (sangat bagus) (Utsalina and Primandari 2020). Nilai total skor akan diperoleh dari perkalian bobot dan nilai yang dituangkan dalam matriks penilaian bobot *Internal Factor Analysis System* (IFAS) dan *External Factor Analysis System* (EFAS) sesuai dengan skema yang disajikan pada **Tabel 1**. Prioritas strategi selanjutnya dianalisis lebih lanjut dalam diagram Cartesius (Kuadran I, II, III dan IV) seperti yang disajikan pada **Gambar 1**.

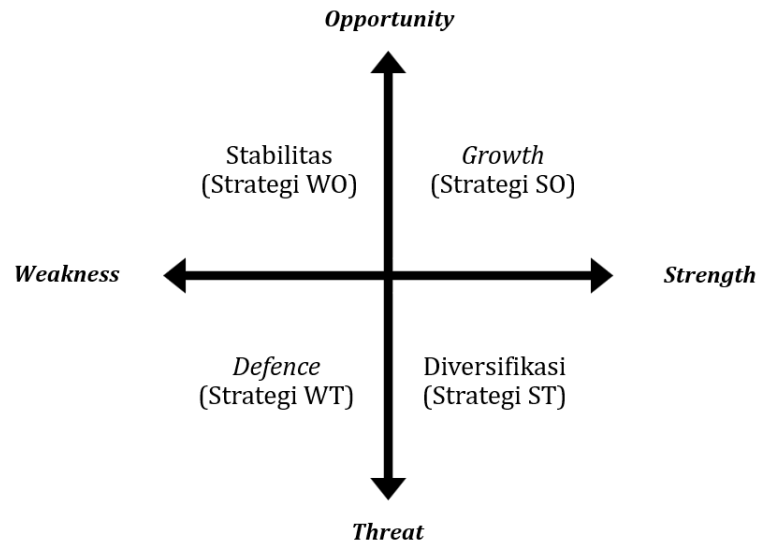
Tabel 1. *Internal Strategy Factor Analysis System* (IFAS).

No.	Faktor Internal	Bobot*	Rating	Skor (Bobot x Rating)
Kekuatan (<i>Strength</i>)				
1.	...	a	b	a x b
2.	...	a	b	a x b
dst...	...			
Total Kekuatan				
Kelemahan (<i>Weakness</i>)				
1.	...	a	b	a x b
2.	...	a	b	a x b
dst...	...			
Total Kelemahan				
TOTAL		1		...

Tabel 2. *External Strategy Factor Analysis System* (EFAS).

No.	Faktor Eksternal	Bobot*	Rating	Skor (Bobot x Rating)
Peluang (<i>Opportunities</i>)				
1.	...	a	b	a x b
2.	...	a	b	a x b
dst...	...			
Total Peluang				
Ancaman (<i>Threat</i>)				
1.	...	a	b	a x b
2.	...	a	b	a x b
dst...	...			
Total Ancaman				
TOTAL		1		...

*Bobot merupakan nilai proporsional tanpa satuan yang menunjukkan tingkat kepentingan relatif setiap faktor terhadap keseluruhan strategi. Nilai bobot ditetapkan dalam rentang 0,0–1,0 dengan total keseluruhan bobot sebesar 1,0.



Gambar 1. Diagram cartesius kuadran analisis SWOT.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Proses pengolahan limbah medis di PT X

Pengolahan limbah medis yang dilakukan PT X dengan cara insinerasi (pembakaran) dengan kapasitas pembakaran maksimal sebesar 1.170 kg/jam sesuai Persetujuan Teknis Pengelolaan Limbah B3 dari Kementerian Lingkungan Hidup. Fasilitas ini didukung oleh tiga unit insinerator, yaitu dua insinerator tipe *rotary kiln* masing-masing berkapasitas 270 kg/jam dan 450 kg/jam, serta satu insinerator tipe statis berkapasitas 450 kg/jam. Layanan pengolahan limbah medis yang dilakukan PT X mencakup seluruh tahapan, mulai dari pengangkutan limbah dari sumber atau fasilitas pelayanan kesehatan, proses pembakaran, hingga penyerahan abu hasil insinerasi kepada perusahaan pengelola *landfill* berizin.

3.2. Analisis SWOT

Perumusan strategi keberlanjutan dilakukan melalui pengumpulan data yang berasal dari kuesioner, wawancara dengan informan, serta observasi lapangan. Analisis SWOT digunakan untuk mengidentifikasi dan merumuskan faktor-faktor strategis, yang terdiri atas faktor internal (*Internal Strategic Factor Analysis Summary/IFAS*) meliputi kekuatan dan kelemahan, serta faktor eksternal (*External Strategic Factor Analysis Summary/EFAS*) yang mencakup peluang dan ancaman. Hasil identifikasi faktor-faktor tersebut selanjutnya dirangkum dalam matriks analisis SWOT yang disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Matriks identifikasi faktor analisis SWOT.

Kekuatan (<i>Strength</i>)	Kelemahan (<i>Weakness</i>)
1. Perusahaan pengolahan limbah medis yang mendapatkan penghargaan lingkungan (S1)	1. Penggunaan bahan bakar solar belum ramah lingkungan (W1)
2. Perusahaan pengolahan limbah medis satu-satunya di regional Provinsi Jawa Tengah (S2)	2. CSR yang dilakukan oleh perusahaan belum bersifat bina lingkungan/menjangkau <i>community development</i> (W2)
3. Pemantauan kualitas udara dari kegiatan PT X memenuhi baku mutu (S3)	3. Pengelolaan limbah B3 belum bersifat terpadu (belum ada fasilitas penimbunan hasil akhir proses insinerasi) (W3)
Peluang (<i>Opportunity</i>)	Ancaman (<i>Threats</i>)
1. Limbah medis milik fasilitas pelayanan kesehatan terkelola dengan baik (O1)	1. Potensi kecelakaan kerja dan ceceran limbah medis selama perjalanan dari lokasi fasilitas pelayanan kesehatan menuju PT X (T1)
2. Masyarakat sekitar mendapatkan lapangan pekerjaan (O2)	2. Masyarakat belum mendapatkan manfaat CSR yang berkelanjutan (T2)
3. Peningkatan kesadaran lingkungan masyarakat sekitar (O3)	3. Kekhawatiran masyarakat terhadap pencemaran kualitas udara berupa kabauan dan penurunan kesehatan masyarakat (T3)

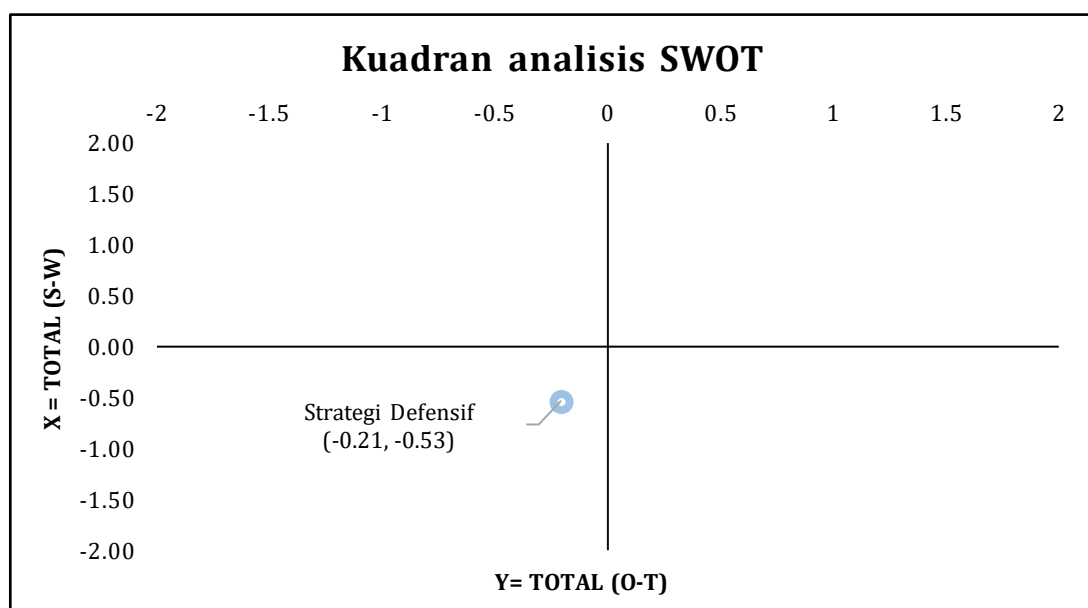
Pembobotan faktor internal dan eksternal melalui pengisian kuesioner SWOT oleh informan penelitian yang sudah ditetapkan. Pemberian bobot masing-masing faktor bertujuan untuk menentukan arah strategi yang akan dilakukan oleh PT X dalam melakukan pengolahan limbah medis. Nilai bobot yang telah diisi oleh responden selanjutnya akan dikalikan dengan nilai peringkat, sehingga didapatkan nilai total pada masing-masing faktor penentu. Hasil pembobotan analisis SWOT untuk menentukan strategi pada penelitian ini dapat ditinjau pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil pembobotan faktor pada analisis SWOT.

No	Faktor	Bobot	Rating	Total
<i>Strength</i>				
S1	Perusahaan pengolahan limbah medis yang mendapatkan penghargaan lingkungan	0,14	3,00	0,43
S2	Perusahaan pengolahan limbah medis satu-satunya di regional Provinsi Jawa Tengah	0,15	3,20	0,49
S3	Pemantauan kualitas udara dari kegiatan PT X memenuhi baku mutu	0,17	3,60	0,62
TOTAL				1,53
<i>Weakness</i>				
W1	Penggunaan bahan bakar solar belum ramah lingkungan	0,19	4,00	0,76
W2	CSR yang dilakukan oleh perusahaan belum bersifat bina lingkungan/menjangkau <i>community development</i>	0,16	3,40	0,55
W3	Pengelolaan limbah B3 belum bersifat terpadu (belum ada fasilitas penimbunan hasil akhir proses insinerasi)	0,14	3,00	0,43
TOTAL				1,74

No	Faktor	Bobot	Rating	Total
Opportunities				
01	Limbah medis milik fasilitas pelayanan kesehatan terkelola dengan baik	0,18	3,60	0,65
02	Masyarakat sekitar mendapatkan lapangan pekerjaan	0,10	2,00	0,20
03	Peningkatan kesadaran lingkungan masyarakat sekitar	0,11	2,20	0,24
TOTAL				1,09
Threats				
T1	Potensi kecelakaan kerja dan ceceran limbah medis selama perjalanan dari lokasi fasilitas pelayanan kesehatan menuju PT X	0,15	3,00	0,45
T2	Masyarakat belum mendapatkan manfaat CSR yang berkelanjutan	0,15	3,00	0,45
T3	Kekhawatiran masyarakat terhadap pencemaran kualitas udara berupa kebauan dan penurunan kesehatan masyarakat	0,19	3,80	0,72
TOTAL				1,62

Setelah dilakukan pembobotan faktor internal dan eksternal, maka letak posisi kuadran pada diagram SWOT dapat diketahui, sehingga strategi yang dilakukan oleh PT X untuk keberlanjutan pengolahan limbah medis dapat ditentukan. Perhitungan posisi kuadran dilakukan dengan mengetahui posisi absis x dengan menghitung selisih total pembobotan faktor internal, yaitu 1,53-1,74, sehingga didapatkan sebesar -0,21. Adapun posisi absis y dilakukan dengan menghitung selisih pada total pembobotan faktor eksternal, yaitu antara peluang dan ancaman, yaitu 1,09-1,62 sehingga didapatkan sebesar -0,53. Dari kedua perhitungan selisih, didapatkan titik absis antara x dan y pada kuadran IV, sebagaimana pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Kuadran hasil analisis SWOT.

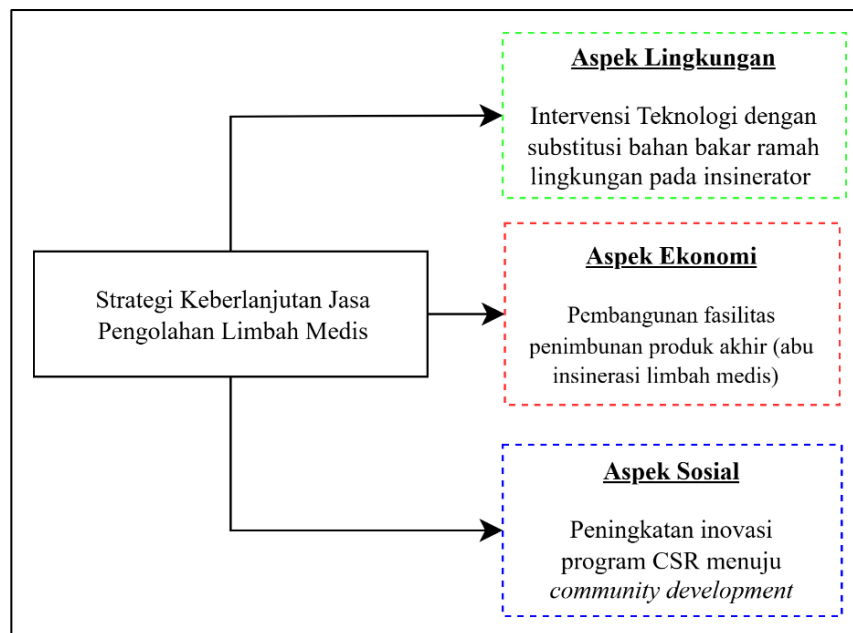
3.3. Strategi keberlanjutan kegiatan pengolahan limbah medis

Berdasarkan penentuan absis, didapatkan posisi kuadran analisis SWOT pada penelitian ini adalah pada kuadran IV, yaitu strategi *defensive* atau bertahan, yaitu strategi W-T. Hal tersebut menunjukkan bahwa dalam mendukung keberlanjutan PT X, maka diperlukan strategi yang dapat mengatasi kelemahan dari sisi internal dan adanya ancaman dari sisi eksternal. Pada **Tabel 5**, disajikan hasil perumusan strategi dari faktor kelemahan dan ancaman berdasarkan perhitungan kuadran dari hasil pembobotan pada analisis SWOT.

Tabel 5. Strategi hasil analisis SWOT.

		Kelemahan (<i>Weakness</i>)
		1. Penggunaan bahan bakar solar belum ramah lingkungan (W1) 2. CSR yang dilakukan oleh perusahaan belum bersifat bina lingkungan/menjangkau <i>community development</i> (W2) 3. Pengelolaan limbah B3 belum bersifat terpadu (belum ada fasilitas penimbunan hasil akhir proses insinerasi) (W3)
Ancaman (<i>Threat</i>)	Strategi W-T	
1. Potensi kecelakaan kerja dan ceceran limbah medis selama perjalanan dari lokasi fasilitas pelayanan kesehatan menuju PT X (T1) 2. Masyarakat belum mendapatkan manfaat CSR yang berkelanjutan (T2) 3. Kekhawatiran masyarakat terhadap pencemaran kualitas udara berupa kebauan dan penurunan kesehatan masyarakat (T3)	1. Intervensi teknologi dengan substitusi bahan bakar ramah lingkungan pada insinerator 2. Peningkatan inovasi program CSR menuju <i>community development</i> 3. Pembangunan fasilitas penimbunan produk akhir (abu insinerasi limbah medis)	

Pada hasil penelitian ini, menunjukkan bahwa pengelolaan limbah medis pada sisi jasa pengelolaan limbah medis masih menghadapi tantangan untuk mencapai keberlanjutan. Strategi dalam menangani tantangan tersebut didapatkan melalui analisis SWOT yang dirumuskan dari faktor-faktor *Weakness* (W) dan *Threat* (T), sehingga dirumuskan dalam tiga bentuk strategi. Bentuk strategi yang digunakan untuk menjawab tantangan dari kegiatan jasa pengolahan limbah medis ditinjau dalam 3 aspek keberlanjutan, yaitu dari sisi lingkungan, ekonomi, dan sosial. Adapun strategi berdasarkan hasil analisis SWOT pada penelitian ini disajikan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Skema strategi keberlanjutan jasa pengolahan limbah medis.

Strategi pertama berkaitan dengan pengendalian kualitas udara dari proses pengolahan limbah medis. Saat ini, operasional insinerator di PT X masih menggunakan bahan bakar solar yang tergolong tidak ramah lingkungan karena berasal dari energi fosil tidak terbarukan (Hidayat *et al.* 2017). Penggunaan solar menghasilkan emisi polutan udara yang signifikan, dengan sekitar 70% didominasi oleh senyawa CO yang sulit terurai seperti CO₂ dan berpotensi menimbulkan efek karsinogenik. Selain itu, emisi hidrokarbon (HC) mencapai 89% dan oksida nitrogen (NO_x) sebesar 73%, serta mengandung partikulat lain seperti timbal, sulfur oksida (SO₂), dan debu yang berkontribusi terhadap pembentukan gas rumah kaca (Odubo and Kosoe 2024; Razek *et al.* 2025).

Strategi kedua berfokus pada aspek sosial, khususnya penguatan program *Corporate Social Responsibility* (CSR). Selama ini, CSR yang dilakukan PT X meliputi perekrutan tenaga kerja lokal, bantuan vaksinasi COVID-19, pembagian sembako, dan penyediaan tempat sampah di sekolah. Program tersebut belum sepenuhnya mengarah pada konsep keberlanjutan yang menekankan pemberdayaan masyarakat (*community development*). Padahal, CSR yang berkelanjutan seharusnya mempertimbangkan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi secara terpadu serta berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat (Sauvé *et al.* 2016; Pouresmaieli *et al.* 2024). Selain itu, CSR juga berperan sebagai instrumen manajemen risiko sosial dan pembentuk citra positif perusahaan (Sumardjo *et al.* 2014).

Strategi ketiga dirumuskan dengan mengacu pada teori pengelolaan limbah berkelanjutan. Kegiatan PT X menghasilkan abu sisa pembakaran limbah medis, saat ini abu tersebut diserahkan ke pihak lain yang memiliki fasilitas penimbunan limbah B3, sehingga kondisi belum terpadunya pengelolaan limbah yang dilakukan PT X belum sesuai dengan teori pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Menurut Dotoli and Epicoco (2017) dan Prasetiawan (2020), serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.56/Menlhk-Setjen/2015 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun dari Fasilitas Pelayanan Kesehatan, bahwa pengelolaan limbah berkelanjutan meliputi pengurangan dan pemilahan, penyimpanan, pengangkutan, pengolahan, penguburan dan penimbunan limbah B3. Oleh karena itu, strategi pembangunan fasilitas penimbunan produk akhir (abu insinerasi limbah medis) perlu diteliti lebih lanjut kelayakannya mengingat investasi yang dibutuhkan cukup besar. Pembahasan ini berlandaskan pada konsep ekonomi lingkungan, yang menekankan keseimbangan antara efisiensi pemanfaatan sumber daya dan upaya perlindungan lingkungan untuk mendukung keberlanjutan sistem pengelolaan limbah medis.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyoroti aspek kualitas udara, keterlibatan masyarakat, serta pemenuhan regulasi dan perizinan dalam upaya mewujudkan kegiatan pengolahan limbah medis yang berkelanjutan di PT X. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, diketahui bahwa kualitas udara di sekitar kegiatan pengolahan limbah medis PT X masih berada dalam ambang baku mutu yang ditetapkan, sehingga kegiatan insinerasi dinilai telah memenuhi standar lingkungan. Keterlibatan masyarakat dalam kegiatan pengolahan limbah medis masih perlu ditingkatkan, baik melalui pemberdayaan tenaga kerja lokal maupun pengembangan program tanggung jawab sosial perusahaan (CSR) yang bersifat *community development*. Strategi keberlanjutan jasa pengolahan limbah medis PT X difokuskan pada intervensi teknologi dengan substitusi bahan bakar ramah lingkungan pada insinator, peningkatan inovasi program CSR menuju *community development*, serta pembangunan fasilitas penimbunan produk akhir berupa abu insinerasi limbah medis.

Adapun saran pada penelitian ini terdiri dari penyedia jasa pengolahan limbah medis perlu memperhatikan konsep berkelanjutan dalam kegiatannya, baik dari penggunaan bahan bakar, program CSR, hingga pengelolaan sisa produk dari pengolahannya. Saran untuk pihak fasilitas pelayanan kesehatan sebagai pihak penghasil limbah medis adalah perlu dipertimbangkan pengelolaan limbah medis dengan konsep pengurangan jumlah limbah di sumber.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Dotoli M and Epicoco N. 2017. A vehicle routing technique for hazardous waste collection. *IFAC-PapersOnLine* 50(1):9694–9699. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2051>.
- Emenike PC, Nnaji CC and Tenebe IT. 2018. Assessment of geospatial and hydrochemical interactions of groundwater quality, southwestern Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment* 190(440). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6799-8>.
- Hidayat R, Zuraidah Z, Fadil J, Firdaus M, Mursalin M, Ridwan M dan Rizki M. 2017. Modul pembangkit listrik tenaga surya untuk aplikasi beban rendah (600 W). *INTEKNA Jurnal Informasi Teknik dan Niaga* 17(1):29–36. <https://doi.org/10.31961/intekna.v17i1.490>.
- [KemenKes] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2024. Data fasilitas pelayanan kesehatan Indonesia (rumah sakit, puskesmas, dan klinik). Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan. Jakarta.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. Laporan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (limbah B3) nasional. Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah, dan B3. Jakarta.
- Leal Filho W, Lisovska T, Fedoruk M and Taser D. 2023. Medical waste management and the UN sustainable development goals in Ukraine: An assessment of solutions to support post-war recovery efforts. *Environmental Challenges* 13:100763. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100763>.
- Listiningrum P, Firdaus RS, Annamalia Q dan Mayarana A. 2021. Optimasi regulasi, fasilitas, dan public awareness penanganan limbah infeksius di masa pandemi COVID-19. *Jurnal Dedikasi Hukum* 1(3):202–219. <https://doi.org/10.22219/jdh.v1i3.17631>.

- Murphy H, Prioleau M, Borchardt M and Hynds P. 2017. Epidemiological evidence of groundwater contribution to global enteric disease, 1948–2015. *Hydrogeology Journal* 25. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1543-y>.
- Ningsih RO, Leo MNZ dan Maru R. 2020. Indeks kualitas air tanah di sekitar tempat pembuangan akhir (TPA) Antang Kota Makassar. *Jurnal Environmental Science* 2(2):156. <https://doi.org/10.35580/jes.v2i2.13372>.
- Odubo TC and Kosoe EA. 2024. Sources of air pollutants: Impacts and solutions. In: *Air pollutants in the context of one health. The Handbook of Environmental Chemistry* 134. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/698_2024_1127.
- [PerMenLHK] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2015. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.56/Menlhk-Setjen/2015 tentang tata cara dan persyaratan teknis pengelolaan limbah B3 dari fasilitas pelayanan kesehatan.
- Pouresmaeli M, Ataei M, Nouri Qarahasanlou A and Barabadi A. 2024. Corporate social responsibility in complex systems based on sustainable development. *Resources Policy* 90:104818. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104818>.
- Prasetyawan T. 2020. Permasalahan limbah medis. KS Puslit BKD. Jakarta.
- Rangkuti F. 2006. Analisis SWOT: Teknik membedah kasus bisnis. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Razek MEA, Nasr GE, Baiomy MA, Taieb AZ and Refai M. 2025. Exhaust emissions gases effects on environmental pollution and processing technologies. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 10(1):361–376.
- Sauvé S, Bernard S and Sloan P. 2016. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development* 17:48–56. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>.
- Shammi M, Rahman MM, Bondad SE and Bodrud-Doza M. 2019. Impacts of salinity intrusion in community health: A review of experiences on drinking water sodium from coastal areas of Bangladesh. *Healthcare* 7(1):50. <https://doi.org/10.3390/healthcare7010050>.

- Siswanti RE. 2022. Tanggung gugat rumah sakit atas pelanggaran dalam pengelolaan limbah medis B3 yang dikerjasamakan dengan pihak lain. *Jurnal Hukum dan Etika Kesehatan* 2:147–159. <https://doi.org/10.30649/jhek.v2i2.56>.
- Sumardjo, Firmansyah A, Dharmawan L dan Wulandari YP. 2014. Implementasi program pengembangan masyarakat: Inovasi pemberdayaan masyarakat PT Pertamina EP Asset 3 Subang Field 1(1). CARE IPB. Bogor.
- Walid A, Kusumah RGT, Putra EP, Herlina W dan Suciarti P. 2020. Pengaruh keberadaan TPA terhadap kualitas air bersih di wilayah pemukiman warga sekitar: Studi literatur. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi* 20(3):1075–1078. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v20i3.1025>.

Studi evaluatif ketersediaan dan kualitas ruang terbuka hijau di kawasan Kecamatan Jatinegara

An evaluative study on the availability and quality of green open space in the Jatinegara District area

Hakim¹, Tri Endangsih^{1*}, Rismawandi²

¹Program Studi Arsitektur, Universitas Budi Luhur, Jakarta, Indonesia

²Program Studi Akuntansi, Universitas Budi Luhur, Jakarta, Indonesia

Abstrak.

Kawasan sekitar Stasiun Jatinegara telah bertransformasi menjadi pusat komersial yang mendorong perluasan permukiman menjadi sangat padat. Kondisi ini membatasi ketersediaan amenities dan infrastruktur, terutama ruang terbuka hijau (RTH) akibat tingginya intensitas kegiatan usaha yang memicu alih fungsi lahan menjadi kawasan terbangun. Penelitian ini bertujuan mengkaji kondisi RTH terkini di kawasan Stasiun Jatinegara dan membandingkannya dengan standar Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/M/PRT/2008 guna memberikan rekomendasi perancangan RTH di wilayah studi. Metode penelitian yang digunakan adalah teknik analisis deskriptif kuantitatif. Kebutuhan RTH ditentukan berdasarkan rasio standar 30% dari total luas lahan, standar kebutuhan 20 meter persegi per orang, serta metode hierarki berdasarkan kemampuan penyerapan oksigen. Tahap analisis meliputi pengenalan karakteristik RTH, penilaian aksesibilitas, bentuk, hingga jenisnya. Temuan penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan RTH berdasarkan populasi dan oksigen sudah tercukupi dengan persentase 20,78% dari luas total area TOD. Namun, secara regulasi hasil tersebut belum memenuhi standar minimal 30% dari luas kawasan, dengan rincian 20% untuk RTH publik dan 10% untuk RTH privat. Oleh karena itu, diperlukan penambahan luas RTH melalui inisiatif pengembangan dan pengelolaan yang menekankan pada penggunaan tanaman penyerap karbon dioksida.

Abstract.

The area surrounding Jatinegara Station has transformed into a commercial zone, driving the expansion of surrounding settlements into densely populated areas. This condition limits the availability of amenities and infrastructure, particularly Green Open Space (GOS), as increasing business intensity drives the transformation of GOS into built-up areas. This study aims to assess the current condition of GOS in the Jatinegara Station area and compare it with the standards stipulated in the Minister of Public Works Regulation Number 05/M/PRT/2008. The method used in this study is a quantitative descriptive analysis technique. GOS requirements are determined based on a standard ratio of 30% of total land area, a standard requirement of 20 square meters per person, and a hierarchical method based on oxygen absorption capacity. The analysis stages involve identifying GOS characteristics, followed by assessments of accessibility, shape, and type. Research findings indicate that while GOS needs based on population and oxygen have been met at 20.78% of the total TOD area, this remains below the regulatory standard of 30%, which requires 20% public and 10% private GOS. Therefore, increasing the GOS area through development and management initiatives that emphasize carbon dioxide-absorbing plants is necessary.

Keywords: Population, gerarchy, area, O₂, green open space

Kata kunci: Jumlah penduduk, gerarkis, luas wilayah, O₂, ruang terbuka hijau

1. PENDAHULUAN

Dinamika urbanisasi yang saat ini terjadi di berbagai kota besar di Indonesia cenderung mengarah pada perluasan wilayah perkotaan, yang mengakibatkan perjalanan semakin jauh dan waktu tempuh semakin panjang. Fenomena ini dialami oleh Kota Jakarta sebagai Kota Metropolitan sekaligus kota satelit yang saat ini sedang dalam proses menjadi Kota Megapolitan.

* Korespondensi Penulis
Email : tri.endangsih@budiluhur.ac.id

Perkembangan tersebut menimbulkan permasalahan lingkungan yang kompleks, salah satunya adalah pencemaran udara sebagai akibat dari penggunaan kendaraan bermotor sebagai sarana transportasi utama, baik untuk bekerja, belajar, maupun berbelanja. Selain itu, banyak penduduk yang tinggal di wilayah penyangga (sub urban) namun beraktivitas di Jakarta, sehingga memperkuat kebutuhan akan sistem transportasi terintegrasi di kawasan Jabodetabek.

Pada tahun 2024, jumlah penduduk DKI Jakarta meningkat 9,9% dari tahun 2023 yang mencapai 10,56 juta jiwa. Pertumbuhan ini meningkatkan kebutuhan terhadap sarana dan prasarana perkotaan. Selain itu, pertumbuhan populasi yang pesat menyebabkan masalah lingkungan kota, misalnya perubahan struktur infrastruktur yang memengaruhi bentuk fisik dan sosial perkotaan (Komeily and Srinivasan 2015). Permasalahan ekologi yang timbul meliputi pencemaran udara, kemacetan lalu lintas, kesehatan masyarakat, dan keselamatan (Trepici *et al.* 2019).

Perencanaan penggunaan lahan dianggap sangat berperan untuk meminimalkan masalah pemenuhan kebutuhan lahan di daerah perkotaan, melalui kawasan yang dikembangkan berbasis pada angkutan umum yang terintegrasi (Chen *et al.* 2014; Ma *et al.* 2018). Pembangunan yang berfokus pada transportasi adalah suatu ide yang menggabungkan penggunaan tanah dan jenis moda transportasi umum, sehingga konsep ini bisa menjadi saran dalam usaha mengembangkan wilayah kota berkelanjutan (Trepici *et al.* 2019; Li and Huang 2020). Penerapan konsep pembangunan berorientasi transit (*Transit Oriented Development / TOD*) pada pembangunan kawasan perkotaan memberikan berbagai manfaat seperti menurunnya angka kemacetan, berkurangnya polusi udara, meningkatnya efisiensi energi dan mengoptimalkan penggunaan lahan di wilayah perkotaan (Poiani and Stead 2014). Selain itu, konsep TOD berpotensi meningkatkan penyediaan RTH serta mendorong perubahan perilaku masyarakat menuju mobilitas aktif, seperti berjalan kaki dan bersepeda (Hasibuan *et al.* 2014; Vale 2015). Hal ini disebabkan oleh kawasan pembangunan berbasis transit yang mengikuti prinsip kepadatan, keragaman, desain, jarak, dan jenis transportasi publik (Jeffrey *et al.* 2019).

Sejumlah penelitian telah mengkaji pengembangan TOD di berbagai wilayah. Hasibuan *et al.* (2018) menekankan pentingnya kapasitas lingkungan dan penggunaan lahan di DKI Jakarta, sementara Handayani (2014) menyoroti peran TOD dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, Sulistyaningrum (2018) meneliti indeks pembangunan berbasis transit di Depok. Namun demikian, kajian yang mengintegrasikan aspek lingkungan binaan, khususnya penyediaan RTH dalam kawasan TOD, masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mempertimbangkan kebutuhan luas RTH berdasarkan jumlah penduduk dan kebutuhan oksigen.

RTH adalah elemen dalam kota yang berperan dalam membangun suasana nyaman dari segi penampilan (Fandeli *et al.* 2004). RTH di kota bisa berupa taman kota, area hutan, atau lokasi untuk rekreasi dan olahraga. Perencanaan RTH sangat bergantung pada pemilihan jenis vegetasi yang ada di dalamnya. Walaupun begitu, RTH juga perlu memenuhi aspek perekonomian, sosial dan budaya, serta aspek keindahan (Samsudi 2010). RTH akan memengaruhi perkembangan dan perencanaan sebuah kota, karena fungsi utama RTH untuk menjamin rasa nyaman dan keberlanjutan kota. Jika RTH tidak terkendali, maka jumlah RTH akan berkurang dan akan terjadi ketidakseimbangan lingkungan. Luas RTH akan berkurang setiap tahunnya, hal ini disebabkan oleh perubahan fungsi lahan terbuka yang sebelumnya berubah menjadi perkotaan. Kawasan pengembangan infrastruktur seperti gedung, jalan tol, industri, dan perumahan. Oleh karena itu, pengembangan RTH merupakan kewajiban setiap kota karena berperan sebagai tempat bermain/hiburan, bersosialisasi, dan memiliki peran ekologis seperti menyerap air hujan, menyerap polusi udara, menyeleksi ekosistem, dan mengendalikan banjir. Karena itu, RTH adalah elemen krusial dalam perencanaan dan pengembangan kota.

Luas wilayah penelitian 153,86 ha dengan kondisi yang telah tertutupi bangunan dengan luas 139,10 ha atau $\pm 90\%$ dari luas kawasan penelitian. Luas ruang terbuka hijau $\pm 14,76$ ha luas atau $9,5\%$ dari luas kawasan. Ruang terbuka hijau yang sudah adapun tidak seluruhnya dapat diakses oleh masyarakat. Berdasarkan informasi tersebut, area terbuka hijau di lokasi penelitian hanya mencapai 14,20 ha atau $9,22\%$. Artinya, RTH di area perencanaan masih belum mencukupi karena belum mencapai 30% .

Berdasarkan hal tersebut, diperlukan adanya rekomendasi yang bisa mendorong pemerintah daerah untuk menyediakan rencana RTH minimal 30%. Sistem ruang terbuka yang berada di kawasan Stasiun Jatinegara terdiri atas dua jenis yakni; sistem ruang terbuka umum dan jalur hijau. Ruang terbuka di kawasan penelitian sangat minim, luas ruang terbuka hijau dibandingkan dengan luas Jatinegara $\pm 8\%$. Luas tersebut masih jauh dari standar minimal ruang terbuka yang harus tersedia yaitu 20-30% dari luas total kawasan.

Penelitian ini dilaksanakan untuk menganalisis RTH di lokasi penelitian saat ini, serta membandingkannya dengan kriteria yang diperlukan untuk memenuhi total kebutuhan O_2 di area berorientasi transit DKI Jakarta. Analisis dalam penelitian ini berdasarkan variabel penelitian yang dipakai oleh Strong *et al.* (2017), yaitu 13 elemen keberhasilan pengembangan kawasan yang berfokus pada. Namun, variabel yang digunakan untuk analisis dibatasi pada variabel perancangan kota yang relevan pada kasus kawasan berbasis transit yaitu RTH. RTH memainkan peran krusial dalam elemen daerah berbasis transit sebagai fasilitas umum untuk menciptakan area untuk masyarakat saling berinteraksi. Selain itu RTH berfungsi sebagai konservasi lahan untuk menciptakan kawasan kota yang ramah lingkungan (Hasibuan *et al.* 2014; Kamruzzaman *et al.* 2014; Liu *et al.* 2018).

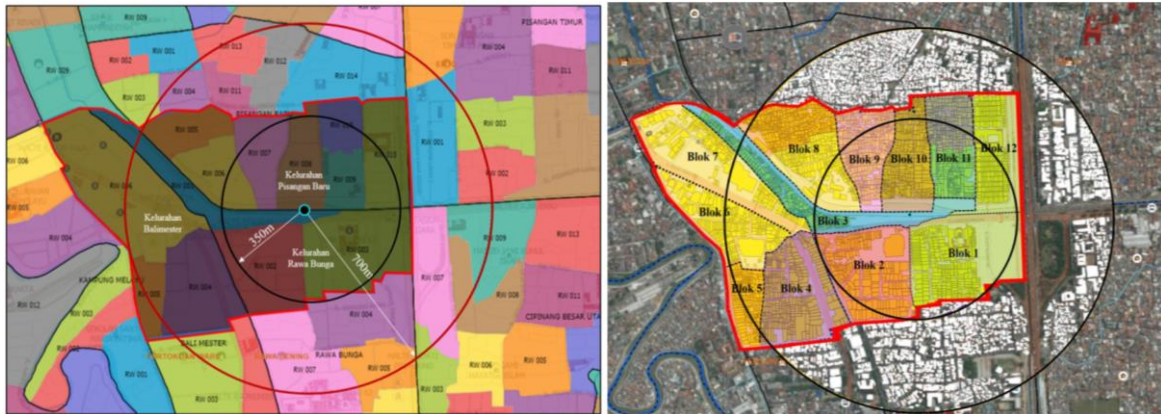
Penelitian ini diharapkan dapat berfungsi sebagai acuan dan perbandingan dalam menilai kebutuhan RTH, khususnya untuk wilayah kota yang menghadapi kesamaan isu masalah lingkungan. Penelitian ini juga diharapkan dapat dijadikan referensi untuk masyarakat umum tentang kebutuhan luasan RTH agar bisa menjadi pedoman dalam penanganan isu lingkungan di area Stasiun Jatinegara akibat perkembangan kota yang pesat. Temuan dari dapat menjadi acuan bagi Pemda Jakarta Timur dalam menentukan ukuran dan lokasi RTH yang dapat dikembangkan di area perkotaan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Pelaksanaan penelitian ini berlokasi di area transit Stasiun Jatinegara, Jakarta Timur. Area transit Stasiun Jatinegara merupakan salah satu area yang terletak di area potensial, antara lain; pusat perdagangan Jakarta Timur, yaitu Pasar Induk Jatinegara (Pasar Mester), pusat perdagangan batu akik, pasar hewan, dan lain-lain.

Area di sekitar lokasi transit Stasiun Jatinegara dalam RTRW DKI Jakarta 2030 direncanakan menjadi area sekunder untuk kegiatan perkantoran, perdagangan, dan jasa. Waktu penelitian dilaksanakan dari bulan September hingga Desember 2024. Delineasi lokus penelitian adalah pada *walkable distance* atau radius 700m (Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta 2017) dari titik simpul stasiun. Luas dalam radius kawasan transit sebesar 1.538.600 m² atau 153,86 ha. Delineasi kawasan lokus penelitian dibatasi dengan garis warna merah dalam **Gambar 1**.



Gambar 1. Delineasi kawasan penelitian.

Penelitian ini menerapkan metode studi lapangan untuk mengamati kondisi eksisting di wilayah studi dengan dukungan analisis kuantitatif. Pendekatan yang digunakan dalam pengumpulan data adalah metode kombinasi yang mengintegrasikan data kuantitatif dan kualitatif guna menghasilkan analisis yang komprehensif. Adapun teknik pengumpulan data dilakukan melalui dua tahapan, yaitu 1) studi dokumen atau pengumpulan data sekunder; dan 2) observasi lapangan.

Tahap pertama, dilakukan studi dokumen atau pengumpulan data sekunder untuk memperoleh gambaran awal mengenai kondisi dan perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kecamatan Jatinegara. Dokumen-dokumen yang dikaji meliputi Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dan Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) Kecamatan Jatinegara, peta administrasi, peta tata guna lahan, serta peta sebaran RTH. Selain itu, tinjauan terhadap regulasi menjadi dasar hukum penelitian, mencakup Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan, serta Peraturan Gubernur (Pergub) Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 44 Tahun 2017 tentang Pengembangan Kawasan *Transit Oriented Development* (TOD).

Tahap kedua, dilaksanakan observasi lapangan untuk melakukan survei langsung terhadap kondisi eksisting RTH di wilayah Kecamatan Jatinegara. Observasi ini difokuskan pada berbagai bentuk RTH, meliputi taman kota, taman lingkungan, jalur hijau, area sempadan sungai, serta elemen hijau lainnya. Tahapan ini bertujuan untuk memvalidasi data sekunder dengan realitas fisik di lapangan guna memastikan akurasi hasil analisis penelitian. Metode Gerarkis digunakan untuk menghitung kebutuhan RTH berdasarkan kebutuhan oksigen dengan mempertimbangkan jumlah populasi dan luas area penelitian. Luas area RTH dapat dihitung berdasarkan standar perencanaan RTH perkotaan yaitu 30% dari total luas wilayah penelitian.

2.2. Analisis data

Analisis perhitungan kebutuhan RTH berdasarkan atas tiga variabel, yaitu: 1) luas area penelitian; 2) jumlah populasi; dan 3) kebutuhan O₂ (Sinambela 2020; Adawiyah *et al.* 2021). Perhitungan kebutuhan RTH untuk luas area dan jumlah populasi dihitung berdasarkan pada UU tentang Tata Ruang Nomor 26 Tahun 2007, dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/M/PRT/2008. Penghitungan luas area RTH berdasarkan pada kebutuhan oksigen manusia dengan mempertimbangkan jenis kendaraan, jumlah populasi, dan standar konsumsi oksigen. Untuk perhitungan kebutuhan RTH berdasarkan kebutuhan oksigen dihitung menggunakan metode Gerarkis (Padmawati and Nuarsa 2021; Fahreza *et al.* 2022; Pawiro *et al.* 2024) yang disajikan pada **Persamaan 1**. Perhitungan tersebut didasarkan pada total penduduk dan total kendaraan bermotor.

$$Lt = \frac{Pt+Kt}{(54) \times (0,9375)} m^2 \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

Lt = luas RTH tahun t (m²)

Pt = jumlah kebutuhan oksigen untuk penduduk tahun t (kg/hari)

Kt = jumlah kebutuhan oksigen untuk kendaraan bermotor tahun t (kg/hari)

54 = Konstanta; produksi berat kering tanaman (g/hari/m²)

0,9375 = Konstanta; menunjukkan bahwa 1 m² tanaman kering menghasilkan 0.9375 gram oksigen

Standar kebutuhan oksigen ditetapkan untuk mengetahui jumlah O₂ yang diperlukan serta karbon dioksida yang dihasilkan, sehingga dapat meningkatkan rasa nyaman bagi masyarakat. Standar kebutuhan oksigen dan klasifikasi kendaraan disajikan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1. Ketentuan kebutuhan O₂ dan pemakaian bahan bakar.

Konsumsi O ₂ /hari untuk manusia		840 (gram/hari)
Rata-rata pemakaian bahan bakar (kg/PS jam)	Bensin	0.21
	Diesel	0.16
Kebutuhan oksigen tiap 1 kg bahan bakar	Bensin	2.77
	Diesel	2.86

Tabel 2. Klasifikasi dan daya minimal kendaraan.

Klasifikasi	Daya minimal (PS)
Sepeda motor	1
Mobil	20
Kendaraan truk	50
Kendaraan bus	100

Sumber: Permen PU No: 05/PRT/M/2008

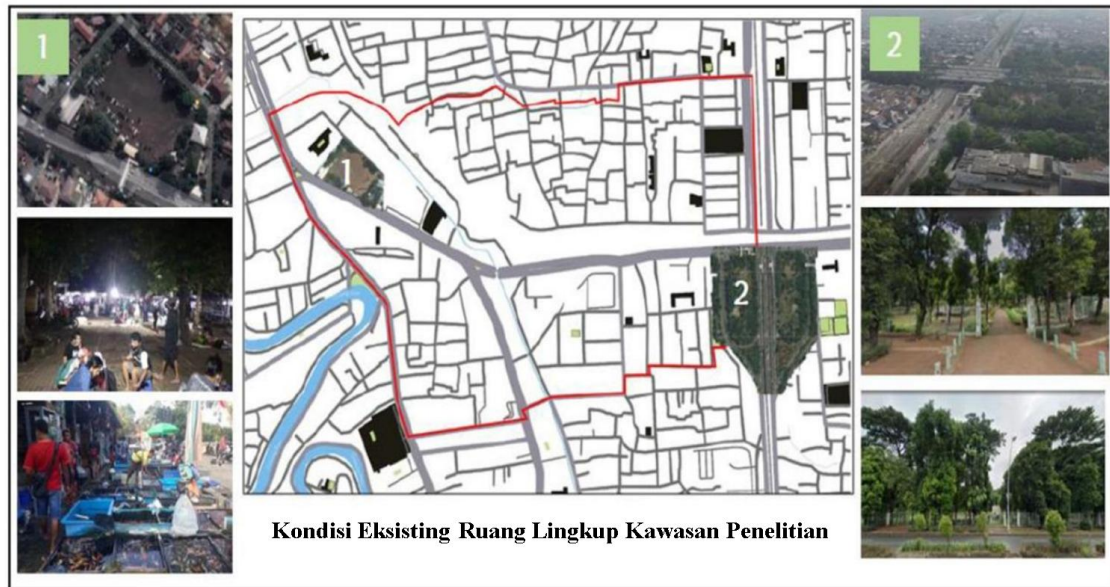
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Luasan RTH dengan perbandingan luas wilayah

Kawasan Stasiun Jatinegara merupakan kawasan ekonomi prospektif, atau kawasan yang memiliki sentra perniagaan di kawasan Jatinegara, yang didukung oleh fungsi eksisting pasar tradisional Jatinegara (Pasar Meester), Jatinegara Plaza (Mall), Pasar Rawa Bening dan pusat kerajinan Akik, rumah toko, hotel, dan sebagainya. Karena lokasinya yang strategis, Kawasan Segitiga Jatinegara berperan sebagai kawasan transisi antara kawasan perniagaan di sepanjang koridor jalan utama dan kawasan permukiman di sekitarnya. Sesuai dengan arahan RTRW DKI Jakarta 2014 dan RDTRK Kecamatan Jatinegara, rencana peruntukan makro kawasan segitiga Jatinegara diharapkan dapat mendorong pertumbuhan pemanfaatan lahan untuk fungsi campuran, dengan dominasi bangunan publik atau perkantoran dan perdagangan.

Kawasan pengembangan berorientasi transit stasiun Jatinegara memiliki rencana RTH yang terdiri dari zona jalur hijau, zona pemakaman, dan zona taman kota/lingkungan. Pada tahun 2024, luas area penelitian adalah 153,86 Ha atau 60% dari luas area total. Area penelitian ditutupi oleh bangunan dengan luas 139,10 Ha atau sekitar 90% dan luas lahan terbuka 14,76 Ha atau 9,5% dari luas area penelitian.

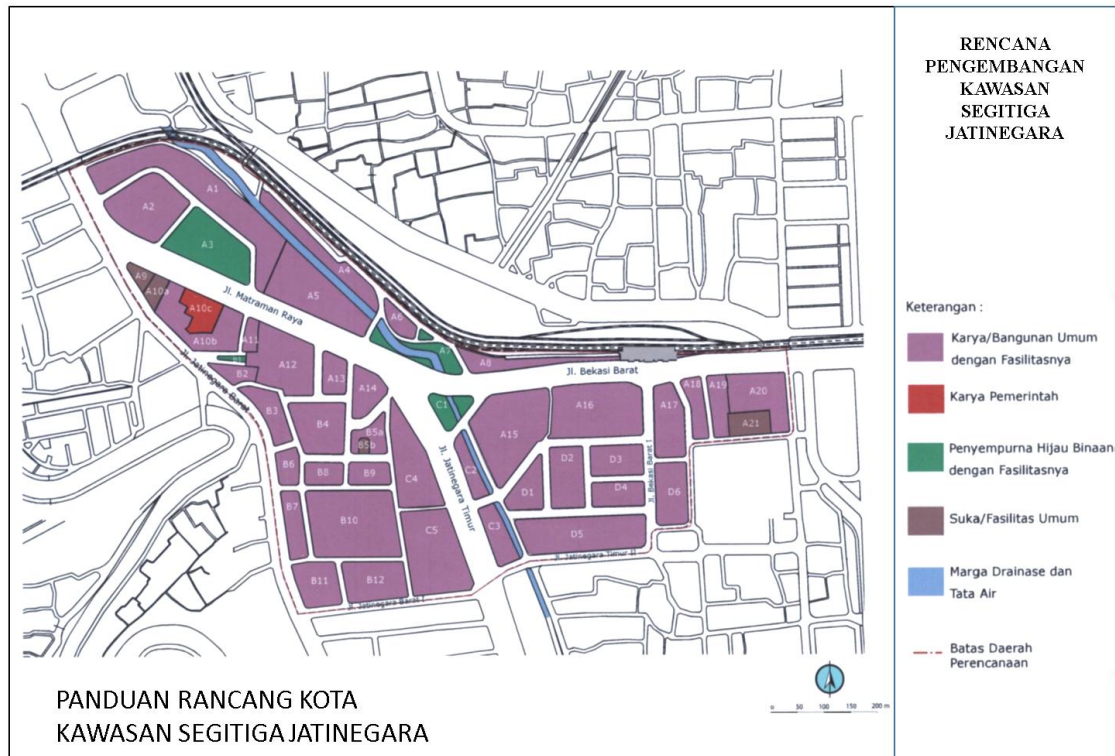
Berdasarkan informasi tersebut, area terbuka hijau di lokasi penelitian hanya mencapai 14,20 ha atau 9,22% (**Gambar 2**). Dengan demikian, RTH di area perencanaan masih belum mencukupi karena belum mencapai 30%. Oleh sebab itu, diperlukan adanya rekomendasi yang bisa mendorong pemerintah daerah untuk menyediakan rencana RTH minimal 30%. Distribusi rencana pengembangan area terbuka hijau di wilayah TOD (*Transit Oriented Development*).



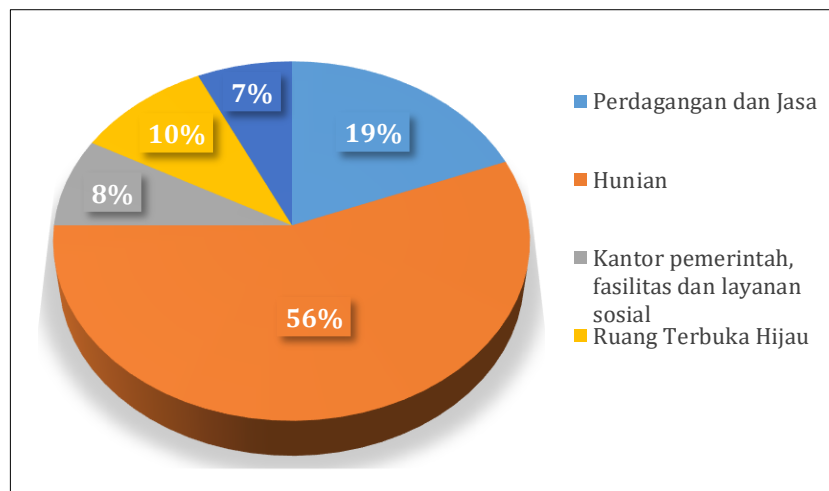
Gambar 2. Luas RTH kawasan TOD Stasiun Jatinegara.

Gambar 2 menunjukkan minimnya RTH di lokasi penelitian dengan kondisi reboisasi yang belum optimal dan kurang terawat. Keterangan poin 1 pada **Gambar 2** menunjukkan lahan terbuka yang belum dimanfaatkan secara optimal sebagai RTH tingkat kecamatan dan justru digunakan sebagai pasar ikan sejak subuh. Keterangan poin dua (2) menunjukkan RTH yang direncanakan Dinas Tata Ruang Kota Jakarta Timur sebagai Taman Hutan Kota yang dilengkapi dengan lintasan jogging dan ruang bermain, namun kurang dimanfaatkan karena berada di bawah jalan tol dan tidak terdapat tempat parkir kendaraan di area tersebut.

Sementara itu, dalam Pedoman Desain Perkotaan (UDGL) di Segitiga Jatinegara, terdapat ruang terbuka baru yang akan dikembangkan sehingga dapat menjadi potensi pengembangan. Gambar panduan perencanaan RTH disajikan pada **Gambar 3**. Mengacu pada gambar RTRW Kecamatan Jatinegara pada 2012-2030, dan analisis hasil survei kondisi eksisting, data mengenai penggunaan lahan di area penelitian dapat ditampilkan pada **Gambar 4**.



Gambar 3. Panduan perencanaan ruang terbuka hijau.



Gambar 4. Penggunaan lahan di lokasi penelitian.

Tata guna lahan di wilayah penelitian didominasi oleh fungsi permukiman sebesar 56%, fungsi komersial 19% (Pasar Mester, Pasar Hewan, plaza Lippo Jatinegara, pasar batu mulia, dan pertokoan), fasilitas pelayanan sosial (sekolah, pelayanan kesehatan, tempat ibadah), kantor kesehatan dan pemerintahan sebanyak 8%, dan fungsi RTH sebesar 10% (**Gambar 4**). Kondisi ini tidak sejalan dengan RTRW yang mengharuskan dominasi oleh fungsi perdagangan-jasa dan perkantoran, sedangkan fungsi lainnya sebagai fasilitas penunjang.

Luas lahan yang digunakan untuk RTH juga masih jauh dari ketentuan yang ditetapkan pemerintah. UU Tata Ruang Nomor 26 Tahun 2007 menyatakan bahwa proporsi RTH pada suatu area adalah 30% dari total luas wilayah administrasi. Berdasarkan ketentuan tersebut, RTH yang diperlukan di area penelitian sebesar 46,14 ha (30% dari total luas area penelitian), sedangkan RTH yang tersedia saat ini baru 8,60 ha (18,64%) (**Tabel 3**). Dengan demikian, jumlah RTH belum terpenuhi dan masih diperlukan tambahan sebesar 37,54 ha atau 81,36% menggunakan panduan rencana tata ruang wilayah kota yang rinci. Guna memenuhi ketentuan tersebut, perlu direncanakan kawasan ruang terbuka baik dalam skala kota, kecamatan, desa, maupun kompleks perumahan. Penempatan RTH baru menyesuaikan peta penggunaan lahan dan peta intensitas penggunaan lahan. Pada konsep pengembangan kawasan transit stasiun, salah satu indikator keberhasilannya adalah ketersediaan RTH minimal 20%. Keberhasilan pengembangan kawasan transit diantaranya adalah meningkatkan kualitas O_2 , menyediakan ruang untuk berinteraksi dan bersosialisasi, serta bermanfaat bagi keberlanjutan kawasan pemukiman.

Tabel 3. Analisa kebutuhan RTH berdasarkan luas wilayah di kawasan penelitian.

No.	Kecamatan	Kelurahan	Luas (Ha)	RTH yang dibutuhkan 30% dari luas wilayah (Ha)
1	Jatinegara	Balimester	24.765,40	7.43
		Rawa Bunga	46.323,48	13.89
		Cipinang Besar Utara	10.022,52	3.00
2	Matraman	Pisangan Baru	61.244,26	18.37
		Utan Kayu Selatan	748,05	0.22
3	Pulo Gadung	Pisangan Timur	10.756,35	3.23
Jumlah			153.860	46,14

3.2. Luas RTH terhadap jumlah populasi

Perhitungan kebutuhan RTH berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/M/PRT/2008 menyebutkan bahwa kebutuhan RTH untuk kenyamanan warga adalah 20 m²/orang. Hasil analisis pada **Tabel 4** mengindikasikan bahwa luas RTH yang diperlukan berdasarkan populasi di Kawasan Transit Stasiun mencapai 152,54 ha. Perbandingan terhadap kebutuhan RTH menurut standar peraturan menteri (30% dari total luas kawasan berbasis transit) sebesar 46,14 ha, angka ini mengindikasikan bahwa luas RTH masih belum terpenuhi.

Tabel 4. Kebutuhan RTH terhadap jumlah populasi di kawasan transit Stasiun Jatinegara.

No.	Kecamatan	Kelurahan	Jumlah penduduk	Standar luas RTH 20 m ² /kapita
1	Jatinegara	Balimester	9.546	190.92
		Rawa Bunga	4.482	89.64
		Cipinang Besar Utara	15.944	318.88
2	Matraman	Pisangan Baru	30.779	615.58
		Utan Kayu Selatan	5.467	109.34
3	Pulo Gadung	Pisangan Timur	10.052	201.04
Jumlah			76.270	1.525,40
				152,54 Ha

Berdasarkan perbandingan antara perhitungan kebutuhan RTH yang mengacu pada luas dan yang mengacu pada jumlah penduduk, terdapat kekurangan RTH sebesar 32.638 hektar. Oleh karena itu, penambahan RTH perlu dilakukan dengan merapikan yang telah ada dan menambah area di lokasi lain yang disetujui oleh pemerintah daerah sebagai prioritas RTH dengan mempertimbangkan skala pelayanan, fungsi RTH, dan jenis vegetasi. Temuan analisis ini menunjukkan bahwa jumlah penduduk memiliki dampak besar terhadap luas RTH. Hal ini terlihat dari luas RTH yang dihitung berdasarkan jumlah penduduk lebih tinggi dibandingkan luas RTH yang dihitung 30% dari total kawasan berbasis transit.

3.3. Luas RTH berdasarkan kebutuhan O₂

Luas wilayah penelitian berdasarkan data administratif adalah 153,86 Ha dengan populasi mencapai 76.270 orang. Penentuan kebutuhan RTH berdasarkan konsumsi O₂ dengan metode Gerarkis perlu menghitung kebutuhan oksigen manusia per hari serta kebutuhan oksigen bagi pengendara kendaraan bermotor per hari dengan perhitungan pada **Persamaan 2**.

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Oksigen} &= 840 \times 76.270 \\
 &= 64.066.800 \text{ gram/hari} \dots\dots\dots(2)
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Jumlah kebutuhan O₂ manusia di kawasan Stasiun Jatinegara tahun 2024.

No	Kecamatan	Kelurahan	Jumlah penduduk	Konsumsi oksigen manusia (gram/hari)	Konsumsi oksigen (gram/hari)
1	Jatinegara	Balimester	9.546	840	8.018.64
		Rawa Bunga	4.482		3.764.88
		Cipinang Besar Utara	15.944		13.392.96
2	Matraman	Pisangan Baru	30.779	840	25.854.36
		Utan Kayu Selatan	5.467		4.592.28
3	Pulo Gadung	Pisangan Timur	10.052		8.443.68

Tabel 6. Kebutuhan oksigen menurut klasifikasi jenis kendaraan bermotor.

Jenis Kendaraan	Daya minimal (Ps)	Kebutuhan bahan bakar (Kg/Ps)	Kebutuhan O ₂ tiap 1 Liter BB (kg)	Kebutuhan O ₂ (kg)	Kebutuhan O ₂ (gram/hari)
Sepeda motor	1	0,21	2,77	0,851	851,7
Kendaraan Penumpang	20	0,21	2,77	11,63	11.634
Kendaraan truk	50	0,21	2,77	29,085	29.085
Kendaraan bus	100	0,16	2,86	45,76	45.760
Jumlah				87,06	87.061
Rata-rata				21,76	21.765

Tabel 7. Kebutuhan O₂ bagi pengendara kendaraan bermotor di kawasan Stasiun Jatinegara.

Jenis kendaraan	Lalu lintas harian rata-rata (kendaraan/hari)	Kebutuhan O ₂ (gram/hari)	Total kebutuhan O ₂ (gram/hari)
Sepeda motor	8.862	11.634	103.100.508
Mobil Pribadi	6.300	581,7	3.664.710
Truk	80	29.085	23.206.800
Bus	120	45.760	5.491.200
Minibus umum	280	29.760	8.332.800
Jumlah			143.796.018

Dari analisis ini, terungkap bahwa kebutuhan oksigen manusia per hari (Pt) mencapai 64.066.800 gram/hari, sementara kebutuhan oksigen pengendara kendaraan bermotor per hari 62.499.011 gram/hari. Kebutuhan luas RTH dihitung menggunakan metode Gerarkis dengan perbandingan total populasi dan jumlah kendaraan bermotor (**Persamaan 3**).

$$Lt = \frac{Pt + Kt}{(54) \times (0,9375)} \dots \dots \dots (3)$$

$$Lt = \frac{30.377.760 + 62.499.011}{(54) \times (0,9375)}$$

$$Lt = \frac{92.876.771}{50,625}$$

$$Lt = 1.834.602,88 \text{ m}^2 \sim 183,46 \text{ Ha}$$

Luas RTH berdasarkan kebutuhan O_2 adalah 183,46 ha. Hasil perhitungan kebutuhan O_2 sangat dipengaruhi oleh jumlah penduduk dan jenis kendaraan, sehingga perlu dilakukan pengaturan ulang penggunaan lahan dan jalur kendaraan bermotor. Selain itu, perlu juga untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi agar sesuai dengan manfaat pembangunan berorientasi transit untuk meningkatkan kualitas lingkungan dengan menggunakan transportasi massal, berjalan kaki, bersepeda, dan menyediakan RTH untuk CO_2 , serta area untuk berinteraksi dan bersosialisasi. Semua manfaat TOD ini bermanfaat bagi keberlanjutan kota.

Analisis yang dilakukan berdasarkan luas area, jumlah penduduk, dan kebutuhan oksigen dalam penelitian ini membuahkan hasil: 1) Kebutuhan RTH dari 30% luas TOD ($30\% \times 153,86 \text{ ha}$) adalah 46,14 ha; 2) Luas RTH berdasarkan $20 \text{ m}^2/\text{kapita}$ dengan jumlah penduduk 76.270 jiwa adalah 152,54 ha; dan 3) perhitungan Luas RTH untuk memenuhi kebutuhan O_2 yaitu dengan menghitung jumlah kendaraan dan oksigen yang dibutuhkan oleh pengendara gram/hari yaitu 183,46 ha.

Kebutuhan RTH di kawasan TOD berdasarkan luasan belum sesuai dengan standar regulasi yang ada, begitu pula berdasarkan jumlah populasi dan kebutuhan oksigen masih kurang terpenuhi. Menurut luas area penelitian (**Tabel 3**), kawasan pembangunan berbasis transit Stasiun Jatinegara masih memerlukan RTH seluas 31,09 ha untuk mencapai luas minimum 30%. Area pengembangan berbasis transit stasiun Jatinegara juga minim infrastruktur ruang publik untuk aktivitas komunitas seperti bermain, berolahraga, bersantai, dan berekreasi. Di samping itu, masih ada kekurangan area hijau di sepanjang rel kereta dan di tepi jalan.

Tindak lanjut dari hasil perhitungan luas RTH berdasarkan area, jumlah populasi, dan kebutuhan O_2 adalah penataan RTH yang ada dan penambahan di area lain sesuai arahan Dinas Tata Ruang DKI Jakarta. Perencanaan RTH merujuk pada pedoman perancangan perkotaan untuk kawasan segitiga Jatinegara. Salah satu alternatif rencana perancangan RTH di wilayah penelitian ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Rencana desain penataan kawasan RTH di wilayah penelitian.

Gambar 5 menunjukkan rencana desain penataan dan penambahan RTH sesuai pedoman perancangan perkotaan untuk Kawasan Segitiga Jatinegara. Nomor satu direncanakan sebagai taman skala kecamatan, nomor dua adalah RTH di kawasan apartemen, nomor tiga adalah RTH lingkungan, nomor empat adalah RTH di sepanjang sungai, nomor lima adalah RTH skala lingkungan, nomor enam adalah RTH permukiman, nomor tujuh adalah RTH yang layak jalan, dan nomor delapan adalah RTH dengan fungsi sebagai Hutan Kota.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Keterkaitan antara RTH dan kualitas lingkungan memengaruhi pada kualitas lingkungan daerah rencana Pembangunan yang berfokus pada transit. Tipe dan bentuk RTH yang ada di area penelitian meliputi RTH, taman lingkungan, taman hutan perkotaan, dan jalur hijau. Karenanya, keberadaan RTH harus dijaga melalui pengembangan RTH di unit terkecil oleh masyarakat setempat. Dalam konteks ini, pemerintah memiliki peranan penting dalam menetapkan lokasi untuk menjaga keberadaan RTH yang akan beralih fungsi menjadi area terbangun serta proporsinya dalam suatu struktur kota.

Berdasarkan perhitungan kebutuhan RTH di kawasan TOD Stasiun Jatinegara, hasilnya belum sesuai dengan standar regulasi yang ada, sedangkan kebutuhan RTH berdasarkan populasi dan kebutuhan oksigen sudah tercukupi. Dengan luas total

kawasan Pembangunan berorientasi transit sebesar 153,86 ha yang saat ini baru memiliki RTH seluas 8,60 ha atau 18,64% dari 46,14 ha, oleh karena itu masih diperlukan RTH seluas 37,54 ha. Tidak hanya kekurangan area RTH pada area pengembangan TOD Stasiun Jatinegara juga masih kekurangan infrastruktur RTH untuk aktivitas masyarakat.

Rekomendasi dari hasil perhitungan kebutuhan luas RTH dalam konteks perencanaan kota adalah memperluas area RTH di wilayah pengembangan yang mengutamakan transit. Peningkatan luas RTH bertujuan untuk mencapai standar kenyamanan masyarakat, yaitu setidaknya 30% dari total luas dengan mempertimbangkan model dan jenis vegetasi. Peningkatan luas wilayah untuk menjaga keadaan perkotaan dari pencemaran dan kerusakan lingkungan seiring dengan pertambahan populasi dan pembangunan yang tengah berlangsung.

Akan tetapi, penting juga untuk terus menjaga dan mempertahankan RTH yang sudah ada. Di samping itu, penting untuk memperkuat reboisasi dengan mengajak masyarakat agar menanam setidaknya satu pohon di setiap rumah guna meningkatkan RTH. Pengembangan penelitian ini perlu dilakukan sebagai pengembangan keilmuan perencanaan wilayah, tidak hanya menilai kondisi RTH di kawasan pembangunan berorientasi transit, tetapi juga dapat dikembangkan ke skala yang lebih luas (Makro) yaitu kawasan Kota.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah FR, Osly PJ and Tinumbia N. 2021. Analysis of green open space needs based on oxygen needs in Jakarta Pusat. *J. Artesis* 1(2):132–138
- Chen L, Yang X, Chen L, Potter R and Li Y. 2014. A state-impact-state methodology for assessing environmental impact in land use planning. *Environmental Impact Assessment Review* 46:1–12
- Fahreza W, Slamet B and Delvian D. 2022. Analysis of the need for green open space based on oxygen requirement in Medan City. *Jurnal Geografi* 14(2):252–265
- Fandeli C, Kaharuddin and Muklison. 2004. *Urban forestry*. Faculty of Forestry UGM. Yogyakarta.
- Handayeni KDME. 2014. TOD Best Practice: Lesson learned for GHG mitigation on transportation sector in Surabaya City, Indonesia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 135:152–158

- Hasibuan HS, Harmain R, Berkademi W and Sari IP. 2018. Support capacity of transit oriented development areas in Lebak Bulus, DKI Jakarta Province. *Plano Madani* 7(2):174–184
- Hasibuan HS, Moersidik S, Koestoer R and Soemardi TP. 2014. Using GIS to integrate the analysis of land-use, transportation, and the environment for managing urban growth based on transit oriented development in the metropolitan of Jabodetabek, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 18(1):1–6
- Hasibuan HS, Soemardi TP, Koestoer R and Moersidik S. 2014. The role of transit oriented development in constructing urban environment sustainability, the case of Jabodetabek, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences* 20:622–631
- Jeffrey D, Boulangé C, Giles-Corti B, Washington S and Gunn L. 2019. Using walkability measures to identify train stations with the potential to become transit oriented developments located in walkable neighbourhoods. *Journal of Transport Geography* 76:221–231
- Kamruzzaman M, Baker D, Washington S and Turrell G. 2014. Advance transit oriented development typology: Case study in Brisbane, Australia. *Journal of Transport Geography* 34:54–70
- Komeily A and Srinivasan RS. 2015. A need for balanced approach to neighborhood sustainability assessments: A critical review and analysis. *Sustainable Cities and Society* 18:32–43
- Li J and Huang H. 2020. Effects of transit-oriented development (TOD) on housing prices: A case study in Wuhan, China. *Research in Transportation Economics* 80:1–5
- Liu JH, Pai JT and Lin JJ. 2018. Planning strategy for green transit oriented development using a multi-objective planning model. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development* 6(1):35–52
- Ma X, Chen X, Li X, Ding C and Wang Y. 2018. Sustainable station-level planning: An integrated transport and land use design model for transit-oriented development. *Journal of Cleaner Production* 170:1052–1063
- Padmawati A and Nuarsa I. 2021. Analisis kebutuhan ruang terbuka hijau berdasarkan kebutuhan oksigen menggunakan teknologi penginderaan jauh di Kabupaten

- Badung. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika* 10(1):110–123
- Pawiro SA, Fanggida LW and Messakh JJ. 2024. The analysis of the private green open space requirements in Kupang City (case study at the area of Hatta to Sudirman Street). *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation* 8(2):234–244
- Pojani D and Stead D. 2014. Dutch planning policy: The resurgence of TOD. *Land Use Policy* 32:172–179
- Samsudi S. 2010. Green open space needs of urban spatial planning in Surakarta City. *Journal of Rural Development* 1(1):1–9
- Sinambela NR. 2020. Kajian literatur ruang terbuka hijau terhadap kebutuhan oksigen. *Pondasi* 25(2):137
- Strong KC, Ozbek ME, Sharma A and DA. 2017. Decision support framework for transit-oriented development projects. *Transportation Research Record* 2671:51–58
- Sulistyaningrum S. 2018. Transit oriented development (TOD) index at the current transit nodes in Depok City, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 128(1):1–12
- Trepci E, Maghelal P and Azar E. 2019. Effect of densification and compactness on urban building energy consumption: case of a transit-oriented development in Dallas, TX. *Sustainable Cities and Society* 56:1–2
- Vale DS. 2015. Transit-oriented development, integration of land use and transport, and pedestrian accessibility: Combining node-place model with pedestrian shed ratio to evaluate and classify station areas in Lisbon. *Journal of Transport Geography* 45:70–80

Strategi pengelolaan sampah anorganik di Pasar Kebayoran Lama Jakarta

Inorganic waste management strategy in Kebayoran Lama Market Jakarta

Rizka Shafira^{1*}, Dewi Elfidasari², Nunung Nurhasanah³

¹Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Al Azhar Indonesia (UAI), Jakarta, Indonesia

²Pasar Kebayoran Lama Area 11, Perumda Pasar Jaya, Jakarta, Indonesia

³Program Studi Teknik Industri, Universitas Al Azhar Indonesia (UAI), Jakarta, Indonesia

Abstrak.

Pasar tradisional menyumbang 14,48% timbulan sampah nasional. Penelitian ini bertujuan merumuskan strategi pengelolaan sampah anorganik di Pasar Kebayoran Lama Area 11, Jakarta. Metode *mixed-methods* diterapkan pada 150 responden (75 pedagang, 75 konsumen) serta pengukuran timbulan sampah 8 hari berturut-turut (SNI 19-3964-1994) terhadap 26 pedagang dari total populasi 698 pedagang. Hasil: rata-rata timbulan sampah anorganik dari sampel adalah 3,014 kg/hari, yang diekstrapolasi menjadi 80,91 kg/hari untuk seluruh pasar, didominasi plastik (70%). Potensi reduksi melalui *mass balance* mencapai 79% (2,381 kg/hari dari sampel). Pemahaman pedagang terhadap regulasi nasional (UU 18/2008) sangat rendah (16%), sementara konsumen lebih tinggi (37,4%). Uji Mann-Whitney menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan persepsi partisipasi antar kelompok ($p=0,3315$). Evaluasi multikriteria PROMETHEE menetapkan prioritas strategi: penyediaan tempat sampah terpilah 3R ($\Phi+0,5300$), revitalisasi bank sampah ($\Phi+0,2500$), dan edukasi ($\Phi+0,1400$). Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis *mass balance*, uji statistik non-parametrik (RStudio), dan pengambilan keputusan berbasis kriteria (PROMETHEE) untuk pengelolaan sampah pasar tradisional. Implementasi tiga prioritas tersebut berpotensi meningkatkan reduksi residu hingga 90% serta membuka peluang ekonomi sirkular.

Kata kunci: pengelolaan sampah, *mass balance*, Rstudio, PROMETHEE, pasar tradisional

Abstract.

Traditional markets contribute 14.48% of national waste generation. This study aims to formulate an inorganic waste management strategy for Kebayoran Lama Market Area 11, Jakarta. A *mixed-methods* approach was applied involving 150 respondents (75 traders and 75 consumers) and waste generation measurements over eight consecutive days (SNI 19-3964-1994) from 26 traders out of 698. The results showed that the average inorganic waste generation from the sample was 3.014 kg/day, which extrapolates to 80.91 kg/day for the entire market, dominated by plastic (70%). The reduction potential through *mass balance* analysis reached 79% (2.381 kg/day from the sample). Traders' understanding of national regulations (Law No. 18/2008) was very low (16%), while consumers demonstrated higher understanding (37.4%). The Mann-Whitney test indicated no significant difference in participation perception between the two groups ($p = 0.3315$). Multi-criteria evaluation using PROMETHEE established priority strategies: provision of segregated 3R waste bins ($\Phi+0.5300$), revitalization of the waste bank ($\Phi+0.2500$), and education programs ($\Phi+0.1400$). The novelty lies in integrating *mass balance*, non-parametric statistics, and multi-criteria decision-making. These strategies have the potential to increase residue reduction by up to 90% and support circular economy development.

Keywords: waste management, *mass balance*, Rstudio, PROMETHEE, traditional market

1. PENDAHULUAN

Sampah perkotaan merupakan salah satu tantangan lingkungan utama di abad ke-21. *United Nations Environment Programme* menempatkan polusi sampah sebagai ancaman global yang memerlukan penanganan sistematis (UNEP 2017). Di negara berkembang, timbulan sampah perkotaan diproyeksikan meningkat hingga 40% pada tahun 2050, sementara kapasitas pengelolaan yang ada masih sangat terbatas (Kaza *et al.* 2018).

*Korespondensi Penulis
Email : Rizka.uai@gmail.com

Fenomena ini juga tercermin di DKI Jakarta sebagai salah satu kota megapolitan dengan tingkat produksi sampah yang tinggi, mencapai 8.688,35 ton per hari (KLHK 2024), dengan komposisi didominasi fraksi anorganik (47,53%), terutama plastik (22,95%) di Jakarta Selatan (KLHK 2024). Tingginya produksi sampah di kawasan perkotaan sejalan dengan temuan global yang menyatakan bahwa tingkat pendapatan dan urbanisasi berkorelasi positif dengan timbunan sampah per kapita (Hoornweg & Bhada-Tata 2012). Meskipun kerangka regulasi telah tersedia, mulai dari UU No. 18 Tahun 2008, PP No. 81 Tahun 2012, hingga Perda DKI No. 3 Tahun 2014, implementasinya di lapangan masih menghadapi berbagai kendala, terutama pada sumber-sumber penghasil sampah dalam skala besar seperti pasar tradisional.

Pasar tradisional menyumbang 14,48% dari total timbunan sampah nasional (SIPSN 2024). Studi di berbagai pasar tradisional Indonesia, seperti Pasar Baru Bogor (Muhazir 2023), Pasar Melati Puring (Joni *et al.* 2022), dan Pasar Lawawoi (Wahyuni 2024), mengungkap permasalahan sistemik yang serupa: infrastruktur pemilahan minim, partisipasi pedagang rendah, bank sampah tidak berfungsi, serta belum tersedianya tempat sampah terpilah 3R. Permasalahan serupa juga ditemukan di pasar tradisional negara berkembang lainnya, seperti di Filipina, di mana praktik pengelolaan sampah masih bersifat konvensional dengan tingkat daur ulang yang rendah (Bernardo 2008). Pasar Kebayoran Lama Area 11, Jakarta Selatan, merupakan lokus representatif dengan produksi sampah anorganik sekitar 26.800 kg per bulan, dikelola secara linear langsung ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) tanpa daur ulang, bank sampah tidak aktif, dan pemahaman pedagang terhadap regulasi yang rendah.

Penelitian-penelitian sebelumnya umumnya bersifat deskriptif atau hanya berfokus pada satu aspek, seperti timbunan sampah atau evaluasi kebijakan secara terpisah. Pendekatan terintegrasi yang menggabungkan analisis teknis (neraca massa), statistik inferensial untuk membandingkan persepsi antar aktor (pedagang vs konsumen), serta pemodelan keputusan multi kriteria untuk merumuskan strategi prioritas masih sangat terbatas, khususnya di pasar tradisional. Akibatnya, rekomendasi kebijakan sering kali bersifat umum dan tidak terukur.

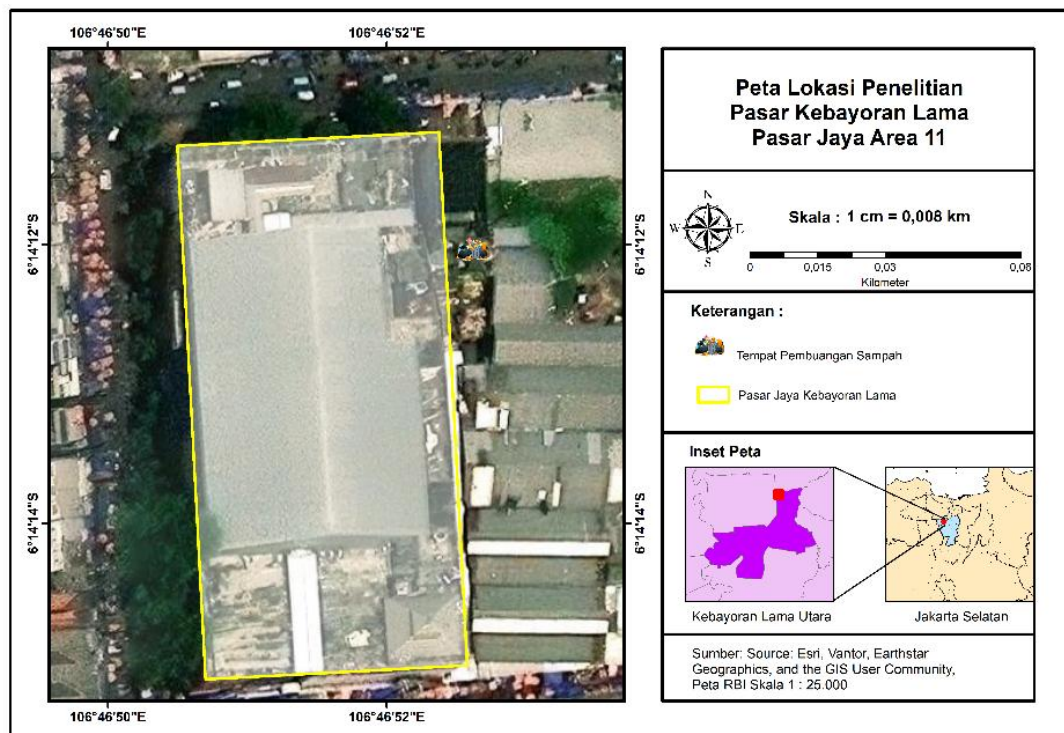
Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: 1) menganalisis timbunan dan komposisi sampah anorganik; 2) mengevaluasi potensi reduksi melalui neraca massa; 3) mengukur dan membandingkan tingkat pemahaman serta kesediaan

berpartisipasi antara pedagang dan konsumen menggunakan uji statistik non-parametrik; 4) merancang dan memeringkatkan strategi pengelolaan sampah anorganik yang berkelanjutan menggunakan metode PROMETHEE berbasis kriteria biaya, dampak lingkungan, keterlibatan masyarakat, dan kesesuaian regulasi. Hasil penelitian diharapkan menjadi model acuan bagi pengelola pasar tradisional dalam menerapkan ekonomi sirkular serta mendukung pencapaian SDGs, khususnya tujuan 11 (kota berkelanjutan) dan 12 (konsumsi dan produksi bertanggung jawab).

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 30 hari pada 15 Juni-15 Juli 2025 di PD. Pasar Jaya Pasar Kebayoran Lama Area 11, Jalan Raya Kebayoran Lama, Kelurahan Grogol Utara, Kecamatan Kebayoran Lama, Jakarta Selatan. Pasar Kebayoran Lama (**Gambar 1**) merupakan salah satu pasar tradisional terbesar di Jakarta Selatan dengan aktivitas tinggi dan permasalahan pengelolaan sampah anorganik yang signifikan, termasuk tidak berfungsinya bank sampah serta belum tersedianya fasilitas tempat sampah terpilah 3R. Kondisi ini menjadikannya sebagai lokus yang relevan untuk merumuskan strategi pengelolaan sampah anorganik yang berkelanjutan.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

2.2. Prosedur analisis data

Analisis data menggunakan pendekatan *mixed methods* dengan *sequential explanatory design*. Tahap kuantitatif dilakukan terlebih dahulu, meliputi pengukuran timbulan sampah, survei kuesioner, dan pemeringkatan strategi menggunakan PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*). Selanjutnya, tahap kualitatif dilakukan melalui observasi lapangan dan wawancara dengan pengelola pasar untuk memperkuat dan menjelaskan temuan kuantitatif. Pendekatan ini sesuai dengan rekomendasi untuk penelitian pengelolaan sampah yang kompleks (Wilson et al. 2015).

Analisis kuantitatif mencakup statistik deskriptif dan inferensial menggunakan RStudio, termasuk uji normalitas Shapiro–Wilk dan uji non-parametrik Mann–Whitney untuk membandingkan persepsi pedagang dan konsumen. Data timbulan dan komposisi sampah dianalisis menggunakan *mass balance* dan *recovery factor*, sedangkan kelayakan finansial strategi dievaluasi dengan metode *payback period*.

Pemeringkatan strategi dilakukan menggunakan metode PROMETHEE dengan bantuan perangkat lunak Visual PROMETHEE *Academic Edition* versi 1.4.0.0. Penerapan metode Visual PROMETHEE juga telah digunakan dalam studi pengelolaan sampah di TPA Bantargebang, di mana metode ini berhasil membantu menentukan skenario terbaik berdasarkan kriteria ekonomi, sosial, dan lingkungan (Resmianty et al. 2025). PROMETHEE dipilih karena kemampuannya dalam menangani kriteria kuantitatif dan kualitatif secara simultan, serta menghasilkan peringkat yang mudah diinterpretasikan untuk mendukung pengambilan keputusan (Belal 2023). Bobot kriteria ditentukan berdasarkan *expert judgement* Kepala Pengelola Pasar. Metode ini menggunakan fungsi preferensi Tipe V (linear) dengan *threshold* preferensi (p) sebesar 4 untuk semua kriteria dan *threshold* ketidakpedulian (q) sebesar 0. Hasil analisis akan menghasilkan tiga nilai aliran untuk setiap alternatif: *Leaving Flow* (Φ^+) yang mengukur kekuatan alternatif, *Entering Flow* (Φ^-) yang mengukur kelemahan alternatif, dan *Net Flow* ($\Phi = \Phi^+ - \Phi^-$) sebagai dasar untuk menentukan peringkat akhir alternatif strategi. Keterbatasan penelitian terletak pada penggunaan satu ahli dalam penentuan bobot kriteria, sehingga penelitian selanjutnya disarankan melibatkan lebih banyak pakar untuk meningkatkan objektivitas.

Pengambilan sampel timbunan dan komposisi sampah anorganik dilakukan selama 8 hari berturut-turut (5-12 Juli 2025) mengacu pada SNI 19-3964-1994. Sampel dipilih secara *proportional stratified sampling* berdasarkan kategori usaha (hasil bumi pangan, kelontong, tekstil, logam mulia, barang teknik, warung, dan jasa). Dari total 698 pedagang aktif, jumlah sampel untuk pengukuran sampah ditetapkan sebanyak 26 pedagang berdasarkan **Persamaan 1** yang mengacu SNI 19-3964-1994, dengan distribusi proporsional agar seluruh kategori usaha terwakili.

Untuk kuesioner, jumlah responden ditetapkan 150 orang (75 pedagang dan 75 konsumen) dengan mengacu pada rumus Slovin (**Persamaan 1**) dengan tingkat kesalahan 10% ($n = 698 / (1 + 698 \times 0,1^2) \approx 87$), kemudian disesuaikan menjadi 75 karena keterbatasan waktu dan akses di lapangan. Responden konsumen dipilih menggunakan *purposive sampling* dengan kriteria: sedang berbelanja, bersedia menjadi responden, dan telah berkunjung minimal dua kali. Jumlah konsumen disetarakan dengan pedagang untuk memudahkan analisis komparatif, mengingat populasi konsumen tidak dapat ditentukan secara pasti. Perhitungan berat sampah menggunakan **Persamaan 2**, sedangkan untuk perhitungan komposisi sampah menggunakan **Persamaan 3**. Selanjutnya perhitungan nilai *recovery factor* menggunakan **Persamaan 4**.

$$S = C_d \sqrt{T_s} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

S = Jumlah contoh masing-masing jenis bangunan non perumahan (pedagang)

Cd = Koefisien bangunan non perumahan = 1

Ts = Jumlah bangunan non perumahan

$$BS = \frac{BS}{u} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

BS = Berat sampah

u = Luas atau jumlah pedagang

$$\%Komposisi\ Sampah = \frac{\text{Berat sampah tiap jenis (kg)}}{\text{Berat total sampah (kg)}} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

$$Recovery\ Factor = \frac{V_2}{V_1} \times 100\% \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

V1 = Berat tiap jenis sampah setelah dilakukan pemilahan (kg)

V2 = Berat tiap jenis sampah yang bisa dimanfaatkan (kg)

Pendekatan *mass balance* merupakan dasar ilmiah untuk memahami alur material dalam sistem pengelolaan sampah (Brunner & Rechberger 2015). Perhitungan *mass balance* disajikan pada **Persamaan 5**, **Persamaan 6**, dan **Persamaan 7**. Analisis kelayakan finansial digunakan untuk mengevaluasi kelayakan investasi strategi pengelolaan sampah dengan menggunakan **Persamaan 8** sebagai berikut. Perhitungan finansial ini mengacu pada standar analisis keuangan yang dikemukakan oleh Brigham & Houston (2021).

$$\text{Massa Masuk} = \text{Massa Keluar} \dots\dots\dots(5)$$

$$BS \text{ recovery} = \% RF \times BS \text{ rata} - \text{rata} \dots\dots\dots(6)$$

$$BS \text{ residu} = \% RF - BS \text{ recovery} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

RF = *Recovery factor* (%)

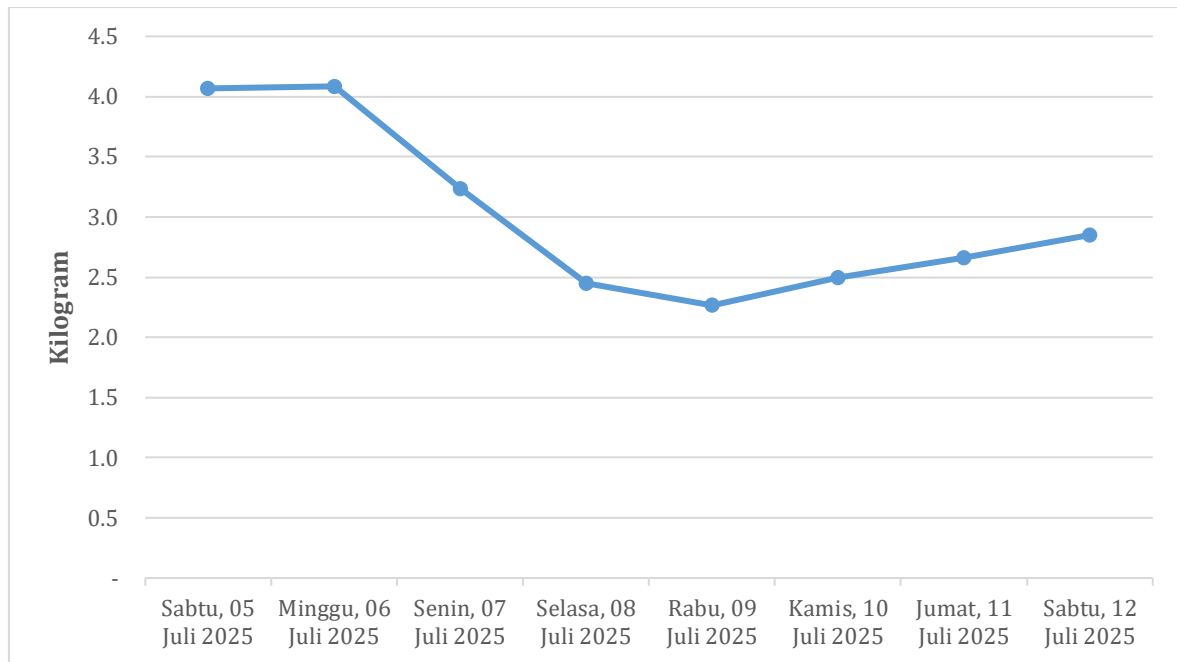
BS = Berat sampah (kg)

$$\text{Payback Period} = \text{Investasi Awal} / \text{Kas Masuk Bersih per Tahun} \dots\dots\dots(8)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil pengukuran sampah anorganik dan analisis *mass balance*

Total dan rata-rata harian sampah anorganik dari 26 pedagang selama 8 hari (5–12 Juli 2025) mencapai 24,109 kg dan rata-rata 3,014 kg/hari. Ekstrapolasi terhadap total 698 pedagang menghasilkan estimasi timbulan sampah anorganik sekitar 80,91 kg/hari. Produksi sampah anorganik tertinggi terjadi pada akhir pekan (Sabtu-Minggu), misalnya 4,085 kg (6 Juli 2025), sedangkan hari kerja (Rabu) hanya 2,265 kg. Ini mencerminkan pola aktivitas pasar yang padat di akhir pekan pada **Gambar 2**. Pola ini konsisten dengan temuan (Muhazir 2023) di Pasar Baru Bogor, yang juga mencatat puncak volume sampah pada hari Sabtu (8,64 kg untuk sampah organik dan anorganik). Kedua kasus mengonfirmasi bahwa fluktuasi harian, terutama yang didorong oleh aktivitas akhir pekan, perlu dijadikan pertimbangan dalam perencanaan pengelolaan sampah pasar.



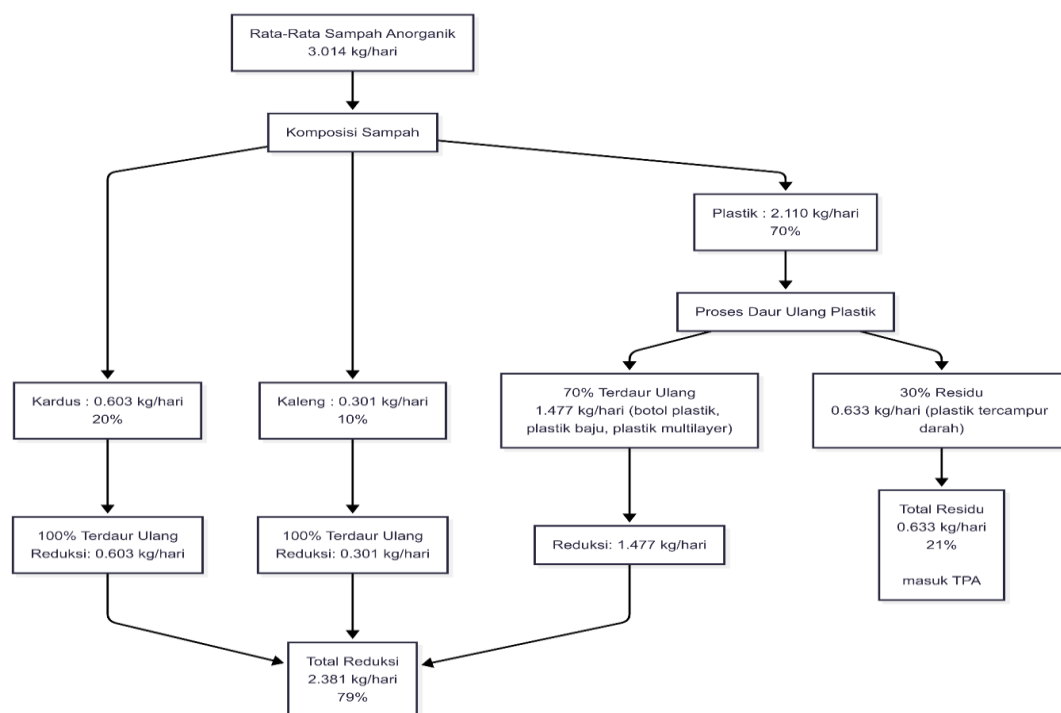
Gambar 2. Grafik produksi sampah anorganik 26 pedagang/hari.

Rata-rata komposisi harian sampah anorganik terdiri atas: plastik (70%), kardus (20%), dan kaleng (10%). Dominasi plastik dalam komposisi sampah pasar memperkuat temuan dari berbagai studi sebelumnya bahwa plastik merupakan komponen utama sampah anorganik di pasar tradisional.. Analisis *mass balance* menunjukkan potensi reduksi sampah sebesar 79%, atau setara 2,381 kg/hari. Berdasarkan total sampah plastik yang dihasilkan, 70% (1,477 kg/hari) dapat didaur ulang, sementara 30% sisanya (0,633 kg/hari) masih tersisa sebagai residu. Sedangkan sampah kaleng dan kardus yang menyumbang 30% dari total komposisi (0,904 kg/hari), seluruhnya berhasil tereduksi secara optimal (*recovery factor* 100%) tanpa residu (**Tabel 1**).

Tabel 1. Analisis *mass balance* sampah anorganik (rata-rata/hari).

No.	Jenis sampah	Persentase komposisi	Berat sampah (BS ₁) (kg/hari)	Berat sampah dimanfaatkan (BS ₂) (kg/hari)	Recovery factor (%)	Residu	
						kg/hari	%
1	Plastik	70%	2,11	1,477	70%	0,633	30%
2	Kaleng	10%	0,301	0,301	100%	0	0%
3	Kardus	20%	0,603	0,603	100%	0	0%
Total		100%	3,014	2,381	79%	0,633	21%

Neraca massa menggambarkan alur sampah anorganik material awal (3,014 kg/hari) sama dengan jumlah material yang direduksi dan residu (**Gambar 3**). Hasil penelitian (Muhazir 2023) di Pasar Baru Bogor menunjukkan tidak ada sama sekali proses daur ulang untuk sampah anorganik, khususnya plastik yang menyumbang 3,70% dari total timbunan sampah. Seluruh sampah anorganik tersebut langsung berakhir sebagai residu yang dibawa ke TPA tanpa melalui proses reduksi lebih lanjut. Dominasi plastik (70%) dalam komposisi sampah anorganik sejalan dengan temuan (Muhazir 2023) di Pasar Baru Bogor, di mana plastik juga menjadi penyumbang utama. Residu plastik 30% yang tidak terdaur ulang di Pasar Kebayoran Lama dapat teratasi apabila implementasi revitalisasi bank sampah dan kerja sama dengan industri daur ulang untuk mengonversi residu plastik menjadi bijih plastik bernilai ekonomi.



Gambar 3. Diagram alir *mass balance* Pasar Kebayoran Lama.

Bank sampah di Pasar Kebayoran Lama saat ini belum berfungsi optimal, ditandai dengan tidak aktifnya proses pengumpulan, pemilahan, dan penjualan sampah anorganik (**Gambar 4**). Akibatnya, potensi pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan bernilai ekonomi belum tercapai. Namun, dibandingkan dengan Pasar Baru Bogor (Muhazir 2023) dan Pasar Melati Puring (Joni *et al.* 2022) yang tidak memiliki bank sampah, keberadaan fasilitas ini memberikan keunggulan infrastruktur awal untuk dikembangkan menjadi sistem terintegrasi (Wilson *et al.* 2015).

Komposisi sampah anorganik di Pasar Kebayoran Lama didominasi oleh plastik (70%), kemudian kardus (20%) dan kaleng (10%). Dominasi plastik ini sejalan dengan temuan di berbagai pasar tradisional di Indonesia dan negara berkembang lainnya (Guerrero *et al.* 2013; Muhazir 2023). Studi di Pasar Baru Bogor juga melaporkan bahwa plastik merupakan penyumbang utama sampah anorganik, namun sayangnya tidak ada proses daur ulang yang dilakukan sehingga seluruh sampah plastik berakhir sebagai residu di TPA (Muhazir 2023). Kondisi serupa ditemukan di Pasar Melati Puring, di mana infrastruktur pemilahan masih minim dan partisipasi pedagang dalam pengelolaan sampah tergolong rendah (Joni *et al.* 2022). Sementara itu, penelitian di Pasar Lawawoi mengungkapkan bahwa bank sampah tidak berfungsi optimal dan belum tersedia fasilitas tempat sampah terpilah 3R (Wahyuni 2024). Di Pasar Mardika Ambon, implementasi kebijakan pengelolaan sampah dinilai belum efektif karena keterbatasan sarana penunjang seperti kendaraan pengangkut sampah yang tidak memadai dibandingkan volume sampah harian (Sakir 2023). Pasar Ciroyom Bandung juga menghadapi kendala serupa berupa minimnya fasilitas pemilahan dan rendahnya partisipasi pedagang (Karmini *et al.* 2022), demikian pula dengan Pasar Tohaga Cileungsi yang masih kekurangan infrastruktur 3R (Fatmawati *et al.* 2024). Di Pasar Gegerkalong Bandung, ketidakefektifan pengelolaan sampah terutama disebabkan oleh kurangnya kesadaran dan pengetahuan pedagang tentang isu sampah (Silfia & Surtikanti 2024). Kondisi di Pasar Ikan Palabuhanratu juga menunjukkan hal yang sama, di mana belum ada sistem pemilahan yang terstruktur (Wahyudi *et al.* 2024).

Tingginya proporsi plastik di Pasar Kebayoran Lama (70%) dapat dijelaskan oleh dominasi sektor kelontong dan tekstil yang intensif menggunakan kemasan plastik, serta belum adanya sistem pemilahan. Perbedaan metodologi (penelitian ini hanya mengukur sampah anorganik, sementara studi lain mengukur total sampah) juga berkontribusi terhadap disparitas angka. Temuan ini sejalan dengan studi internasional oleh Guerrero *et al.* (2013) yang melaporkan bahwa plastik merupakan komponen utama sampah perkotaan di negara berkembang akibat tingginya penggunaan kemasan sekali pakai dan rendahnya infrastruktur daur ulang. Di Nigeria, Enweremadu *et al.* (2025) menemukan bahwa lebih dari 60% sampah pasar di Abuja bersifat *biodegradable*, namun plastik tetap menjadi kontaminan utama yang mengganggu proses pemilahan organik.



Gambar 4. Kondisi Bank Sampah Pasar Kebayoran Lama Area 11.

Observasi lapangan menunjukkan belum tersedianya tempat sampah terpilah 3R yang memadai **Gambar 5**, sehingga semua sampah tercampur dan langsung dibuang ke TPA. Kondisi ini sejalan dengan temuan di berbagai pasar tradisional di Indonesia, seperti Pasar Mardika Ambon (Sakir 2023), Pasar Ciroyom Bandung (Karmini *et al.* 2022), Pasar Tohaga Cileungsi (Fatmawati *et al.* 2024), Pasar Ikan Palabuhanratu (Wahyudi *et al.* (2024), Pasar Lawawoi (Wahyuni 2024) dan Pasar Gegerkalong Bandung (Silfia & Surtikanti 2024), yang mengidentifikasi kendala serupa berupa minimnya fasilitas dan rendahnya partisipasi pemilahan. Revitalisasi bank sampah melalui pembentukan tim pengelola yang kuat, penyediaan fasilitas 3R, dan program edukasi diperkirakan dapat meningkatkan reduksi sampah hingga 90%. Strategi ini tidak hanya mengurangi beban lingkungan, tetapi membuka peluang ekonomi sirkular dengan menciptakan nilai tambah dari sampah yang terkelola (Ghisellini *et al.* 2016).



Gambar 5. TPS dan Tempat Sampah Pasar Kebayoran Lama Area 11.

3.2. Pemahaman dan persepsi pedagang serta konsumen

Penelitian ini menggunakan instrumen kuesioner untuk mengukur tingkat pemahaman dan persepsi terhadap pengelolaan sampah anorganik. Responden dibagi menjadi dua kelompok yaitu pedagang ($n=75$) dan konsumen ($n=75$). Istilah konsumen digunakan secara konsisten untuk pengunjung pasar, sementara istilah responden hanya digunakan ketika merujuk pada kedua kelompok secara bersama. Pertanyaan persepsi dan partisipasi menggunakan skala Likert 5 poin (1 = sangat tidak setuju; hingga 5 = sangat setuju), sedangkan pertanyaan pengetahuan regulasi menggunakan skala nominal (ya/tidak).

Uji validitas instrumen dilakukan melalui *expert judgment* oleh satu praktisi pengelola pasar. Seluruh butir pertanyaan dinyatakan valid dengan nilai *Content Validity Ratio* (CVR) $\geq 0,78$. Uji reliabilitas dihitung menggunakan *Cronbach's Alpha* pada data uji coba terhadap 30 responden di luar sampel (15 pedagang, 15 konsumen). Nilai *Cronbach's Alpha* untuk seluruh 24 item adalah 0,872, yang menunjukkan reliabilitas tinggi. Untuk masing-masing konstruk, nilai *alpha* adalah: pengetahuan regulasi (7 item, $\alpha = 0,81$), persepsi lingkungan (6 item, $\alpha = 0,79$), dan kesediaan berpartisipasi (5 item, $\alpha = 0,84$). Analisis data dilakukan dengan bantuan perangkat lunak RStudio versi 2025.05.1+513. Metode yang digunakan meliputi statistik deskriptif, uji normalitas Shapiro-Wilk, dan uji non-parametrik Mann-Whitney.

Hasil kuesioner (**Tabel 2**) menunjukkan perbedaan signifikan dalam pemahaman regulasi pengelolaan sampah antara pedagang dan konsumen. Pengetahuan mengenai regulasi nasional (UU No. 18 tahun 2008 dan PP No. 81 tahun 2012) lebih tinggi pada konsumen (37,4%) dibandingkan pedagang (16,7%), dengan pemahaman terhadap UU 18/2008 di kalangan pedagang sangat rendah (16%), mencerminkan lemahnya sosialisasi. Sebaliknya, pemahaman terhadap program 3R sangat tinggi pada kedua kelompok (konsumen 97,3%, pedagang 100%), namun belum terimplementasi optimal di lapangan. Untuk Perda DKI No. 3 tahun 2014, kesadaran pedagang lebih tinggi (53,3%) daripada konsumen (33,3%), meskipun secara umum tingkat kesadaran ini masih rendah, sehingga diperlukan edukasi yang lebih intensif.

Tabel 2. Tingkat pemahaman terkait regulasi.

Narasumber	UU No. 18 Tahun 2008	PP No. 81 Tahun 2012	Permen LH No. 13 Tahun 2012	Peraturan Daerah DKI Jakarta No. 3 Tahun 2014
Konsumen	29 (38,7%)	29 (38,7%)	29 (38,7%)	29 (38,7%)
Pedagang	12 (16,0%)	12 (16,0%)	12 (16,0%)	12 (16,0%)

Pada **Tabel 3** menunjukkan dukungan terhadap inisiatif pengelolaan sampah lebih konsisten pada pedagang (97,3% setuju) dibanding konsumen (84–86,7%), meskipun konsumen cenderung lebih antusias dengan persentase "Sangat Setuju" yang lebih tinggi (22–29%). Semua pedagang (100%) menyadari bahwa sampah mencemari lingkungan, mencerminkan pemahaman praktis dari pengalaman langsung. Tingkat kesediaan berpartisipasi cukup tinggi di kedua kelompok (pedagang 81,3%; konsumen 77,3%), namun sekitar 20% konsumen masih menyatakan keraguan atau ketidaksetujuan, mengindikasikan perlunya pendekatan motivasional khusus untuk meningkatkan partisipasi mereka.

Tabel 3. Persepsi dan kesediaan berpartisipasi pengelolaan sampah.

No.	Sikap/Persepsi	Konsumen (Setuju/ Sangat Setuju)	Pedagang (Setuju/ Sangat Setuju)
1	Saya mendukung inisiatif dan inovasi pengelolaan sampah anorganik di pasar	63 (84,0%)	73 (97,3%)
2	Pengelolaan sampah adalah tanggung jawab bersama	65 (86,7%)	73 (97,3%)
3	Sampah anorganik yang menumpuk dapat mencemari lingkungan sekitar	68 (90,7%)	75 (100,0%)
4	Saya merasa penting untuk mengelola sampah anorganik dengan benar demi kelestarian lingkungan	65 (86,7%)	74 (98,7%)
5	Saya bersedia berpartisipasi aktif apabila ada kegiatan pengelolaan sampah atau edukasi yang diselenggarakan di pasar Kebayoran Lama	58 (77,3%)	61 (81,3%)

Hasil analisis pada **Tabel 4** menunjukkan bahwa konsumen memiliki pengetahuan lebih tinggi tentang regulasi sampah (rata-rata 56,3) dibanding pedagang (41,7). Hal ini terlihat dari pemahaman UU atau PP seperti UU No. 18 tahun 2008 dan PP No. 81 tahun 2012 yang lebih baik di kalangan konsumen. Namun, pengetahuan kedua kelompok sangat beragam, ditunjukkan oleh standar deviasi tinggi (SD X: 29,4 konsumen dan 26,4 pedagang). Meskipun pengetahuan teoritis berbeda, kemampuan tentang persepsi pengelolaan sampah dan kesediaan berpartisipasi mereka nyaris identik. Rata-rata pemahaman praktis konsumen (20,2) dan pedagang (20,3) hanya berbeda 0,1 poin. Pada standar deviasi pemahaman (SD Y) pedagang yang lebih rendah (1,62 vs 2,70), menunjukkan konsistensi tinggi dalam jawaban mereka.

Tabel 4. Statistik deskriptif pedagang dan konsumen.

Narasumber	Pengetahuan tentang peraturan regulasi (X)		Persepsi dan kesediaan berpartisipasi (Y)	
	Rata-rata	Standar deviasi	Rata-rata	Standar deviasi
Konsumen	56,3	29,4	20,2	2,7
Pedagang	41,7	26,4	20,3	1,62

Hasil uji normalitas Shapiro-Wilk (**Gambar 6**) menunjukkan bahwa data pengetahuan (Variabel X) terdistribusi normal pada kedua kelompok (masyarakat $p=0,9834$; pedagang $p=0,5254$). Sebaliknya, data pemahaman (Variabel Y) pada masyarakat tidak terdistribusi normal ($p=0,004$), sedangkan pada pedagang normal ($p=0,2634$). Distribusi histogram **Gambar 7** mengungkap pola yang berbeda: pengetahuan masyarakat lebih merata, sedangkan pedagang cenderung terkonsentrasi pada tingkat rendah; sementara pemahaman masyarakat lebih bervariasi, sedangkan pedagang lebih homogen.

```

=== Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk ===

Variabel X (Pengetahuan) - Masyarakat:
W = 0.9942 p-value = 0.9834

Variabel X (Pengetahuan) - Pedagang:
W = 0.9851 p-value = 0.5254

Variabel Y (Pemahaman & Partisipasi) - Masyarakat:
W = 0.9486 p-value = 0.004181

Variabel Y (Pemahaman & Partisipasi) - Pedagang:
W = 0.9795 p-value = 0.2634

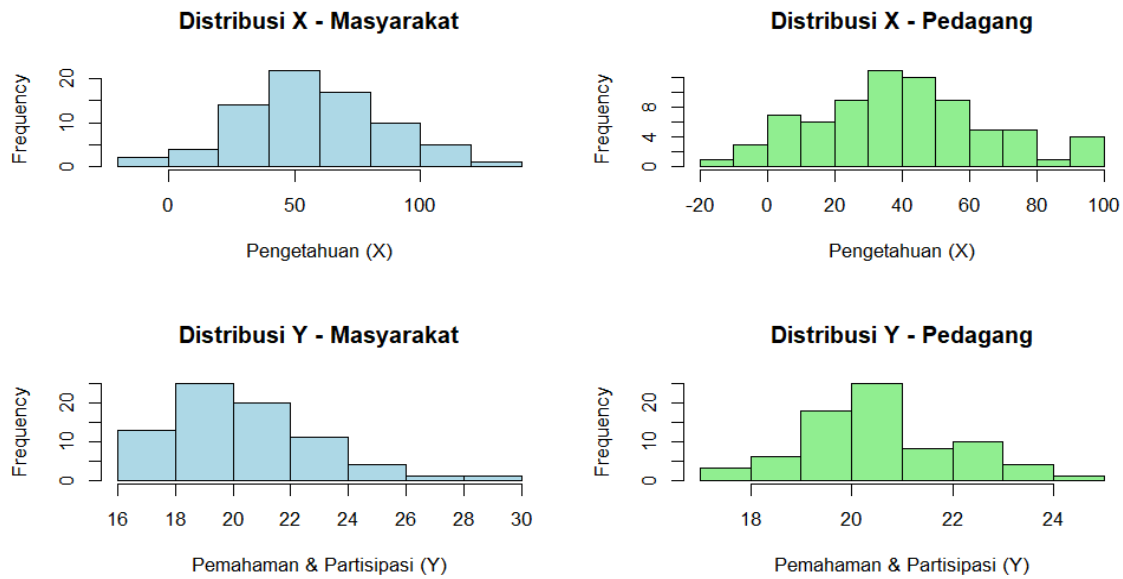
=== Interpretasi ===
Hipotesis:
H0: Data berdistribusi normal
H1: Data tidak berdistribusi normal

Kriteria penolakan H0:
Jika p-value < 0.05, maka tolak H0 yang berarti data tidak berdistribusi normal
Jika p-value >= 0.05, maka gagal tolak H0 yang berarti data berdistribusi normal
> |

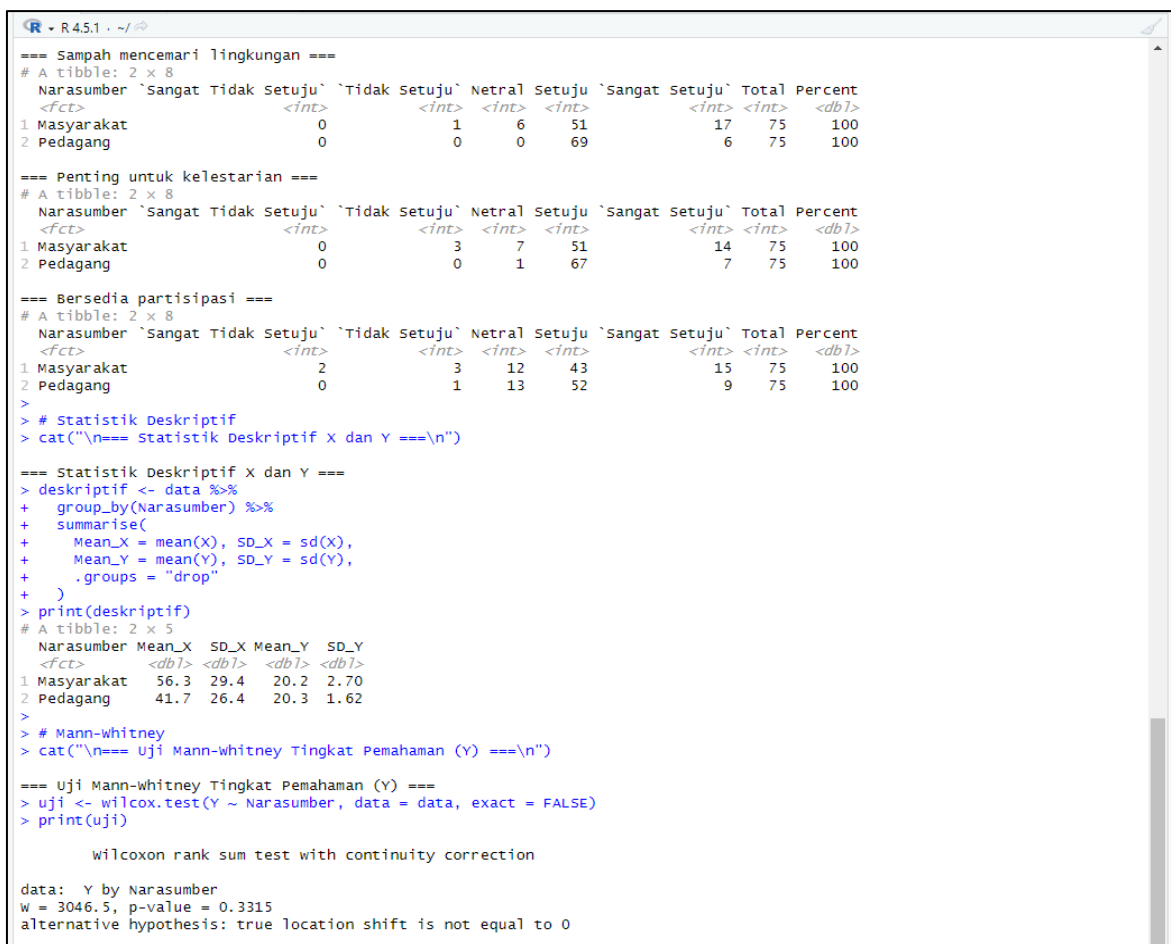
```

Gambar 6. Hasil uji normalitas Shapiro-Wilk.

Karena data Variabel Y pada kelompok konsumen tidak memenuhi asumsi normalitas, digunakan uji non-parametrik Mann-Whitney. Hasil uji menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok dalam hal persepsi dan kesediaan berpartisipasi ($p = 0,3315$), sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 8**. Temuan ini mengindikasikan bahwa, terlepas dari perbedaan pengetahuan regulasi, kecenderungan untuk berpartisipasi dalam pengelolaan sampah bersifat relatif setara antara pedagang dan konsumen.



Gambar 7. Distribusi Histogram Uji Normalitas Shapiro-Wilk.



Gambar 8. Hasil uji statistik Mann Whitney.

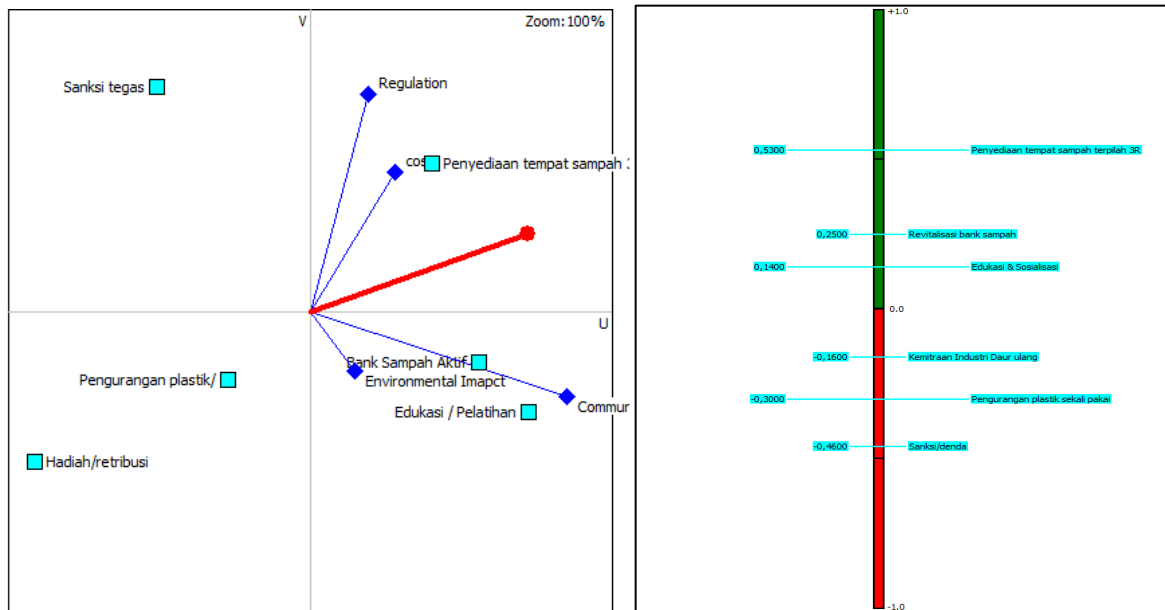
Berdasarkan pendapat terbuka responden (**Tabel 5**), enam alternatif strategi diidentifikasi untuk dievaluasi menggunakan metode PROMETHEE: 1) A1 (penyediaan tempat sampah terpilah 3R); A2 (revitalisasi bank sampah); A3 (edukasi & sosialisasi); A4 (kemitraan industri daur ulang); A5 (pengurangan plastik sekali pakai); dan A6 (penerapan sanksi/denda). Bobot kriteria ditentukan melalui *expert judgement* Kepala Pengelola Pasar dengan mempertimbangkan prioritas pengelolaan sampah di lingkungan Perumda Pasar Jaya, yaitu: biaya (0,25), dampak lingkungan (0,30), keterlibatan masyarakat (0,20), dan regulasi (0,25). Pendekatan analisis multi kriteria dan statistik seperti ini juga penting untuk mengevaluasi status keberlanjutan pengelolaan sampah terpadu, seperti yang diterapkan di TPST Bantargebang (Sukwika & Noviana 2020). Bobot dampak lingkungan diberikan tertinggi karena target utama pengelolaan sampah adalah mengurangi volume sampah yang masuk ke TPA.

Tabel 5. Pendapat responden terkait solusi pengelolaan sampah.

Kode	Kategori solusi	Solusi	Total
A1	Fasilitas dan infrastruktur	Penyediaan tempat sampah terpilah 3R (organik/anorganik/B3)	53
A2	Fasilitas dan infrastruktur	Revitalisasi bank sampah/TPST/fasilitas daur ulang	53
A3	Edukasi dan sosialisasi	Pelatihan teknis pemilahan sampah untuk pedagang dan sosialisasi visual/bahasa sederhana untuk konsumen	41
A4	Kolaborasi dan kemitraan	Kemitraan dengan bank sampah/UMKM daur ulang dan gotong royong melibatkan tokoh masyarakat	26
A5	Pengurangan sampah dan inovasi kreatif	Pengurangan plastik sekali pakai/penggunaan tas belanja ramah lingkungan/Kerajinan dari sampah	26
A6	Insentif dan penghargaan	Diskon retribusi/penghargaan untuk pedagang aktif	6

Visualisasi *GAIA plane* dan *Complete Ranking* dengan *software* Visual PROMETHEE *Academic Edition* versi 1.4.0.0. **Gambar 9** menunjukkan bahwa penyediaan tempat sampah terpilah 3R (A1, $\Phi = +0,5300$) merupakan strategi terbaik di Pasar Kebayoran Lama. Vektor A1 searah dengan kriteria dampak lingkungan dan regulasi, serta relatif tegak lurus terhadap biaya, menandakan strategi ini efektif mengurangi sampah ke TPA, sesuai kebijakan, dan tidak sensitif terhadap perubahan anggaran. Revitalisasi bank sampah (A2, $\Phi = +0,2500$) dan edukasi (A3, $\Phi = +0,1400$) berada di peringkat berikutnya, sedangkan sanksi (A6, $\Phi = -0,4600$) dan pengurangan plastik (A5, $\Phi = -0,3000$) berada di kuadran negatif karena tanpa infrastruktur pemilahan, kedua strategi tersebut kurang optimal. Dengan demikian, pendekatan

berbasis infrastruktur 3R yang diikuti penguatan kelembagaan dan edukasi merupakan kunci pengelolaan sampah anorganik berkelanjutan.



Gambar 9. GAIA Plane dan Promethee Complete Ranking.

3.3. Desain strategi pengelolaan sampah anorganik Pasar Kebayoran Lama

Desain strategi pengelolaan sampah anorganik yang akan menjadi rekomendasi di Pasar Kebayoran Lama mengacu pada hasil pemeringkatan PROMETHEE dan SNI 3242:2008 tentang pengelolaan sampah di permukiman. Strategi pengelolaan sampah akan fokus pada dua prioritas utama yaitu, penyediaan tempat sampah terpilah 3R ($\Phi +0,5300$) dan revitalisasi bank sampah anorganik ($\Phi +0,2500$). Desain strategi pengelolaan sampah anorganik di Pasar Kebayoran Lama mengacu pada hasil pemeringkatan PROMETHEE serta SNI 3242:2008 tentang pengelolaan sampah di permukiman. Strategi difokuskan pada dua prioritas utama: penyediaan tempat sampah terpilah 3R ($\Phi = +0,5300$) dan revitalisasi bank sampah anorganik ($\Phi = +0,2500$). Pada **Tabel 6** merupakan rencana anggaran biaya (RAB) strategi pengelolaan sampah anorganik di Pasar Kebayoran Lama. Biaya Investasi ini akan dilengkapi dengan target pendapatan hasil pengelolaan sampah setelah dilakukan investasi seperti yang terlampir pada **Tabel 7** dan **Tabel 8**.

Tabel 6. Rencana anggaran biaya (RAB) investasi.

Komponen Investasi	Kuantitas	Biaya/Unit	Total Biaya
Tempat sampah 3R	10 Unit	Rp2.500.000	Rp25.000.000
Revitalisasi bank sampah	1 Lot	Rp300.000.000	Rp300.000.000
Total investasi		Rp302.500.000	Rp325.000.000

Tabel 7. Skenario pendapatan bersih.

Parameter pendapatan	Skenario optimis	Skenario realistis	Skenario pesimis
Sampah anorganik			
1. Plastik	Rp563.215	Rp422.411	Rp249.383
2. Kardus	Rp135.800	Rp101.850	Rp67.900
3. Kaleng	Rp135.800	Rp110.338	Rp84.875
BPP (Iuran Toko)	Rp232.667	Rp232.667	Rp232.667
Pendapatan kotor harian	Rp1.067.482	Rp867.266	Rp634.825
Biaya operasional	-Rp500.000	-Rp500.000	-Rp500.000
Pendapatan bersih	Rp567.482	Rp367.266	Rp134.825

Tabel 8. Skenario *payback period*.

Parameter	Skenario optimis	Skenario realistis	Skenario pesimis
Total investasi (Rp)	Rp325.000.000	Rp325.000.000	Rp325.000.000
Pendapatan bersih harian	Rp567.482	Rp367.266	Rp134.825
<i>Payback period</i> (Hari)	573	885	2411
<i>Payback period</i> (Bulan)	18,8	29	20,2
<i>Payback period</i> (Tahun)	1,5	2,42	6

Dengan asumsi realistis tersebut, investasi akan kembali dalam waktu sekitar 2,5 tahun. Skenario optimis (pendapatan bersih Rp567.482/hari) menghasilkan *payback* 1,5 tahun, sedangkan skenario pesimis (Rp134.825/hari) menghasilkan *payback* sekitar 6 tahun. Mengingat fluktuasi harga material daur ulang dan potensi kendala operasional, skenario realistis (2,5 tahun) dijadikan acuan utama.

Bank sampah yang direvitalisasi berfungsi sebagai pusat pengumpulan terpadu. Keberhasilan implementasi sistem terintegrasi seperti ini sangat ditentukan oleh pemahaman terhadap interaksi dinamis antara faktor teknis, sosial, ekonomi, dan kelembagaan (Marshall & Farahbakhsh 2013). Sampah anorganik yang telah dipilah di 10 unit tempat sampah 3R diangkut petugas ke bank sampah untuk ditimbang, dicatat, dan disortir ulang. Selanjutnya, material yang telah terkumpul (plastik, kardus, kaleng) dijual ke industri daur ulang atau perusahaan pengelola limbah kemasan yang bermitra dengan pengelola pasar. Kerja sama tersebut mencakup sistem *reverse*

logistics (penjemputan berkala) dan *closed-loop recycling* yang mengubah sampah menjadi bahan baku sekunder atau produk bernilai jual. Sinergi dengan program Perumda Pasar Jaya, termasuk rencana pengolahan sampah menjadi bahan bakar padat yang dikonfirmasi dalam pemberitaan media (Sutarta 2024), dapat memperkuat keberlanjutan ekonomi sistem.

Program edukasi berkelanjutan bagi pedagang dan konsumen perlu diselenggarakan untuk meningkatkan literasi lingkungan (*environmental literacy*) dalam pemilahan sampah anorganik. Target pengurangan residu hingga 90% yang ingin dicapai sejalan dengan prinsip *zero waste* yang dikembangkan secara global (Zaman 2015). Implementasi strategi ini secara langsung mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya tujuan ke-12 (konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab) melalui pengurangan limbah dan peningkatan daur ulang.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Secara keseluruhan, pengelolaan sampah anorganik di Pasar Kebayoran Lama belum berjalan optimal, yang tercermin dari rendahnya pemahaman pedagang terhadap regulasi nasional, meskipun kesadaran terhadap program 3R tergolong tinggi. Temuan utama penelitian mengungkap dominasi sampah plastik (70%) dalam timbulan sampah harian sebesar 3,014 kg, dengan potensi reduksi mencapai 79% yang belum dimanfaatkan karena tidak aktifnya bank sampah, tidak adanya fasilitas 3R. Berdasarkan strategi prioritas PROMETHEE, untuk mengatasi masalah ini adalah penyediaan tempat sampah terpilah 3R, revitalisasi bank sampah, dan edukasi berkelanjutan. Dalam skenario ideal, jika bank sampah dijalankan secara optimal dan didukung oleh kemitraan yang baik, sistem ini berpotensi reduksi sampah hingga 100%.

Oleh karena itu, disarankan agar Pasar Kebayoran Lama segera mengimplementasikan tiga strategi inti: (1) penyediaan tempat sampah terpilah 3R sesuai SNI di seluruh zona pasar; (2) revitalisasi bank sampah melalui keterlibatan koperasi pedagang dan kemitraan dengan industri daur ulang, serta mengadopsi panduan penyusunan kebijakan strategi daerah sesuai rekomendasi Direktorat Pengelolaan Sampah (2021) dan KLHK (2021); Pasar Kebayoran Lama segera mengimplementasikan tiga strategi tersebut. Implementasi manajemen pasar perlu

diperkuat dengan pembentukan tim pengelola sampah, pemberian insentif dan disinsentif bagi pedagang, serta pelaporan berkala ke Perumda Pasar Jaya. Riset lanjutan diperlukan untuk optimalisasi desain tempat sampah, pemodelan sistem dinamik, teknologi daur ulang plastik terkontaminasi, dan studi komparatif antar pasar; (3) penguatan program edukasi dan sosialisasi teknis pemilahan sampah bagi pedagang dan konsumen. Implementasi kebijakan ini perlu mempertimbangkan faktor-faktor penentu keberhasilan seperti yang diidentifikasi dalam penelitian Fadzoli *et al.* (2023) serta didukung oleh pengawasan yang ketat dan kolaborasi dengan dinas terkait dan komunitas.

Keterbatasan penelitian perlu diakui, khususnya dalam hal penilaian kriteria pada analisis PROMETHEE yang hanya melibatkan satu pakar (Kepala Pengelola Pasar), sehingga berpotensi memengaruhi objektivitas hasil. Untuk penelitian lanjutan, diperlukan eksplorasi lebih mendalam mengenai desain dan penempatan tempat sampah yang optimal, pemodelan dinamika sistem pengelolaan sampah, serta teknologi daur ulang untuk plastik terkontaminasi guna mendukung terciptanya ekonomi sirkular yang berkelanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. SNI 19-3964-1994 tentang metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2008. SNI 3242:2008 tentang pengelolaan sampah di permukiman.
- Belal SF. 2023. Using PROMETHEE method for multi-criteria decision making: applications and procedures. *Iris Journal of Economics & Business Management*. 1(1):1-7.
- Bernardo EC. 2008. Solid waste management practices in the traditional markets of developing countries: a case study of the Philippines. *Journal of Environmental Management*. 87(1):1-10.
- Brigham EF, Houston JF. 2021. *Fundamentals of financial management*. Cengage Learning.
- Brunner PH, Rechberger H. 2015. Waste to energy – key element for sustainable waste management. *Waste Management*. 37:3-12.

- Direktorat Pengelolaan Sampah. 2021. Penyusunan kebijakan strategi daerah dalam pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga.
- Enweremadu M, Law A, Akunna JC. 2025. Investigating approaches for appropriate, sustainable and effective market waste management in developing countries [internet]. Tersedia di: <https://crgconferences.com/recycling/2025/conference-book>
- Fadzoli T, Subekti R dan Waluyo W. 2023. Dampak kebijakan pengelolaan sampah sebagai parameter kinerja pemerintah dalam bidang lingkungan hidup. Eksekusi. 1:28-36. <https://doi.org/10.55606/eksekusi.v1i3.444>
- Fatmawati IR, Miftahudin dan Maruf A. 2024. Simulasi pengelolaan sampah di Pasar Tohaga Cileungsi Kabupaten Bogor. Karimahtauhid. 3:4703-4715. <https://doi.org/10.30997/karimahtauhid.v3i4.12895>
- Ghisellini P, Cialani C and Ulgiati S. 2016. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. Journal of Cleaner Production. 114:11-32.
- Guerrero LA, Maas G and Hogland W. 2013. Solid waste management challenges for cities in developing countries. Waste Management. 33(1):220-232.
- Hoornweg D, Bhada-Tata P. 2012. What a waste: a global review of solid waste management. Urban development series; knowledge papers no. 15. World Bank.
- Joni H, Wahyudi R, Prayitno W. 2022. Kajian pengelolaan sampah melalui pemilahan guna meningkatkan pendapatan pengelola Pasar Melati Puring Parit Baru. E-Journal Teknologi Infrastruktur. 1(2):56.
- Karmini M, Budiman A dan Kahar K. 2022. Tinjauan penanganan sampah di Pasar Tradisional Ciroyom. Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung. 14(1):1-8. <https://doi.org/10.34011/juriskesbdg.v14i1.2010>
- Kaza S, et al. 2018. What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank Group.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. Panduan penyusunan kebijakan strategi daerah dalam pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga. Jakarta: Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah, dan Bahan Beracun Berbahaya.

- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2024. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional [internet]. Tersedia di: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan>
- Marshall RE and Farahbakhsh K. 2013. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. *Waste Management*. 33(4):988-1003.
- Muhazir I. 2023. Analisis pengelolaan sampah di Pasar Baru Kota Bogor [Skripsi]. Universitas Bakrie. Bogor.
- (PerDa) Peraturan Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 3 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Sampah.
- (PP) Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.
- Resmianty T, et al. 2025. Skenario pengelolaan sampah di TPA Bantargebang dengan menggunakan visual PROMETHEE. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 23(1):239-246. <https://doi.org/10.14710/jil.23.1.239-246>
- Sakir AR. 2023. Analisis implementasi kebijakan pengelolaan sampah pada Pasar Mardika Kota Ambon. *JAPK*. 2023;3(2). <https://doi.org/10.30596/japk.v3i2.17723>
- Silfia R, Surtikanti HK. 2024. Analisis pengelolaan sampah pasar tradisional di Pasar Gegerkalong, Kota Bandung, Indonesia. *JWSC*. 1:46-53. <https://doi.org/10.61511/jwsc.v1i1.2024.696>
- Sukwika T, Noviana L. 2020. Status keberlanjutan pengelolaan sampah terpadu di TPST-Bantargebang, Bekasi: menggunakan Rapfish dengan R statistik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 18:107-118. <https://doi.org/10.14710/jil.18.1.107-118>
- Sutarta M. 2024. Perumda Pasar Jaya bakal olah sampah sendiri jadi bahan bakar jumputan padat. *Poskotaonline*. 10 Oktober. Tersedia di: <https://poskota.co/megapolitan/perumda-pasar-jaya-bakal-olah-sampah-sendiri-jadi-bahan-bakar-jumputan-padat/>
- (UU) Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah.
- [UNEP] United Nations Environment Programme. 2017. Towards a pollution-free planet. Nairobi: UNEP. Tersedia di: <https://www.unep.org/resources/report/towards-pollution-free-planet>

- Wahyuni W. 2024. Implementasi kebijakan pengelolaan sampah di Pasar Lawawoi Kabupaten Sidrap [Skripsi]. IAIN Parepare. Parepare.
- Wahyudi, Lukman Halim Puspito, Gondo Mawardi dan Wazir. 2024. Kondisi dan strategi pengelolaan sampah di Pasar Ikan Pelabuhan Perikanan Nusantara Palabuhanratu [Laporan Penelitian]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Wilson DC, Rodic L, Modak P, Soos R, Carpintero A, Velis K, Simonett O. 2015. Global waste management outlook. United Nations Environment Programme (UNEP).
- Zaman A. 2015. A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines. *Journal of Cleaner Production* 19:12-25.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY MANAGEMENT
ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025

Vol. 10 No. 1, April 2026

Peran <i>nature-based solution</i> dalam penanggulangan banjir dan ketahanan iklim perkotaan: kajian literatur ilmiah (Lintang Jata Angghita, Marcio Tahalele, Kalmah)	1-17
Analisis manfaat ekologis spesies dominan di RTH Kota Samarinda menggunakan <i>national tree benefit calculator</i> (Dina Hayati Putri, Budiman Budiman)	18-36
Analisis kualitas air Sungai Krueng Aceh berdasarkan indeks pencemaran untuk pengelolaan lingkungan berkelanjutan (Rizky Kurniawan, Maysitah Maysitah, Irhamni Irhamni, Mutia Ardila, Hadi Kurniawan)	37-51
Integrasi ecosystem approach to aquaculture (EAA) dalam penilaian keberlanjutan multidimensi budidaya rumput laut di Teluk Sampolawa (Muhaimin Ali Ma'ruf, Zairion Zairion, Gatot Yulianto, Ali Mashar)	52-69
Strategi keberlanjutan kegiatan jasa pengolahan limbah medis melalui pendekatan SWOT (Imaniar Septa Kencana Wuri, Sri Setiawati Tumuyu, Suyud Warno Utomo)	70-83
Studi evaluatif ketersediaan dan kualitas ruang terbuka hijau di kawasan Kecamatan Jatinegara (Hakim Hakim, Tri Endangsih, Rismawandi Rismawandi)	84-100
Strategi pengelolaan sampah anorganik di Pasar Kebayoran Lama Jakarta (Rizka Shafira, Dewi Elfidasari, Nunung Nurhasanah)	101-122

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