

Pemilihan alternatif pengolahan air lindi untuk TPA Nusa Lembongan, Bali dengan proses hierarki analitik (AHP)

Selection of alternative leachate treatment for TPA Nusa Lembongan, Bali with an analytical hierarchy process (AHP)

Farhan Hadi Siregar¹, Muhammad Jatmoko¹, Aulia Risky Adinda¹, Rika Chairani Dalimunthe¹, Mega Mutiara Sari^{1*}, I Wayan Koko Suryawan¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pertamina, Jakarta, Indonesia

Abstrak.

Sampah yang dihasilkan di Nusa Lembongan diolah dengan cara *open dumping*. *Open dumping* cenderung menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, salah satunya lindi. Lindi akan berdampak pada ekosistem sekitarnya jika tidak aman. Pengolahan dapat diterapkan dengan berbagai cara, salah satunya kolam stabilisasi limbah. Namun teknologi ini tidak akan cukup untuk menambah pengolahan lebih lanjut. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan teknologi pengolahan yang tepat untuk pengolahan lindi selanjutnya di TPA Nusa Lembongan. Penelitian ini menggunakan studi literatur dan proses hirarki analitik untuk pengambilan keputusan. Ada tiga alternatif yang diberikan, yaitu biofilter, lahan basah, dan reaktor baffle anaerobik (ABR). Kriteria yang digunakan adalah estimasi biaya, luas lahan, dan tunjangan BOD. Alternatif penggunaan ABR memiliki nilai bobot paling tinggi dibandingkan kedua teknologi lainnya. Hal ini karena ABR membutuhkan luas lahan yang lebih rendah dibandingkan dua alternatif lainnya. Hal ini sesuai dengan keterbatasan lahan yang tersedia di Nusa Lembongan.

Abstract.

The waste generated in Nusa Lembongan is processed by open dumping. Open dumping tends to have a negative impact on the environment, one of which is leachate. The leachate will have an impact on the surrounding ecosystem if it is not safe. Treatment can be applied in various ways, one of which is a waste stabilization pond, but this technology will not be enough to add further treatment. The purpose of this study is to determine the appropriate treatment technology for further treatment of leachate at the Nusa Lembongan TPA. This research uses literature study and analytic hierarchy process for decision analysis. There are three alternatives given, namely biofilter, wetland, and anaerobic baffle reactor (ABR). The criteria used are cost estimation, land area, and BOD allowance, alternative use of ABR has the highest weight value compared to the other two technologies. This is because ABR requires a low land area compared to the other two alternatives. This fits with the limited land available in Nusa Lembongan.

Keywords: Nusa Lembongan, waste management, leachate

Kata kunci: Nusa Lembongan, pengelolaan sampah, lindi

1. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang dihadapi Bali sebagai daerah tujuan wisata di Indonesia adalah dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan yang meliputi tiga aspek yaitu keberlanjutan ekonomi, sosial budaya dan lingkungan (Komin and Sedana 2019; Suryawan *et al.* 2021; Suryawan and Lee 2023). Teknologi dan kebijakan pengelolaan sampah tidak sejalan dengan peningkatan produksi sampah. Pengelolaan sampah di Provinsi Bali yang masih mengandalkan *open dumping* menyebabkan umur TPA lebih pendek dari yang seharusnya.

* Korespondensi Penulis
Email : mega.ms@universitaspertamina.ac.id

Sebagian besar TPA dioperasikan dengan metode *open dumping* yang menghasilkan potensi pencemaran yang tinggi terhadap lingkungan (Sari *et al.* 2022). Beberapa TPA juga belum dilengkapi dengan fasilitas yang memadai seperti sistem drainase, penampung gas metan, dan pengelolaan lindi. Salah satu TPA yang ada di Bali adalah TPA Nusa Lembongan, Desa Jungutbatu yang berada pada kawasan hutan mangrove. Lindi yang dihasilkan berpotensi mencemari kawasan tersebut (Jatmoko *et al.* 2021). Pulau Nusa Lembongan, Bali memiliki potensi dan pemanfaatan ekosistem mangrove (Palguna *et al.* 2017; Pricillia *et al.* 2021). Ekosistem mangrove Nusa Lembongan memiliki potensi flora dan fauna. Potensi flora dan fauna di ekosistem mangrove menyebabkan pemanfaatan berbagai kegiatan kawasan khususnya wisata bahari.

Pesisir dan laut merupakan suatu sistem dinamis yang terdiri dari beberapa ekosistem utama seperti: estuari, lamun, mangrove, dan terumbu karang. Ekosistem mangrove merupakan ekosistem yang berada di kawasan lindung dan memiliki salinitas payau hingga asin (Sinsin *et al.* 2021). Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang sangat produktif dan merupakan rumah bagi berbagai jenis biota laut. Sistem pengolahan lindi yang saat ini banyak diaplikasikan adalah sistem kolam stabilisasi (Bakhshoodeh *et al.* 2017). Sistem ini terdiri dari kolam pra sedimentasi, kolam stabilisasi (WSP), WSP fakultatif, dan WSP maturase (Darwin *et al.* 2021). Akan tetapi teknologi WSP ini masih belum cukup untuk memenuhi standar kriteria baku mutu (Darwin *et al.* 2021). Oleh karena itu, dibutuhkan pengolahan lanjutan yang dapat meningkatkan kualitas air lindi.

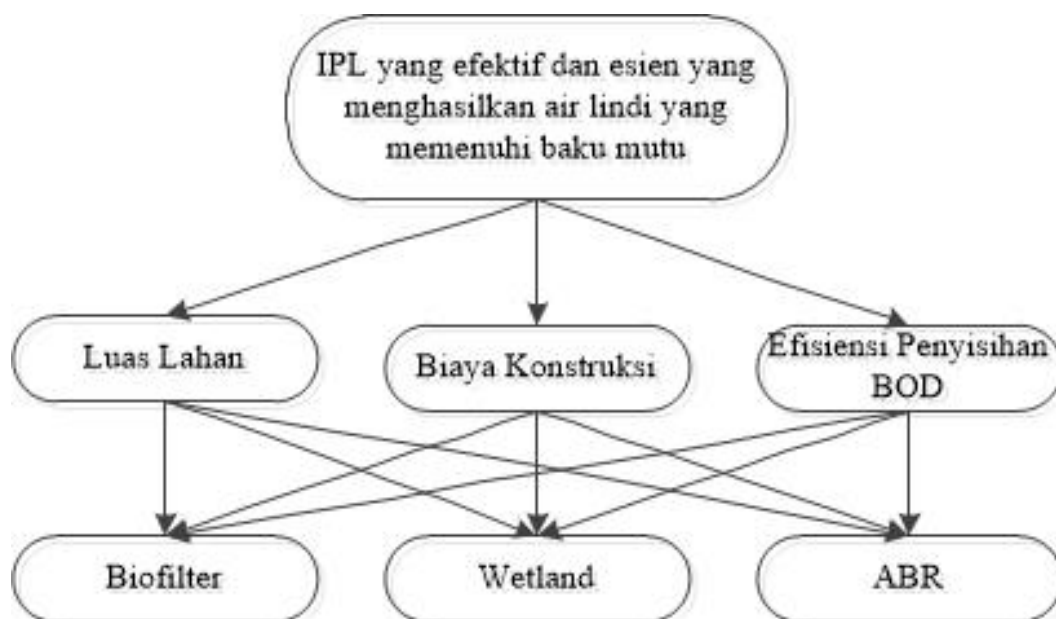
Tujuan penelitian ini adalah menentukan alternatif yang tepat untuk pengolahan lindi untuk diterapkan di Nusa Lembongan dengan metode AHP. AHP telah mendapatkan perhatian yang meningkat dalam domain pengelolaan lingkungan sebagai teknik untuk menganalisis situasi yang kompleks dan membuat keputusan yang tepat dalam pilihan berbagai alternatif (Gumus 2009; Samah *et al.* 2010; Sari *et al.* 2022).

2. METODOLOGI

2.1. Prosedur analisis data

Pemilihan alternatif rancangan dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). AHP adalah suatu teori umum tentang pengukuran yang digunakan untuk menemukan skala rasio, baik dari perbandingan berpasangan yang diskrit maupun kontinu (Saaty 1990). Hierarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multilevel. Level pertama adalah tujuan yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya hingga level terakhir dari alternatif.

Struktur hierarki digunakan pada tahap awal dengan tujuan umum, dilanjutkan dengan kriteria-kriteria dan alternatif-alternatif pilihan. Perancangan pengembangan TPA Nusa Lembongan dengan sistem *sanitary landfill* memiliki tujuan umum yaitu, mengelola air lindi sehingga memenuhi standar baku mutu untuk dapat dibuang ke badan air. Adapun kriteria yang digunakan dalam memilih alternatif yaitu, luas lahan, biaya konstruksi, serta efisiensi penyisihan BOD (**Gambar 1**).



Gambar 1. Struktur hierarki AHP dalam pemilihan alternatif pengolahan lanjut.

Penilaian bobot terhadap kriteria dilakukan dengan membandingkan setiap kriteria. Penilaian dilakukan dengan memberikan penetapan berdasarkan tingkat kepentingan. Adapun nilai-nilai yang diberikan memiliki definisi, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Penetapan bobot kriteria berdasarkan tingkat kepentingan (Saaty 1990).

Tingkat kepentingan	Definisi
1	Sama pentingnya dibanding yang lain
3	Moderat pentingnya dibanding yang lain
5	Sama kuat pentingnya dibanding yang lain
7	Sangat kuat pentingnya dibanding yang lain
9	Ekstrem/mutlak pentingnya dibanding yang lain
2, 4, 6, 8	Nilai di antara dua penilaian yang berdekatan

Penetapan bobot terhadap kriteria dilakukan dengan mengurutkan kriteria yang dianggap paling penting dengan urutan 1) luas lahan; 2) biaya konstruksi; dan 3) efisiensi penyisihan BOD.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

TPA Nusa Lembongan memiliki lahan yang terbatas. Terbatasnya lahan ini karena di sekitar lokasi merupakan kawasan hutan bakau (**Gambar 2**). Dalam pengurutan kriteria, luas lahan menjadi hal yang paling penting dibandingkan dengan kriteria yang lain, secara rinci ditampilkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Matriks penilaian kriteria dalam AHP.

Kriteria	Biaya konstruksi	Luas lahan	Efisiensi penyisihan BOD
Biaya konstruksi	1	1/5	1/3
Luas lahan	5	1	3
Efisiensi penyisihan	3	1/3	1

**Gambar 2.** Sketsa lokasi TPA Nusa Lembongan.

Perhitungan indeks konsistensi (CI) dilakukan dengan membagi rata-rata *consistency measure* dikurangi dengan jumlah data dengan jumlah data dikurang satu. Selanjutnya, perhitungan rasio konsistensi (CR). CR didapatkan dengan pembagian CI dan RI. RI didapatkan melalui tabel skala Saaty. Nilai $CR < 0,1$ menunjukkan hasil yang konsisten, sedangkan $CR > 0,1$ menunjukkan hasil yang tidak konsisten sehingga perlu dilakukan perhitungan ulang (Saaty 1990). Nilai CR yang dihasilkan yakni $< 0,1$ sehingga menunjukkan bahwa nilai pembobotan yang dilakukan terhadap kriteria dapat digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

Tabel 3 memperlihatkan nilai bobot tertinggi untuk kriteria, ditunjukkan pada kebutuhan luas lahan yaitu 0,633. Hal ini menunjukkan hierarki pada kriteria ini lebih tinggi dibandingkan dengan kriteria lainnya. Hal ini berhubungan dengan luas lahan yang tersedia di Nusa Lembongan sangat terbatas.

Tabel 3. Hasil perhitungan matriks penilaian kriteria dalam AHP.

Kriteria	Biaya konstruksi	Luas lahan	Efisiensi penyisihan BOD	Rata - rata	Consistency Measure
Biaya konstruksi	0,111	0,130	0,077	0,106	3,0112
Luas lahan	0,556	0,652	0,692	0,633	3,0720
Efisiensi penyisihan	0,333	0,217	0,231	0,260	3,0330
		CI			0,019
		RI			0,9
		C. Ratio			0,021

Penilaian alternatif dilakukan dengan melakukan perbandingan setiap kriteria untuk masing-masing alternatif. Sama seperti halnya penilaian bobot kriteria, penilaian alternatif juga dilakukan dengan memberikan nilai berdasarkan tingkat kepentingan. Perhitungan yang dilakukan untuk masing-masing alternatif sama seperti perhitungan untuk penilaian bobot kriteria.

Penilaian alternatif dilakukan dengan melakukan perbandingan setiap kriteria untuk masing-masing alternatif. Sama seperti halnya penilaian bobot kriteria, penilaian alternatif juga dilakukan dengan memberikan nilai berdasarkan tingkat kepentingan. Perhitungan yang dilakukan untuk masing-masing alternatif sama seperti perhitungan untuk penilaian bobot kriteria. Data kuantifikasi setiap alternatif dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil perhitungan matriks penilaian kriteria dalam AHP.

Alternatif	Estimasi biaya konstruksi	Estimasi luas lahan	Efisiensi penyisihan BOD
<i>Biofilter</i>	Rp 24.225.835 (Santoso 2015)	15,8 m ² (Maryani 2016)	96% (Maryani 2016)
<i>Wetland</i>	Rp 6.574.527 (Hidayat <i>et al.</i> 2014)	480 m ² (Safrodin <i>et al.</i> 2017)	97% (Nivala <i>et al.</i> 2007)
ABR	Rp 64.319.391 (Maryani 2016)	10,1 m ² (Maryani 2016)	98% (Maryani 2016)

Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan bobot untuk setiap alternatif berdasarkan estimasi biaya konstruksi. Pemilihan teknologi pengolahan yang layak secara teknis dan hemat biaya sangat penting bagi daerah berpenghasilan rendah daripada yang menderita karena sumber daya keuangan yang terbatas dan kelangkaan air (Massoud *et al.* 2009). Biaya merupakan faktor penting dalam merancang suatu proses; baik untuk *wetland* dan ABR (Aleissa and Bakshi 2021). Dalam studi kasus ini, tidak ada kendala biaya atau area yang diberlakukan untuk mengakomodasi dapat dilakukan skenario ekstrem yang mungkin muncul (Aleissa and Bakshi 2021).

Tabel 5. Hasil perhitungan matriks penilaian kriteria estimasi biaya konstruksi dalam AHP.

Kriteria	<i>Biofilter</i>	<i>Wetland</i>	ABR	Bobot	Consistency measure
<i>Biofilter</i>	0,111	0,130	0,077	0,106	3,0112
<i>Wetland</i>	0,556	0,652	0,692	0,633	3,0720
ABR	0,333	0,217	0,231	0,260	3,0330
		CI			0,019
		RI			0,58
		C. Ratio			0,033

ABR mahal tapi bisa sangat kecil. Di sisi lain, *wetland* adalah pilihan yang lebih murah, tetapi membutuhkan lahan yang lebih luas. Dengan sendirinya, setiap opsi pasti dapat mengolah air limbah untuk memenuhi kriteria yang ditentukan jika tidak ada kendala yang dikenakan pada biaya atau area. Nilai bobot area yang paling tinggi berada pada teknologi ABR (**Tabel 6**). Namun, untuk mengurangi disparitas antara dua opsi *wetland*, kombinasi keduanya memberikan solusi yang lebih baik dalam hal area yang dibutuhkan lebih rendah dan biaya yang dikeluarkan lebih sedikit (Aleissa and Bakshi 2021). Perhatikan bahwa beberapa kombinasi lebih baik daripada yang lain. Konfigurasi paralel menghasilkan hasil yang kurang diinginkan daripada konfigurasi seri karena selalu lebih mahal untuk area yang sama dan aliran *input* dan *output* yang identik.

Tabel 6. Hasil perhitungan matriks penilaian kriteria estimasi luas lahan dalam AHP.

Kriteria	<i>Biofilter</i>	<i>Wetland</i>	ABR	Bobot	<i>Consistency measure</i>
<i>Biofilter</i>	0,111	1,957	0,077	0,715	2,6232
<i>Wetland</i>	0,037	0,652	0,046	0,245	3,0124
ABR	0,333	3,261	0,231	1,275	3,6433
	CI				0,046
	RI				0,58
	C. Ratio				0,080

Secara umum, ABR tampaknya merupakan tahap perawatan primer yang efektif (**Tabel 7**), yang lebih disukai karena pengoperasiannya yang mudah dan sederhana serta produksi massal yang rendah di bawah iklim hangat (Liu *et al.* 2015). Ini mencapai tingkat penghilangan bahan organik dan sebagian besar organik yang tinggi dalam kisaran yang diharapkan, membatasi beban organik dan tersuspensi ke *wetland* hibrida hilir dan dengan cara ini mengurangi risiko penyumbatan dalam jangka panjang (Knowles *et al.* 2011). Selain itu, efisiensi penyisihan di ABR menurunkan beban polutan organik lebih besar dibandingkan alternatif lain.

Tabel 7. Hasil perhitungan matriks penilaian kriteria efisiensi penyisihan BOD dalam AHP.

Kriteria	<i>Biofilter</i>	<i>Wetland</i>	ABR	Bobot	<i>Consistency measure</i>
<i>Biofilter</i>	0,111	0,130	0,077	0,106	3,0112
<i>Wetland</i>	0,556	0,652	0,692	0,633	3,0720
ABR	0,333	0,217	0,231	0,260	3,0330
	CI				0,019
	RI				0,58
	C. Ratio				0,033

Setelah perhitungan penilaian untuk seluruh kriteria dan alternatif dilakukan, selanjutnya pemilihan alternatif. Berikut ini merupakan tabel kesimpulan dari perbandingan antara bobot kriteria dengan alternatif (**Tabel 8**). Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat dilihat bahwa alternatif dengan menggunakan ABR memiliki bobot tertinggi, yaitu sebesar 0,903. Dengan demikian, pengolahan lindi dilakukan dengan menggunakan alternatif 3 yaitu, kolam anaerobik, kolam fakultatif, kolam maturasi, dan ABR.

Tabel 8. Hasil perhitungan akhir pemilihan alternatif dengan AHP.

Alternatif	Bobot untuk kriteria terhadap alternatif			Bobot kriteria terhadap kriteria	Total bobot
	Biaya konstruksi	Luas lahan	Efisiensi penyisihan		
Biofilter	0,106	0,715	0,106	0,106	0,492
Wetland	0,633	0,245	0,633	0,633	0,387
ABR	0,260	1,275	0,260	0,260	0,903

Dengan mencari desain yang lebih berkelanjutan dan memahami atribut pengolahan lahan basah, kami melakukan penyesuaian pada proses dan parameter desain yang menghasilkan desain terintegrasi yang lebih baik. Desain terpadu dapat dicapai dengan memanfaatkan karakteristik luas lahan dan biaya perawatan murah. Perubahan desain kimia konvensional ini dapat mengarah pada pengembangan konsep inovatif yang meningkatkan keberlanjutan proses mengurangi dampak negatif timbulan air lindi ke ekosistem sekitar TPA di Nusa Lembongan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Ada tiga alternatif yang diberikan dalam mengolah lindi dengan sistem WSP di Nusa Lembongan yaitu biofilter, *wetland*, dan ABR. Kriteria yang digunakan adalah estimasi biaya, luas lahan, dan tunjangan BOD, alternatif penggunaan ABR memiliki nilai bobot paling tinggi dibandingkan kedua teknologi lainnya. Hal ini karena ABR membutuhkan lahan yang lebih rendah dibandingkan dengan dua alternatif lainnya. Hal ini sesuai dengan keterbatasan lahan yang tersedia di Nusa Lembongan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aleissa YM dan Bakshi BR. 2021. Constructed wetlands as unit operations in chemical process design: benefits dan simulation. *Computers & Chemical Engineering* 153:107454.
- Bakhshoodeh R, Alavi N, Majlesi M dan Paydary P. 2017. Compost leachate treatment by a pilot-scale subsurface horizontal flow constructed wetland. *Ecological Engineering* 105:7–14.
- Darwin D, Prajati G, Adicita Y, Suryawan IWK dan Sarwono A. 2021. Evaluation of wastewater treatment in Nusa Dua tourism area dan their challenges to algae bloom. *Astonjadro: Ceaesj* 10(2):346–351.

- Gumus AT. 2009. Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP dan TOPSIS methodology. *Expert Systems with Applications* 36(2):4067-4074.
- Hidayat T, Darmayanti L dan Sujatmoko B. 2014. Model fisik sub surface flow constructed wetland untuk pengolahan air limbah Musala Al-Jazari Fakultas Teknik Universitas Riau. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik* 1(2):1-13.
- Jatmoko M, Adinda AR, Siregar FH, Dalimunthe RC, Sari M dan Pertama. 2021. Perencanaan proses pengolahan lindi di TPA Nusa Lembongan dengan Menggunakan Kolam Stabilisasi. *Jurnal Teknik Pengairan* 12(2):165–173.
- Knowles P, Dotro G, Nivala J and García J. 2011. Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: occurrence dan contributing factors. *Ecological Engineering* 37(2):99–112.
- Komin W and Sedana G. 2019. Sustainable agricultural technologies on rice farming: case of Subaks' in Bali Province, Indonesia. *Journal of Sustainable Development Science* 1(1):18-26.
- Liu R, Zhao Y, Doherty L, Hu Y and Hao X. 2015. A review of incorporation of constructed wetland with other treatment processes. *Chemical Engineering Journal* 279:220–230.
- Maryani PA. 2016. Perencanaan detail engineering design (DED) instalasi pengolahan air limbah tempat pelelangan ikan (TPI) Sedati. *Jurnal Teknik ITS* 4(1):1-5.
- Massoud MA, Tarhini A and Nasr JA. 2009. Decentralized approaches to wastewater treatment dan management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management* 90(1):652–659
- Nivala J, Hoos M B, Cross C, Wallace S and Parkin G. 2007. Treatment of landfill leachate using an aerated, horizontal subsurface-flow constructed wetland. *The Science of The Total Environment* 380(1):19-27.
- Palguna IBA, Ardhana IP dan Arthana IW. 2017. Struktur dan keanekaragaman jenis mangrove di Kawasan Hutan Mangrove Nusa Lembongan, Kecamatan Nusa Penida, Kabupaten Klungkung. *Ecotrophic – Jurnal Ilmu Lingkungan* 11(2):108–115.

- Pricillia CC, Patria MP and Herdiansyah H. 2021. Environmental conditions to support blue carbon storage in mangrove forest: a case study in the mangrove forest, Nusa Lembongan, Bali, Indonesia. *Biodiversitas - Journal of Biological Diversity* 22(6):3304–3314.
- Saaty TL. 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 48(1):9–26.
- Safrodin A, Mangkoedihardjo S dan Yuniarto A. 2017. Desain IPAL subsurface flow constructed wetland di Rusunawa Grudo, Surabaya. *IPTEK Journal of Proceedings Series* 3(5):198–207.
- Samah MAA, Manaf LA and Zukki NIM. 2010. Application of AHP model for evaluation of solid waste treatment technology. *International Journal of Engineering, Science and Technology* 1(1):35–40.
- Santoso A. 2015. Perencanaan pengolahan air limbah media biofilter (studi kasus : Kejawan Gebang Kelurahan Keputih Surabaya) [skripsi]. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Sari NA, Rini MA, Oktaviani WN, Ghaida RN, Sari MM dan Suryawan IWK. 2022. Penentuan teknologi pengolahan sampah menjadi energi di Kabupaten Boyolali dengan Analytic Hierarchy Process (AHP). *Dinamika Lingkungan Indonesia* 9(1):17-24.
- Sinsin CBL, Salako KV, Fdanohan AB, Kouassi KE, Sinsin BA and Glèlè KR. 2021. Potential climate change induced modifications in mangrove ecosystems: a case study in Benin, West Africa. *Environment Development and Sustainability* 24(1): 4901–4917.
- Suryawan IWK, Rahman A, Septiariva I Y, Suhardono S and Wijaya IMW. 2021. Life cycle assessment of solid waste generation during dan before pandemic of Covid-19 in Bali Province. *Journal of Sustainability Science and Management* 16(1):11-21.
- Suryawan IWK and Lee C-H. 2023. Citizens' willingness to pay for adaptive municipal solid waste management services in Jakarta, Indonesia. *Sustainable Cities and Society* 97(20):104765.