ISSN 2598-0017
E-ISSN 2598-0025

Volume 8 Nomor 1 Tahun 2024
April 2024

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN

(Journal of Environmental Sustainability Management)

Jurnal ini dikelola oleh :
Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL) se-Indonesia
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 Biologi (Biodiversity)
Prof. Dr. Okid Parama Astirin, M.S (UNS)
Dr. Suwondo, M.Si (Unri)

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

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

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

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

Asisten Editor
Gatot Prayoga, S.Pi (IPB)
Fikri Sakti Firmansyah, S.Hut (IPB)
Jauhar Zainalarifin, S.Pi (IPB)

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.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN
Journal of Environmental Sustainability Management

JPLB
Vol. 8 No. 1 (2024)
ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025
Tersedia di https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb

Analisis kinerja boezem dalam penurunan parameter air limbah: studi kasus Morokrembangan, Surabaya, Indonesia

Analysis of boezem's performance in reducing wastewater parameters: a case study in Morokrembangan, Surabaya, Indonesia

Agus Slamet[1,2*], Putri Brikke Sukma Hartati[1], Ervin Nurhayati[1,2], Andriyan Yulikasari[1,2]

[1]Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
[2]Pusat Penelitian Infrastruktur dan Lingkungan Berkelanjutan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Abstrak.
Boezem Morokrembangan memiliki fungsi ganda yaitu sebagai pengendalian banjir dan tampungan air limbah perkotaan. Penelitian ini dilakukan pada musim kemarau dan penghujan dengan waktu masing-masing selama 10 hari. Sampel air dikumpulkan pada 5 titik *sampling* dengan analisis parameter berupa COD, DO, pH, TS, TSS, dan temperatur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air boezem mengalami pencemaran berat dengan konsentrasi pencemar yang melebihi baku mutu badan air kelas IV. Karakteristik air limbah menunjukkan nilai yang cenderung lebih bagus pada musim penghujan daripada musim kemarau. Beban pencemar yang berada di *inlet* boezem nilainya lebih besar 2x lipat dibandingkan dengan beban pencemar yang berapa di *outlet* boezem. Oleh karena itu, besarnya beban pencemar yang masuk ke Boezem Morokrembangan mengakibatkan boezem kehilangan kemampuan pemulihan diri. Kinerja penurunan parameter air hanya mampu menghasilkan efisiensi sebesar 22,10%; 8,65%; dan 19,50% untuk parameter COD, TS, dan TSS, masing-masing pada musim penghujan.

Kata kunci: Boezem Morokrembangan, beban pencemar, kualitas air limbah, musim kemarau dan penghujan

Abstract.
Boezem Morokrembangan has a dual function, i.e. as a flood control and urban wastewater reservoir. This research was conducted in the dry and rainy seasons with a period of 10 days each. Water samples were collected at 5 sampling points with parameter analysis such as COD, DO, pH, TS, TSS, and temperature. The results showed that the boezem water quality was heavily polluted with pollutant concentration exceeding the quality standards of class IV for water bodies. Wastewater characteristics indicated that values tended to be better in the rainy season than the dry season. The pollutant load at the boezem inlet was 2x greater than the pollutant load at the boezem outlet. As a result, the amount of pollutant load that goes into the Boezem Morokrembangan caused the boezem loses its self-purification ability. The performance of reducing wastewater parameters was only able to produce efficiencies of 22.10%, 8.65%, and 19.50% for COD, TS, and TSS parameters, respectively in the rainy season.

Keywords: Boezem Morokrembangan, pollutant load, wastewater quality, dry and rainy season

1. PENDAHULUAN

Kolam penampungan air sebagai pengendali limpasan air hujan, pengendali banjir, dan penampungan air drainase perkotaan disebut sebagai boezem (Ratnawati *et al*. 2020). Meningkatnya urbanisasi, seperti kehilangan vegetasi, penggantian area yang sebelumnya permeabel dengan permukaan yang kedap air, dan perubahan saluran drainase, menyebabkan penurunan kualitas air perkotaan (Moghadam *et al.* 2023; Yang *et al*. 2023). Aktivitas manusia, termasuk produksi industri dan pertanian, perluasan wilayah perkotaan, dan limpasan permukaan yang berkurang menyebabkan perubahan tata letak dan hidrologi boezem (Zhang *et al.* 2023).

* Korespondensi Penulis
Email : agus.tlits@gmail.com

 DOI: https://doi.org/10.36813/jplb.8.1.1-12

Kota Surabaya terdapat beberapa boezem, salah satunya yang terbesar adalah Boezem Morokrembangan yang melayani sekitar 25% dari total luas Kota Surabaya (Fitrianingtyas dan Slamet 2018). Boezem ini tidak hanya menerima limpasan air hujan namun juga menerima air limbah perkotaan yang masuk bersamaan dengan air drainase (Najih *et al*. 2020). Jumlah penduduk Kota Surabaya pada tahun 2022 sekitar 2,8 juta jiwa dan berpotensi meningkat setiap tahunnya mengakibatkan beban pencemar dari air limbah perkotaan juga akan semakin tinggi (Lasminto 2017).

Kondisi Boezem Morokrembangan saat ini mengalami pendangkalan, berbau tidak sedap, keruh, dan berwarna hitam (Karnaningroem dan Paitaha 2021). Pendangkalan juga terjadi karena sedimen dan sampah yang terbawa oleh aliran drainase (Baihaqi dan Soebagio 2021). Beban pencemar yang terus masuk ke boezem mengakibatkan zat organik berlimpah dan berujung pada pertumbuhan alga yang tidak terkendali (*eutrophication*) (Slamet dan Hermana 2012). *Eutrophication* meningkatkan kesuburan boezem yang pada gilirannya menyebabkan perkembangan *cyanobacteria*, diatom, dan ganggang hijau yang tidak diinginkan. Organisme ini menggunakan oksigen untuk proses fotosintesis dan dengan cepat melipat gandakan biomassa mereka, sehingga pertumbuhan yang berlebihan menyebabkan penurunan kualitas air yang signifikan (Buta *et al*. 2023). Selain itu, kemampuan *self-purification* Boezem Morokrembangan akan mengalami penurunan jika konsentrasi oksigen dalam air menjadi terganggu akibat kehadiran alga tersebut (Ratnawati *et al*. 2020). Pada akhirnya hal ini akan mempengaruhi penurunan konsentrasi air limbah yang masuk ke Boezem Morokrembangan.

Dalam penelitian ini, studi analisis kinerja Boezem Morokrembangan dalam menurunkan parameter pencemar air limbah dilakukan pada musim kemarau dan musim penghujan melalui parameter *chemical oxygen demand* (COD), *dissolved oxygen* (DO), pH, temperatur, *total solids* (TS), dan *total suspended solids* (TSS).

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi penelitian

Lokasi penelitian berada di Boezem Morokrembangan, Kecamatan Morokrembangan, Surabaya, Indonesia. Terdapat dua bagian di Boezem ini, yaitu Boezem Utara dan Boezem Selatan. Kapasitas masing-masing boezem yaitu, 415.790 m^3 dan 434.466 m^3.

Lokasi penelitian dikelilingi oleh pemukiman dan dilintasi jalan tol Gempol-Gresik. Boezem Morokrembangan menampung air dari 3 saluran drainase, yaitu Kali Greses, Kali Pesapen, dan Kali Purwodadi. Saluran Kali Greges memiliki luas 2325,72 Ha dan penggunaan lahan di sekitar saluran ini merupakan pemukiman penduduk daerah Asemrowo dan Tambak Asri. Saluran Kali Pesapen dengan luas total 278,52 Ha juga dikelilingi oleh pemukiman penduduk dari daerah Tanjungsari. Saluran Kali Purwodadi yang memiliki luas total 87,89 Ha dengan penggunaan lahan sekitar pemukiman padat penduduk daerah Jepara dan Sedayu. Permasalahan utama pada ketiga saluran ini adalah buangan sampah, air limbah, dan sedimentasi.

2.2. Teknik pengumpulan sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada musim kemarau dan musim hujan, selama 10 hari masing-masing. Terdapat 5 titik *sampling* (**Gambar 1**) pada daerah penelitian. Titik 1 dan 5 berada di *inlet* Kali Greges dan *inlet* Kali Purwodadi. Titik 2 berada di *outlet* yang menuju ke Boezem Morokrembangan Utara. Sementara, titik 3 dan 4 berada di dalam area Boezem Morokrembangan. Teknik pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab* sampel.

Gambar 1. Lokasi penelitian dan titik *sampling.*

2.3. Analisis parameter

Beberapa parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah COD, TS, TSS, temperatur, pH, dan DO. Pengukuran temperatur, pH, dan DO menggunakan thermometer, pH meter, dan DO meter. Analisis COD dilakukan berdasarkan *standard methods* 5220B metode *close reflux*. Analisis *total solids* (TS) berdasarkan *standard methods* 2540B, metode *total solids dried* pada 103-105 ^{0}C. Analisis *total suspended solids* (TSS) berdasarkan *standard method* 2540D, metode *total suspended solids dried* 103-105 ^{0}C.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

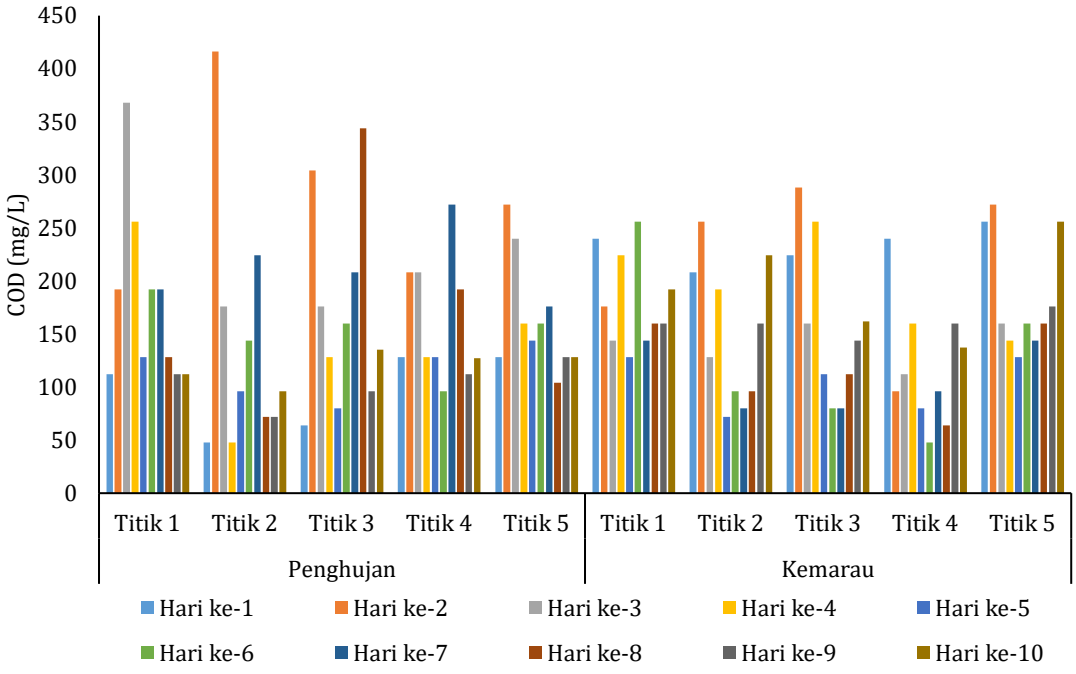
3.1. Kualitas air

Hasil pengujian parameter kualitas air Boezem Morokrembangan pada musim penghujan dan kemarau ditunjukkan pada **Gambar 2** hingga **Gambar 5**. Parameter kualitas air yang diteliti pada penelitian ini adalah COD, TS, TSS, DO, pH, dan temperatur. Hasil penelitian menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan terhadap kualitas air boezem pada musim penghujan dan kemarau. Konsentrasi COD (**Gambar 2**) yang masuk ke boezem pada musim penghujan dan kemarau masing-masing dalam rentang, 48–416 mg/L dan 72–272 mg/L. Konsentrasi TS (**Gambar 3**) yang masuk ke boezem pada musim penghujan dan kemarau adalah 428 – 896 mg/L dan 544–2740 mg/L, masing-masing. Konsentrasi TSS (**Gambar 4**) pada musim penghujan dan kemarau memiliki rentang 1–132 mg/L dan 4–120 mg/L, masing-masing. Konsentrasi DO (**Gambar 5**) pada musim penghujan dan kemarau memiliki rentang nilai 0,8–5,2 mg/L dan 0,6–7,8 mg/L, masing-masing. Nilai pH dan temperatur pada musim kemarau dan penghujan memiliki rentang nilai 5,1–7,36 dan 6,6–9,4; 30–35,6 ^{0}C dan 25,5–31,5 ^{0}C, masing-masing.

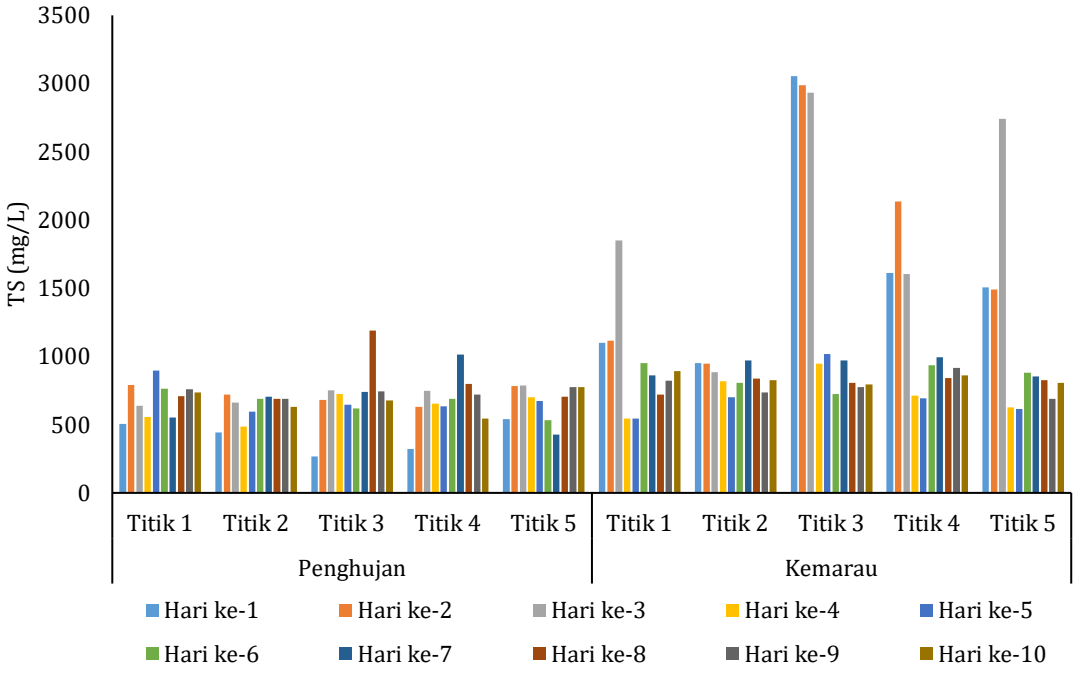
Analisis parameter fisik–kimia air boezem, seperti COD, TS, TSS, DO, pH dan temperatur menjadi penting karena berkaitan dengan batas konsentrasi polutan pada kualias air boezem kelas IV. Berdasarkan hasil penelitian, semua parameter yang di analisis tidak memenuhi baku mutu badan air kelas IV, kecuali untuk parameter TSS (p<400 mg/L). Parameter temperatur yang direkomendasikan adalah dalam rentang 22–28 ^{0}C, sedangkan temperatur sampel baik musim penghujan dan kemarau, nilainya melampaui batas ini.

Temperatur yang tinggi dapat berpengaruh pada aktivitas metabolisme mikroorganisme yang ada di air dan menyebabkan konsentrasi oksigen dalam air menipis, sehingga mampu mengubah pola distrubusi fitoplankton (Agwu *et al*. 2023). Konsentrasi TS dalam dua musim menunjukkan nilai yang cenderung tinggi (p>500 mg/L), nilai yang cenderung tinggi ini dapat disebabkan karena air boezem mengandung N dan P yang tinggi. Pada akhirnya akan menimbulkan tumbuhnya alga pada boezem (Fitrianingtyas dan Slamet 2018).

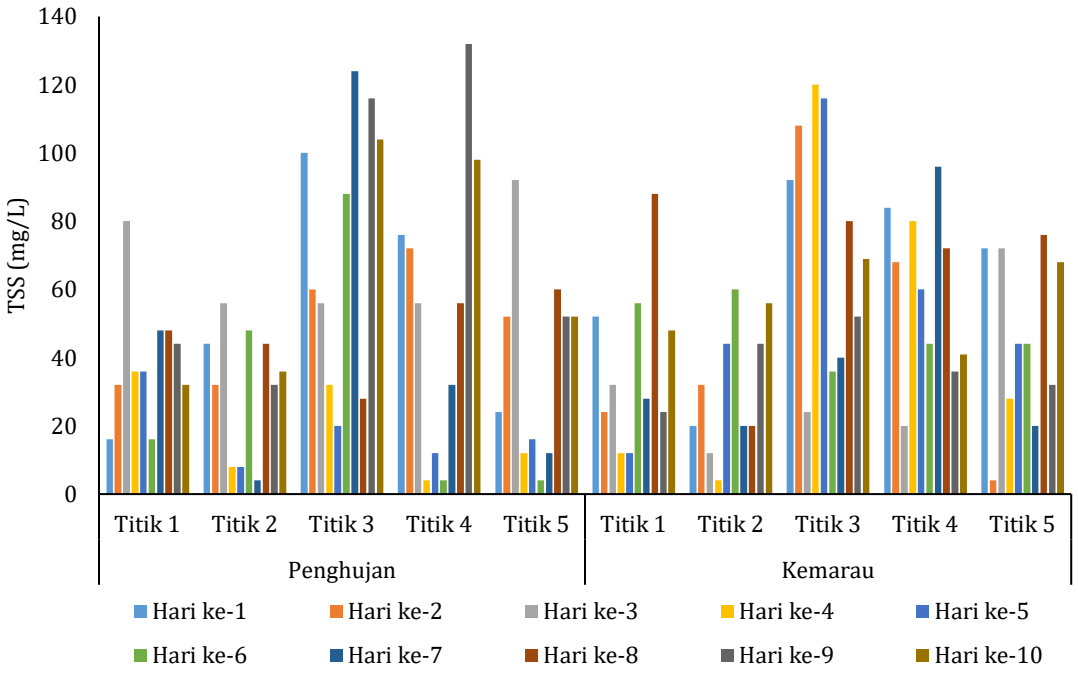
Parameter pH dapat menunjukkan tingkat keasaman air boezem dan indikator kualitas air yang menentukan kesesuaian air untuk berbagai keperluan (Lkr *et al*. 2020). Baku mutu badan air untuk parameter pH adalah dalam rentang 6-9, nilai ini tidak terpenuhi pada musin penghujan maupun pada musim kemarau. Pada musim penghujan, batas bawah pH boezem tidak memenuhi, sedangkan pada musim kemarau nilai batas atas pH boezem yang tidak memenuhi. Konsentrasi COD baik pada musim penghujan maupun musim kemarau, nilainya melebihi baku mutu badan air kelas IV (p>80 mg/L). Tingkat pencemaran di Boezem Morokrembangan relatif tinggi, lebih dari itu parameter COD dapat digunakan sebagai representatif untuk perhitungan bahan organik yang terkandung dalam boezem (Suriadikusumah *et al.* 2021). Disisi lain, konsentrasi DO dalam boezem menunjukkan batas minimal yang kurang dari baku mutu kelas IV (p>1 mg/L).



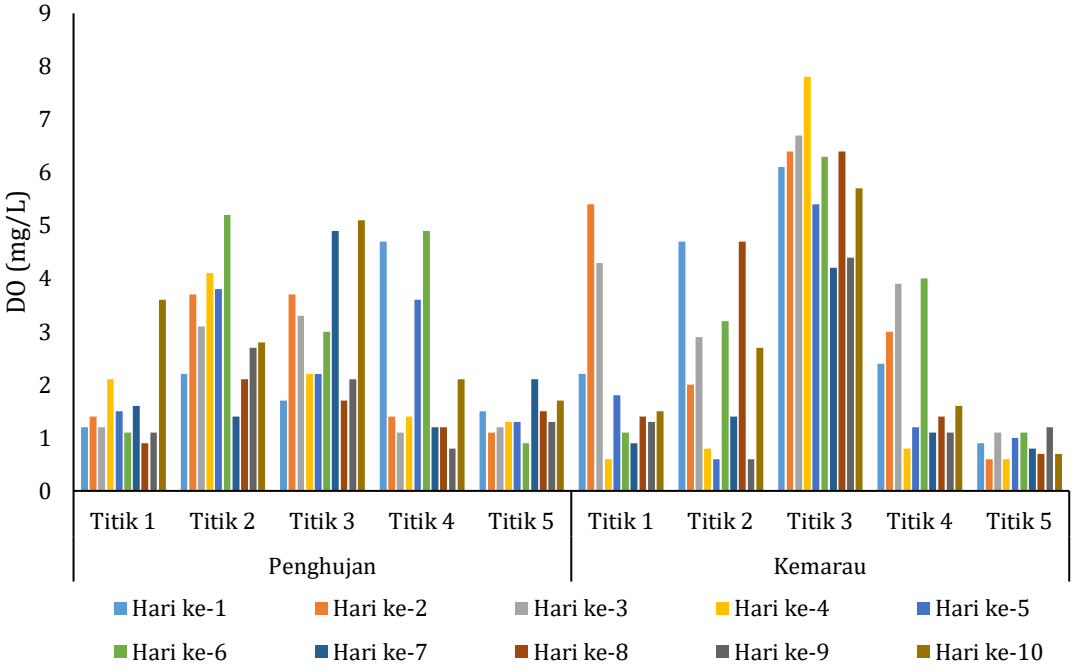
Gambar 2. Kualitas air Boezem Morokrembangan untuk parameter COD (*chemical oxygen demand)*.



Gambar 3. Kualitas air Boezem Morokrembangan untuk parameter TS (*total solids)*.



Gambar 4. Kualitas air Boezem Morokrembangan untuk parameter TSS (*total suspended solids)*.

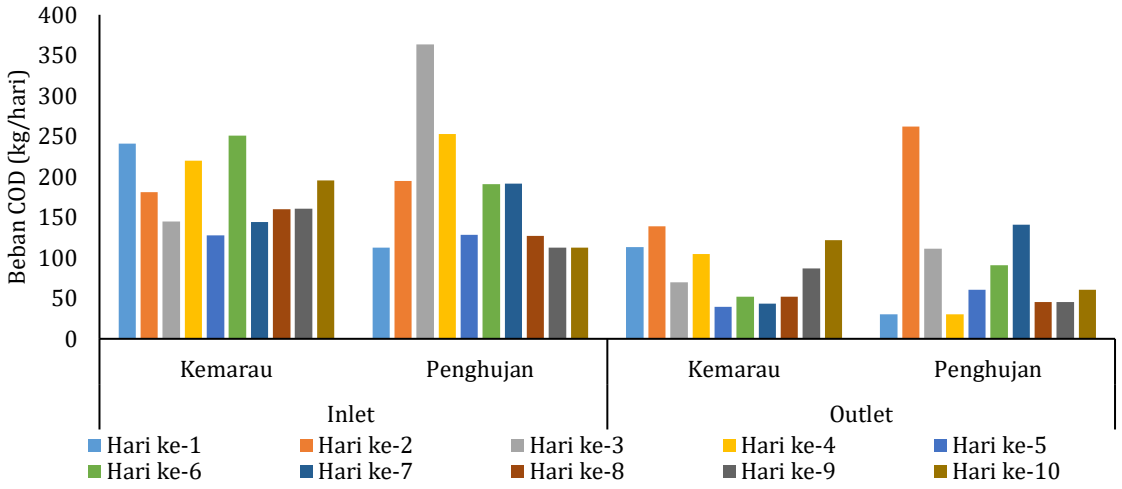


Gambar 5. Kualitas air Boezem Morokrembangan untuk parameter DO (*dissolved oxygen)*.

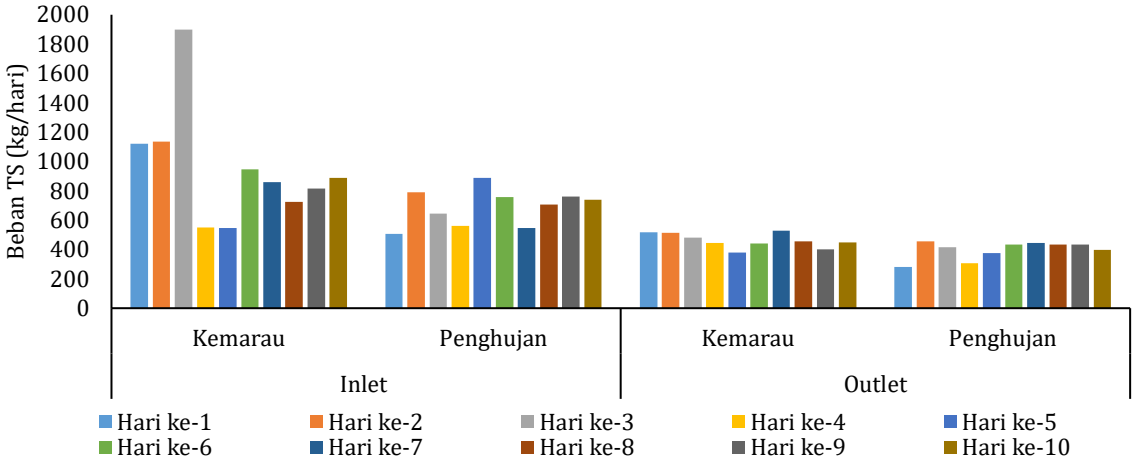
3.2. Beban pencemar

Analisis beban yang masuk ke Boezem Morokrembangan dilakukan pada *inlet* Kali Greges (titik 1) dan Kali Purwodadi (titik 5), sedangkan *outlet* berada di titik 2. Beban rerata pencemar COD (**Gambar 6**) dalam 10 hari *sampling* menunjukkan bahwa pada musim kemarau di *inlet* dan *outlet* sebesar 182,574 kg/day dan 82,189 kg/hari, sedangkan pada musim penghujan di *inlet* dan *outlet* sebesar 178,71 kg/hari dan 87,725 kg/hari, masing-masing. Beban rerata pencemar TS (**Gambar 7**) pada musim kemarau di *inlet* dan *outlet* adalah sebesar 949,273 kg/hari dan 461,172 kg/hari, sedangkan pada musim hujan di *inlet* dan *outlet* sebesar 690,102 kg/hari dan 397,281 kg/hari. Untuk beban rerata pencemar TSS (**Gambar 8**) pada musim kemarau di *inlet* dan *outlet* sebesar 38,056 kg/hari dan 16,958 kg/hari, sedangkan pada musim hujan di *inlet* dan *outlet* sebesar 38,759 kg/hari dan 19,063 kg/hari.

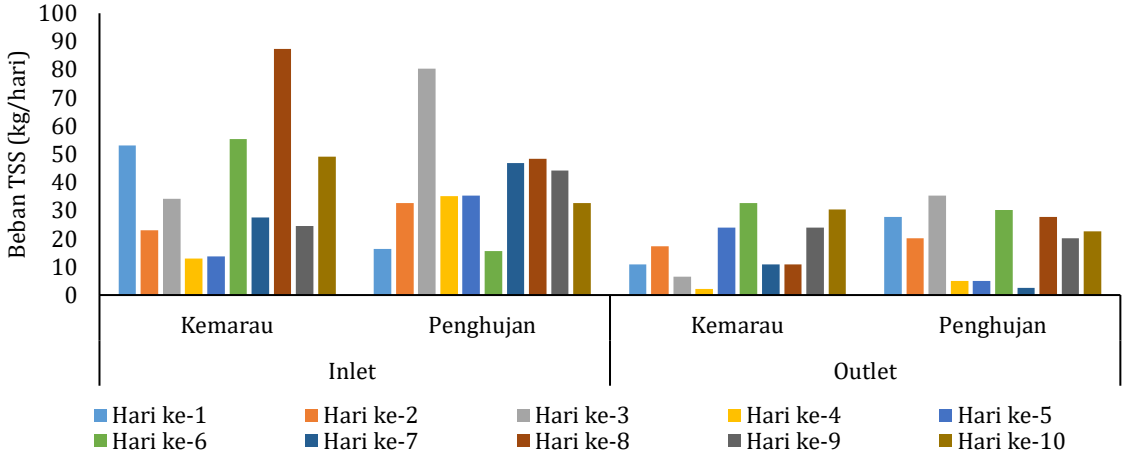
Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban pencemar rerata yang masuk ke Boezem Morokrembangan lebih tinggi di musim kemarau daripada musim penghujan. Musim penghujan dapat mempengaruhi jumlah zat pencemar yang masuk ke boezem karena melalui limpasan air hujan dengan tingkat tertentu mampu menghilangkan kandungan kontaminan tersebut (Nurjanah 2018).



Gambar 6. Beban pencemar Boezem Morokrembangan untuk parameter COD.



Gambar 7. Beban pencemar Boezem Morokrembangan untuk parameter TS.



Gambar 8. Beban pencemar Boezem Morokrembangan untuk parameter TSS.

Beban pencemar dalam *inlet* dan *outlet* boezem menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dalam ketiga parameter beban pencemar di *inlet* lebih besar sekitar 50% daripada di *outlet* boezem. Hal ini mengindikasikan adanya proses penyisihan yang terjadi di dalam boezem, sehingga nilai beban pencemar di *outlet* sudah tidak setinggi di *inlet*, namun nilainya masih melebihi baku mutu kelas IV.

3.3. Kinerja penurunan parameter pencemar

Perhitungan efisiensi penurunan pencemar dalam penelitian ini berbasis neraca massa, hasilnya tersaji dalam **Tabel 1.** Hasil analisis parameter COD, TS, dan TSS menunjukkan bahwa efisiensi penurunan pencemar lebih baik di musim hujan daripada musim kemarau, kecuali untuk parameter TS. Konsentrasi COD, TS, dan TSS pada musim hujan berhasil diturunkan hingga 22,10%, 8,65%, dan 19,50%, masing-masing. Pada musim kemarau, konsentrasi COD, TS, dan TSS berhasil diturunkan dengan efisiensi 17,18%, 10,63%, dan 18,01%, masing-masing. Namun, hasil penurunan konsentrasi pencemar di *outlet* boezem baik musim kemarau dan musim hujan masih belum memenuhi baku mutu badan air kelas IV untuk parameter COD.

Hasil penelitian serupa juga menunjukkan hasil yang sama terhadap rerata penyisihan parameter COD, TS, dan TSS di Boezem Morokrembangan (Slamet 2016). Lebih lanjut, kinerja Boezem Morokrembangan memiliki nilai yang rendah, artinya boezem telah kehilangan pemulihan diri atau *self-purification*. Kemampuan *self-purification* boezem salah satunya dipengaruhi oleh suhu, indikasi ini terbukti dengan nilai efisiensi penurunan parameter pencemar di musim kemarau lebih rendah daripada di musim penghujan (Salih *et al.* 2021). Dengan suhu air boezem yang lebih tinggi di musim kemarau, kemampuan *self-purification* boezem mengalami penurunan daripada musim penghujan.

Tabel 1. Efisiensi penurunan pencemar.

Parameter	Konsentrasi *inlet* rerata (mg/L)		Konsentrasi *outlet* rerata (mg/L)		Efisiensi (%)	
	Musim kemarau	Musim hujan	Musim kemarau	Musim hujan	Musim kemarau	Musim hujan
COD	182,57	178,69	151,20	139,20	17,18	22,10
TS	949,27	690,10	848,40	630,40	10,63	8,65
TSS	38,06	38,76	31,20	31,20	18,01	19,50

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa kualitas air Boezem Morokrembangan telah tercemar berat dan melebihi baku mutu badan air kelas IV berdasarkan parameter COD, DO, pH, TS, dan temperatur. Konsentrasi dan beban pencemar yang masuk ke Boezem Morokrembangan mengakibatkan akumulasi lumpur yang berakibat pada pendangkalan boezem. Kinerja Boezem Morokrembangan dalam penyisihan parameter pencemar lebih baik pada musim hujan daripada musim kemarau. Secara keseluruhan, kemampuan boezem dalam menurunkan parameter pencemar tergolong rendah yang mengakibatkan air limbah yang akan keluar dari boezem masih belum memenuhi baku mutu. Oleh karena itu, kami menyarankan untuk melakukan peningkatan kemampuan pemulihan Boezem Morokrembangan menggunakan beberapa metode biologis yang telah terbukti efektif.

5. DAFTAR PUSTAKA

Agwu EJ, Odanwu SE, Ezewudo BI, Odo GE, Nzei JI, Iheanacho SC and Islam MS. 2023. Assessment of water quality status using heavy metal pollution indices: a case from Eha-Amufu catchment area of Ebonyi River, Nigeria. Acta Ecologica Sinica 43(6):989-1000.

Baihaqi ZA dan Soebagio. 2021. Perencanan saluran pematusan Boezem Selatan Morokrembangan Surabaya. Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi 9(2): 113–119.

Buta B, Wiatkowski M, Gruss T, Tomczyk P and Kasperek R. 2023. Spatio-temporal evolution of eutrophication and water quality in the Turawa dam reservoir, Poland. Nature 13(9880):1-25.

Fitrianingtyas R dan Slamet A. 2018. Studi pemetaan persebaran sedimen Boezem Morokrembangan. Jurnal Teknik ITS *7*(1):F171-F176.

Karnaningroem N and Paitaha EES. 2021. Study of the quality and status of water quality on reservoir water management efforts using a dynamic system approach (case study: Bozem Morokrembangan). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 799(1):1-10.

Lasminto U. 2017. Studi potensi tampungan air sebagai sumber air baku Kota Surabaya. IPTEK Journal of Proceedings Series 3(5):43–49.

Lkr A, Romeo Singh MR and Puro N. 2020. Assessment of water quality status of Doyang River, Nagaland, India, using water quality index. Applied Water Science 10(1):1–13.

Moghadam SV, Jafarzadeh A, Matta A, Dessouky S, Hutchinson and Kapoor V. 2023. Water quality performance assessment of two stormwater detention basins located in the recharge zone of a karst aquifer. Chemosphere 339:1-12.

Najih SME, Rasuda T, Ni'matuzahroh, Supriyanti A, Isnadina DRM and Oktavitri NI. 2020. Potency of biodiesel from sediment of coagulation- flocculation-sedimentation process using Moringa oleifera as coagulant. Ecology, Environment and Conservation 26(6):S64–S68

Nurjanah P. 2018. Analisis pengaruh curah hujan terhadap kualitas air parameter mikrobiologi dan status mutu air di Sungai Code, Yogyakarta. Universitas Islam Indonesia 1(20):1–14

Ratnawati R, Nurhayati I dan Sari VY. 2020. Pengaruh konsentrasi unsur kalium, karbon, dan aerasi pada bioremediasi air limbah boezem dengan high rate algae pond. Teknik 41(2):119–125.

Salih NYH, Mohammad AO and Mohammed FO. 2021. Study on the self-purification of Tanjaro River. Tikrit Journal for Agriculture Sciences 21(4):54-62

Slamet A. 2016. Peningkatan fungsi Boezem Morokrembangan sebagai pengolah air limbah perkotaan menggunakan sistem alga-bakteri [Disertasi]. Bidang Keahlian Teknik Lingkungan, Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Slamet A and Hermana J. 2012. Effect of light exposure and water depth on the performance of algae reactor during the treatment of Surabaya municipal wastewater. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences 2(12):615–619.

Suriadikusumah A, Mulyani O, Sudirja R, Sofyan ET, Maulana MHR and Mulyono A. 2021. Analysis of the water quality at Cipeusing River, Indonesia using the pollution index method. Acta Ecologica Sinica 41(3):177–182.

Yang L, Wang Y, Wang Y, Wang S, Yue J, Guan G, Guo Y, Zhang Y and Zhang Q. 2023. Water quality improvement project for initial rainwater pollution and its performance evalution. Environmental Research 237:1-12.

Zhang M, Wang L, Xu C and Huang X. 2022. Water quality change and pollution source accounting of Licun River under long-term governance. Nature 12(2779):1-11.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN
Journal of Environmental Sustainability Management

JPLB
Vol. 8 No. 1 (2024)
ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025
Tersedia di https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb

"SHARK": Mesin sederhana pengolah sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif kapal Slerek di Pantai Pengambengan, Bali

"SHARK": A simple processing machine of plastic waste into alternative fuel of Slerek boat in Pengambengan Beach, Bali

Fenny Crista Anastasia Panjaitan[1*], Pinky Natalia Samanta[1]

[1]Program Studi Pengolahan Hasil Laut, Politeknik Kelautan dan Perikanan Jembrana, Bali, Indonesia

Abstrak.
Keberadaan sampah plastik di Pantai Pengambengan sangat mengkhawatirkan dan perlu mendapatkan perhatian. Kabupaten Jembrana adalah penyumbang sampah plastik terbesar yaitu 53,9 ton/hari yang didominasi oleh HDPE dan PE (46%) sebagai sampah kemasan produk. Sampah plastik telah diketahui berpotensi sebagai penghasil bahan bakar alternatif dengan menggunakan teknik pyrolysis. Masyarakat Jembrana yang didominasi oleh nelayan mengalami peningkatan biaya operasional akibat kenaikan harga solar yang menjadi bahan bakar utama kapal tradisional Slerek dalam melaut. Oleh karena itu, keberadaan sampah plastik yang tinggi di Kabupaten Jembrana sangat berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku untuk menghasilkan bahan bakar alternatif solar. Mesin "SHARK" dirancang dan diaplikasikan untuk menghasilkan bahan bakar alternatif. Hasil pengujian mesin "SHARK" selama 1 jam menghasilkan 800 ml bahan bakar dari 1 kg cacahan sampah plastik dan menghabiskan gas LPG 3 kg sebanyak 600 g. Konversi sampah plastik menjadi bahan bakar solar dapat menurunkan biaya operasional nelayan sebesar 66%. Penggunaan mesin "SHARK" secara berkelanjutan dapat membantu pemenuhan kebutuhan bahan bakar nelayan dalam melaut dan mengurangi tumpukan sampah plastik di Kabupaten Jembrana. Hasil perhitungan juga menunjukkan bahwa jumlah sampah plastik yang dihasilkan Jembrana per harinya dapat memenuhi kebutuhan bahan bakar 107 kapal Slerek sekali melaut.

Kata kunci: bahan bakar alternatif, nelayan, Pantai Pengambengan, sampah plastik

Abstract.
The existence of plastic waste on Pengambengan Beach become worrying and needs attention. Jembrana district is the most significant contributor to plastic waste, at around 53.9 tons/day dominated by HDPE and PE (46%) as product packaging waste.. The Jembrana community, dominated by fishermen, experienced an increase in operational cost due to an upsurge in diesel price, which is the primary fuel for Slerek traditional ship in fishing to the sea. Therefore, the high number of plastic waste presented in Jembrana district is potentially utilized to generate alternative diesel fuel using pyrolysis technique. Results showed that the experimental test of "SHARK" machine for 1 hour could produce 800 ml of fuel from 1 kg of chopped plastic waste and spend 600 gram of 3 kg LPG gas. The conversion value of plastic waste into diesel alternative fuel can reduce operational costs by up to 66%. The sustainable application of the "SHARK" machine can help fulfil the fuel needs of local fishermen in fishing and reduce piles of plastic waste in Jembrana district. The calculation showed that the amount of plastic waste produced in Jembrana per day could meet the fuel needs of 107 Slerek ships to the sea.

Keywords: alternative fuel, fishermen, Pengambengan Beach, plastic waste

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan hasil dari sisa kegiatan sehari-hari manusia atau proses alam yang berbentuk padat, cair dan gas. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menyatakan bahwa jumlah rata-rata produksi sampah di Indonesia mencapai 185.753 ton per hari atau setara dengan 67,8 juta ton per tahun dengan produksi sampah setiap orang sebanyak 0,8 kg per hari (KLHK 2020).

[1] Korespondensi Penulis
Email : fennycap@gmail.com

 DOI: https://doi.org/10.36813/jplb.8.1.13-25

Sampah plastik merupakan sampah anorganik yang sulit terurai dan memerlukan pengelolaan khusus. Sampah plastik yang dihasilkan di Bali sebesar 4.281 ton dan sekitar 12% masuk ke wilayah perairan Bali, serta tertimbun sebanyak 150,56 m^3/hari di TPA Peh Kabupaten Jembrana (Muhajir 2019 dan Sandy *et al*. 2014). Sungai Ijo Gading yang mengalir melalui Kabupaten Jembrana adalah penyumbang sampah plastik terbesar yaitu sekitar 12% dari jumlah sampah plastik di perairan laut Bali (STOP 2019). Jumlah sampah plastik yang semakin banyak menimbulkan tumpukan yang menyebabkan tercemarnya tanah, air dan makhluk bawah tanah. Sampah plastik juga dapat mengganggu jalur resapan air, pendangkalan sungai dan penyumbatan aliran sungai yang menyebabkan banjir. Salah satunya adalah Kecamatan Melaya di Kabupaten Jembrana yang mengalami abrasi pantai mencapai luas 7,45 km akibat industri dan sampah plastik (Hafizah 2022).

Masyarakat Kabupaten Jembrana memiliki kehidupan yang beraneka ragam. Salah satu pekerjaan yang umum dimiliki oleh masyarakat yang bertempat tinggal di daerah pesisir selat Bali adalah nelayan. Aktivitas menangkap ikan masih menggunakan kapal tradisional Slerek berbahan bakar solar. Kenaikan harga bahan bakar minyak solar oleh Pemerintah Indonesia (Pertamina 2022) dari harga Rp 5.150,00 per liter menjadi Rp 6.800,00 per liter menyebabkan peningkatan biaya operasional nelayan untuk melaut dengan hasil penjualan ikan yang tidak sebanding dengan modal yang dikeluarkan serta produksi hasil tangkapan yang semakin berkurang karena perubahan iklim dan kerusakan lingkungan.

Pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif solar dapat menjadi salah satu solusi yang dapat membantu nelayan. Selain mengurangi jumlah sampah yang berada di sekitar Pantai Pengambengan, pengolahan sampah menjadi solar alternatif dapat mengurangi biaya operasional nelayan sekitar Desa Pengambengan. Oleh karena itu, mesin "SHARK" pengolah sampah plastik menjadi bahan bakar solar dirancang untuk menghasilkan mesin pengolah sampah plastik yang bermanfaat bagi lingkungan dan masyarakat perikanan, khususnya di Kabupaten Jembrana, Bali.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menanggulangi keberadaan tumpukan sampah plastik di sekitar pantai dan laut Pengambengan dengan cara mengolahnya menjadi bahan bakar alternatif solar bagi masyarakat nelayan di Kabupaten Jembrana dengan menggunakan mesin "SHARK". Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan alternatif bahan bakar solar bagi nelayan lokal sehingga dapat menjadi solusi untuk menanggulangi tingginya biaya operasional bahan bakar solar dan memenuhi kebutuhan solar kapal Slerek di sekitar Pantai Pengambengan. Kabupaten Jembrana, Bali.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi penelitian

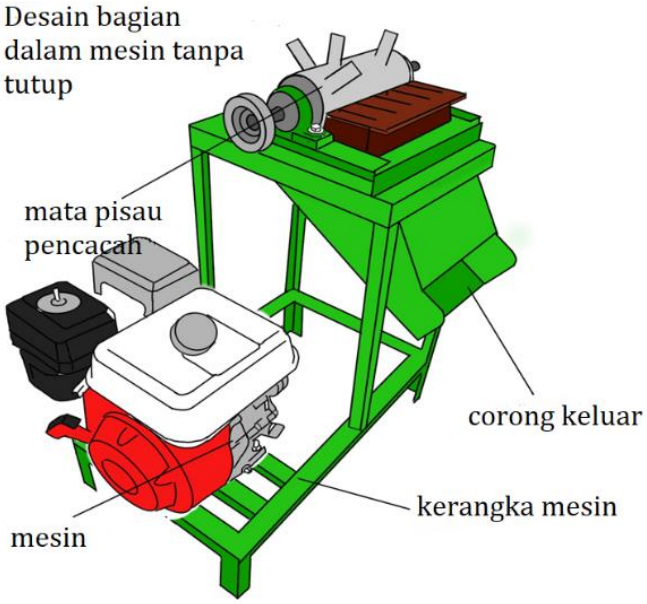
Pengambilan sampel sampah plastik dilaksanakan di pantai yang terdapat di Desa Pengambengan, Kabupaten Jembrana, Bali (**Gambar 1**). Sampah plastik yang diperoleh kemudian dibawa ke *Teaching Factory* Pengolahan Hasil Laut untuk dilakukan analisa lanjutan. Pembuatan mesin "SHARK" dilakukan di *Teaching Factory* Pengolahan Hasil Laut, Politeknik KP Jembrana, Bali.

Gambar 1. Lokasi pelaksanaan penelitian di (A) Desa Pengambengan dan (B) Pantai Kabupaten Jembrana, Bali (STOP 2019).

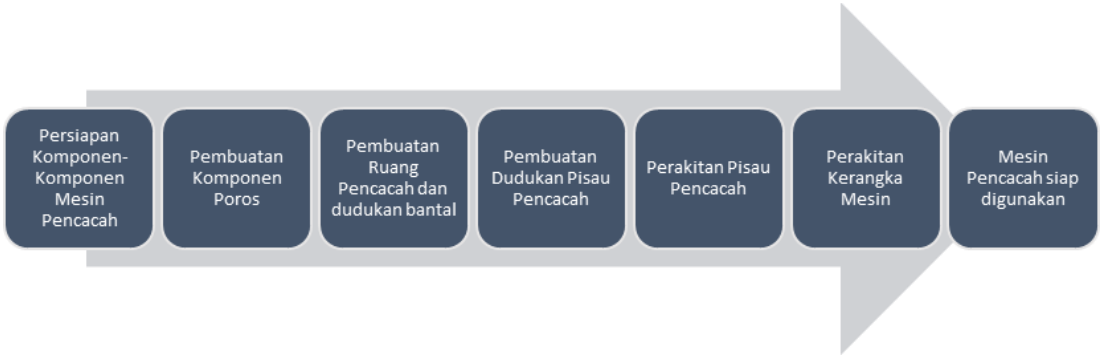
2.2. Pembuatan mesin "SHARK"

2.2.1. Mesin pencacah sampah plastik

Mesin pencacah sampah plastik "SHARK" dibuat dengan menggunakan beberapa komponen, seperti corong masuk dan corong keluar (panjang 11 cm, tebal 0.25 cm dan 1 cm, terbuat dari pelat besi), kerangka mesin (tinggi 100 cm dan tebal 2 cm, terbuat dari material besi dan pelat besi dengan anti karat), penyaring, mata pisau tipe *reel* (panjang mata pisau 7 cm, lebar 4 cm dan tebal 4 mm, terbuat dari baja karbon ST41), mesin motor listrik (silinder tunggal OHV 4 tak dengan 2,6 kW, Honda GX120), *pulley*, *reducer*, roda gigi, roda *gils* dan sabuk *V belt*. **Gambar 2** menunjukkan desain mesin pencacah sampah plastik "SHARK" dan **Gambar 3** proses pembuatan mesin.



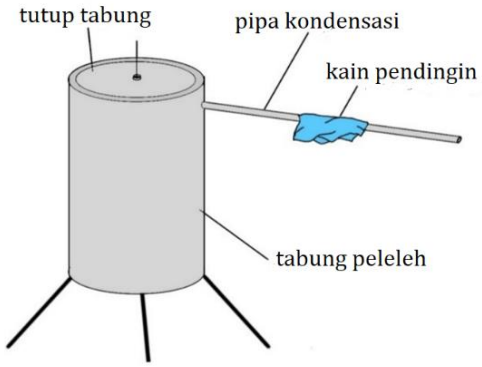
Gambar 2. Desain mesin pencacah sampah plastik "SHARK".



Gambar 3. Proses pembuatan mesin pencacah.

2.2.2. Mesin peleleh sampah plastik

Mesin peleleh sampah plastik "SHARK" terdiri dari komponen kompor, pipa kondensor (panjang 100 cm, lebar 1 cm dan tebal 0,2 cm, bahan *stainless steel*), tabung (tinggi 29 cm, diameter 10 cm, bahan *stainless steel*), kran, termometer, tungku. Adapun alur proses pembuatan mesin peleleh "SHARK" dapat dilihat pada **Gambar 4** desain mesin peleleh plastik "SHARK" dan **Gambar 5** proses pembuatan mesin peleleh plastik.



Gambar 4. Desain mesin pembuatan mesin peleleh "SHARK".

Gambar 5. Proses pembuatan mesin peleleh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Potensi pemanfaatan sampah plastik

Penanganan sampah plastik menjadi bahan bakar cair alternatif merupakan solusi terbaik untuk menyelesaikan masalah tumpukan sampah plastik dibandingkan dengan metode 3R (*reuse*, *reduce*, *recycle*). Teknologi ini telah diterapkan di berbagai negara dalam menangani sampah plastik yang menumpuk (Tulashie *et al.* 2019; Qureshi *et al*. 2020). Plastik apabila digunakan kembali (*reuse*) secara terus-menerus akan menjadi tidak layak pakai atau rusak.

Selain itu, pengurangan penggunaan plastik (*reduce*) dapat optimal dilakukan apabila menemukan barang pengganti plastik yang lebih murah dan praktis. Sedangkan, proses daur ulang sampah plastik menjadi barang lain (*recycle*) umumnya menghasilkan produk dengan penurunan kualitas. Landi dan Arijanto (2017) menyatakan bahwa volume plastik yang dapat diolah dengan metode 3R hanya berkisar 4%. Tumpukan sampah plastik terdiri dari 46% *polyethylene* (HDPE dan PE), 16% *polypropylene* (PP), 16% *polystyrene* (PS), 7% *polyvinyl chloride* (PVC), 5% *polyethylene trepthalate* (PET), 5% *acrylonitrile-butadiene-styrene* (ABS) dan polimer-polimer lainnya. Sharuddin *et al*. (2016) menyatakan bahwa bahan bakar merupakan bahan baku utama dalam pembuatan plastik, sehingga pengolahan plastik dengan teknik pirolisis memiliki potensi yang besar untuk menghasilkan bahan bakar alternatif. Oleh karena itu, HDPE dan PE kemudian digunakan sebagai bahan baku utama dalam membuat bahan bakar alternatif solar dengan menggunakan mesin "SHARK".

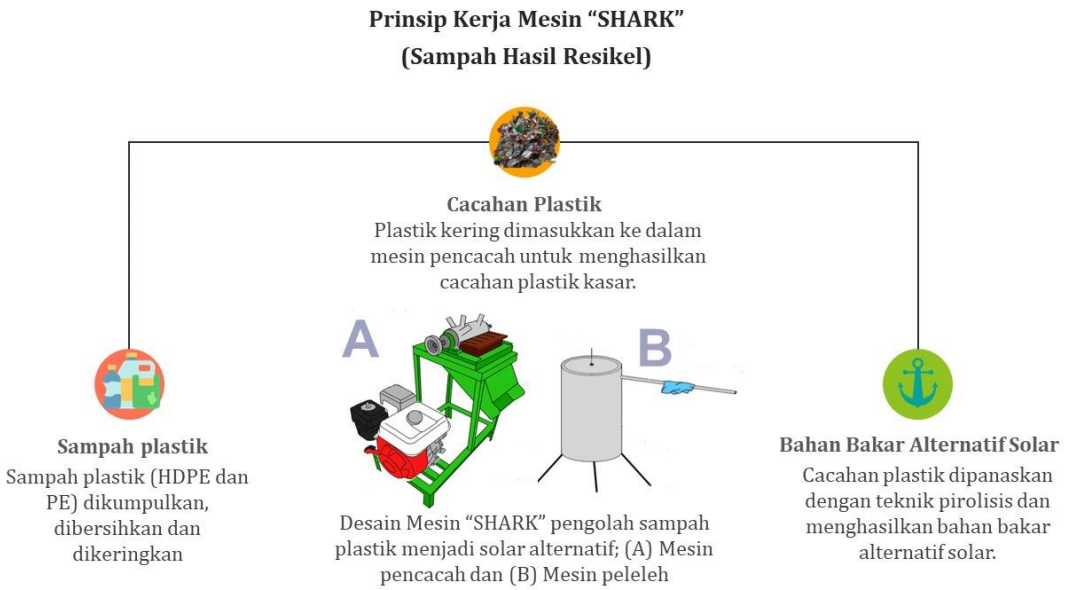
Wahyudi *et al*. (2018) menyatakan bahwa kualitas minyak dari hasil pengolahan sampah plastik berada di atas minyak solar. Senyawa yang terkandung merupakan bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi dan gas alam. Kumar *et al*. (2011) menyatakan bahwa 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi untuk memenuhi kebutuhan bahan baku dan kebutuhan energi prosesnya. Oleh karena itu, pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar cair merupakan metode paling potensial dalam mengurangi tumpukan sampah plastik di lingkungan.

3.2. Prinsip kerja mesin "SHARK"

Mesin "SHARK" merupakan mesin pencacah dan peleleh sampah plastik yang bertujuan untuk mereduksi jumlah sampah plastik di lingkungan dan mengubahnya menjadi bahan bakar solar. Nama "SHARK" merupakan singkatan dari Sampah Hasil Resikel. Pemilihan nama "SHARK" dimaksudkan agar mesin pengolah sampah plastik ini bersifat ganas seperti hiu untuk mengonversi sampah-sampah plastik yang berada di laut atau di darat/pesisir. Mesin dibuat dengan menggunakan alat-alat yang mudah didapatkan dan terjangkau sehingga dapat dibuat dan diaplikasikan oleh masyarakat pesisir atau nelayan.

Mesin pencacah (**Gambar 2**) terdiri dari rangka besi, dinamo atau mesin, corong masuk sampah plastik, pisau pencacah, corong keluar cacahan plastik dan wadah cacahan plastik yang berfungsi untuk menghasilkan cacahan sampah plastik. Mesin peleleh (**Gambar 4**) terdiri dari tabung pembakaran, rangka kondensor, badan kondensor atau pipa penyaluran hasil kondensasi dan *burner* yang berfungsi untuk mengonversi cacahan sampah plastik menjadi bahan bakar cair alternatif.

Prinsip kerja mesin pencacah yaitu menggerakkan pisau putar menggunakan dinamo motor, kemudian daya dari mesin ini ditransmisikan menggunakan puli dan sabuk (**Gambar 6**). Fungsi puli untuk mereduksi putaran mesin sesuai dengan kebutuhan. Selanjutnya, sampah plastik yang sudah dibersihkan dan dipisahkan berdasarkan jenisnya dimasukkan ke dalam mesin melalui corong masuk. Cacahan plastik kemudian keluar melalui saringan bawah dan corong keluar. Cacahan plastik ini mempercepat proses pembakaran karena lebih mudah terbakar secara sempurna pada mesin peleleh sampah plastik.



Gambar 6. Alur penggunaan mesin "SHARK".

Prinsip kerja mesin peleleh yaitu dengan mengaplikasikan teknik *pyrolisis*. *Pyrolysis* merupakan reaksi depolimerasi yang dilakukan tanpa oksigen dan menggunakan suhu termal sekitar 230-450°C (Surono dan Ismanto 2016; Landi dan Arijanto 2017). Penggunaan mesin peleleh yaitu memasukkan cacahan sampah plastik ke dalam tabung pembakaran. Tabung ditutup hingga rapat dan kedap, lalu dipanaskan dengan suhu kompor sedang hingga mencapai suhu 400°C.

Uap hasil pembakaran plastik yang dihasilkan akan menuju pipa saluran uap yang dibalut dengan kain basah sebagai pendingin dan mengalami proses kondensasi. Proses kondensasi bertujuan untuk mengubah uap panas hasil pembakaran sampah plastik menjadi cairan bahan bakar, yaitu solar. Uap hasil pembakaran plastik yang dihasilkan ditampung seluruhnya di dalam mesin peleleh yang kedap sehingga tidak ada yang terlepas ke lingkungan. Hal ini berkitan dengan dampak emisi hasil pembakaran yang dihasilkan. Penggunaan alat pelindung diri (APD) tetap disarankan bagi operator selama proses pengoperasian alat. Analisa lebih lanjut perlu dilakukan terkait dengan keamanan dan kesehatan dalam proses penggunaan mesin "SHARK". Sampah plastik dikumpulkan, kemudian dipisahkan berdasarkan jenisnya. Sampah plastik HDPE (*high-density polyethylene*) dan PE (*polyethylene*) merupakan sampah plastik yang dominan sekitar 46%. Hal ini disebabkan karena sampah plastik jenis ini mudah sekali ditemukan di Kabupaten Jembrana karena penggunaannya yang sangat tinggi sebagai kemasan makanan.

3.3. Pengaplikasian mesin "SHARK"

Sampah plastik (HDPE dan PE) yang telah dibersihkan dan dikeringkan seberat 1 kg dicacah, kemudian hasil cacahan dimasukkan ke dalam mesin peleleh dan dipanaskan dengan menggunakan api kompor sedang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa uap hasil pembakaran sampah plastik sebesar 1 kg yang dikondensasi menghasilkan cairan bahan bakar alternatif sebanyak 800 ml. Pengujian menggunakan plastik jenis LDPE yang dilakukan oleh Rekathakusume *et al*. (2016) menghasilkan 400 ml bahan bakar cair dari 1 kg sampah plastik. Perbedaan volume bahan bakar yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh jenis plastik, proses pembakaran dan kondensasi yang dilakukan. Proses pembakaran yang sempurna akan menghasilkan uap pembakaran yang optimal. Proses kondensasi uap yang optimal dapat mengonversi uap pembakaran menjadi cairan bahan bakar alternatif solar secara keseluruhan. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap volume bahan bakar solar alternatif yang dihasilkan.

Teknik pirolisis yang berbeda serta kondisi saat pirolisis berlangsung (jenis katalis, suhu, waktu mengkondensasikan dan jenis sampah plastik) dapat menyebabkan *output* yang berbeda, seperti hasil rendemen, kualitas dan produk bahan bakar yang dihasilkan (Papari *et al.* 2021). Ratnasari *et al.* (2017) dan Hussein *et al.* (2022) menyatakan bahwa penggunaan katalis dengan jenis dan konsentrasi yang berbeda dapat menghasilkan rendemen bahan bakar yang berbeda. Oleh karena itu, mesin "SHARK" dapat dioptimalkan sehingga jumlah cairan bahan bakar yang dihasilkan lebih banyak.

Pada pengujian ini, waktu yang diperlukan untuk mengubah cacahan plastik sebanyak 1 kg menjadi 800 ml bahan bakar yaitu 1 jam dengan menggunakan api sedang. Selama 1 jam, suhu pembakaran berada pada rentang 101-400°C. Hasil kondensasi uap dari pembakaran sampah plastik mulai menetes setelah 40 menit proses pembakaran berlangsung. Hasil serupa juga diperoleh pada penelitian yang dilakukan oleh Rekathakusume *et al*. (2016) menggunakan plastik LDPE. Bahan baku sampah plastik mulai mengalami proses perubahan kimia pada suhu lebih dari 360°C dan menghasilkan bahan cair dari mesin pendingin pada menit ke 40-an. Surono (2013) menyatakan bahwa HDPE memiliki titik lebur pada 134°C. Armadi (2016) menyatakan bahwa laju pembakaran gas LPG 3 kg dengan api sedang adalah 10 gram/menit. Sehingga, gas LPG 3 kg yang dihabiskan selama proses pembakaran 1 jam adalah 600 gram. **Tabel 1** menunjukkan hasil pengujian mesin "SHARK".

Biaya operasional yang dibutuhkan dalam proses penanganan sampah plastik ini terdiri dari biaya penggunaan gas LPG 3 kg seharga Rp 18.000,00. Hasil konversi menunjukkan bahwa penggunaan gas LPG 3 kg secara nonstop dapat bertahan selama 5 jam dan menghasilkan 4 liter bahan bakar solar alternatif dari lebih kurang 5 kg sampah plastik.

Tabel 1. Jumlah sampah plastik, gas LPG 3 kg yang digunakan dan bahan bakar cair yang dihasilkan selama 1 jam pembakaran.

Jumlah sampah plastik	Lama pembakaran	Penggunaan gas LPG 3 kg	Hasil bahan bakar cair
1 kg	1 jam	600 gram	800 ml

Nelayan dengan kapal Slerek memerlukan bahan bakar solar sebanyak 400 liter untuk pergi melaut (**Gambar 7**). Harga solar subsidi terbaru berdasarkan kenaikan harga yang dilakukan oleh Pemerintah Indonesia sebesar Rp 6.800,00 (Pertamina 2022). Jumlah uang yang dihabiskan oleh nelayan untuk membeli solar sebesar Rp 2.720.000,00 sedangkan biaya operasional yang diperlukan oleh mesin "SHARK" dalam menghasilkan 400 liter bahan bakar alternatif solar adalah Rp 1.800.000,00, seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Perbandingan biaya operasional bahan bakar kebutuhan nelayan kapal Slerek dalam sekali melaut.

Parameter	Bahan bakar solar	Bahan bakar alternatif
Kebutuhan bahan bakar	400 liter	400 liter
Harga solar (/liter)	Rp 6.800,00	-
Harga isi ulang LPG 3 kg	-	Rp 18.000,00
Total biaya	**Rp 2.720.000,00**	**Rp 1.800.000,00**

Berdasarkan **Tabel 2**, penggunaan mesin "SHARK" dapat membantu perekonomian masyarakat nelayan dengan menurunkan biaya pembelian solar sebesar 66%. Nilai tersebut diperoleh dengan menggunakan **Persamaan 1, Persamaan 2** dan **Persamaan 3** berikut.

$$Penurunan\ biaya\ operasional = \frac{Total\ biaya\ pembelian\ gas}{Total\ biaya\ pembelian\ solar}\ x\ 100\% \quad (1)$$

$$Penurunan\ biaya\ operasional = \frac{1.800.000,00}{2.720.000,00}\ x\ 100\% \quad (2)$$

$$Penurunan\ biaya\ operasional = 66\% \quad (3)$$

Gambar 7. Kapal tradisional Slerek di Desa Pengambengan.

Selain itu, sampah plastik yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan 400 liter bahan bakar alternatif solar mencapai 0,5 ton. Kabupaten Jembrana menghasilkan 53,9 ton sampah plastik per hari (Muhajir 2019). Jumlah sampah plastik ini merupakan bahan baku yang potensial dalam memenuhi kebutuhan solar sekitar 107 kapal Slerek per hari. **Tabel 3** menunjukkan perbandingan sifat solar dan solar campuran bahan bakar alternatif dari sampah plastik (20% dan 40%) menggunakan mesin diesel satu silinder (Surono 2013; Wedayani 2018).

Tabel 3. Perbandingan sifat solar dengan bahan bakar alternatif.

Sifat	Solar	Bahan bakar alternatif
Densitas pada 30°C (g/cc)	0,83 s/d 0,88	0,793
Nilai kalor (kJ/kg)	46.500	41.858
Viskositas kinematis (cst)	5	2,149
Cetane number	55	51
Flash point (°C)	50	40
Fire point (°C)	56	45
Kandungan sulfur (%)	< 0,035	< 0,002

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Sampah plastik sejumlah 53,9 ton/hari di Kabupaten Jembrana merupakan ancaman yang besar bagi lingkungan pantai dan laut Pengambengan. Keberadaan sampah plastik HDPE dan PE (46%) di Kabupaten Jembrana merupakan potensi bahan baku utama untuk menghasilkan bahan bakar alternatif solar. Sebanyak 0,5 ton sampah plastik dapat memenuhi kebutuhan satu kapal penangkap ikan Slerek untuk melaut. Oleh karena itu, bahan bakar yang dihasilkan dari sampah plastik di Kabupaten Jembrana (53,9 ton/hari) dapat memenuhi kebutuhan bahan bakar lebih kurang 107 kapal penangkap ikan Slerek setiap harinya. Hasil pengujian mesin "SHARK" selama 1 jam menghasilkan 800 ml cairan bahan bakar dari 1 kg cacahan sampah plastik dan menghabiskan gas LPG 3 kg sebanyak 600 gram. Konversi sampah plastik menjadi bahan bakar solar dapat menurunkan biaya operasional nelayan sebesar 66%. Penggunaan mesin "SHARK" secara berkelanjutan dapat membantu mengurangi tumpukan sampah plastik di Kabupaten Jembrana dan mencukupi pemenuhan kebutuhan solar nelayan dalam melaut.

Adapun saran yang diperlukan adalah agar proses pengumpulan sampah plastik di Pantai Pengambengan dilakukan secara terorganisir oleh masyarakat nelayan sehingga dapat mengurangi keberadaan sampah plastik yang terbawa air laut di pantai setiap harinya. Selain itu, hal ini juga dapat memaksimalkan potensi pemanfaatan mesin "SHARK" dalam menghasilkan bahan bakar alternatif bagi nelayan.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterima kasih kepada Amelia Rizqi Praseda, Devi Ilmiyanti, Gadis Elza Miranda, I Made Bayu Bawa Temaja, I Made Esa Prayogadita dan M. Muksin Angga Kusuma yang membantu selama kegiatan penelitian ini dilaksanakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

Armadi BH. 2016. Perancangan, pembuatan dan uji kinerja reaktor pirolisis plastik untuk menghasilkan bahan bakar minyak [Tesis]. Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, Jakarta.

Hafizah N. 2022. Studi eksploratif bentuk kerusakan lingkungan wilayah pesisir Kabupaten Jembrana. Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha 10(3):252-260.

Hussein ZA, Shakor ZM, Alzuhairi M and Al-Sheikh F. 2022. The yield of gasoline range hydrocarbons from plastic waste pyrolysis. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 44(1):718-731.

[KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2020. Indonesia memasuki era baru pengelolaan sampah [internet]. Tersedia di: http://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/5294/klhk-indonesia-memasuki-era-baru-pengelolaan-sampah.

Kumar S, Panda AK dan Singh RK. 2011. A review on tertiary recycling of high-density polyethylene to fuel resources. Conservation and Recycling 55(11):893-910.

Landi T dan Arijanto. 2017. Perancangan dan uji alat pengolah sampah plastik jenis ldpe (low density polyethylene) menjadi bahan bakar alternatif. Jurnal Teknik Mesin 5(1):1-8.

Muhajir A. 2019. Inilah data dan sumber sampah terbaru di bali [internet]. Tersedia di: https://www.mongabay.co.id/2019/07/02/inilah-data-dan-sumber-sampah-terbaru-di-bali/.

Papari S, Bamdad H and Berruti F. 2021. Pyrolytic conversion of plastic waste to value-added products and fuels: a review. Materials 14(10):2586.

Pertamina. 2022. Harga BBM Pertamina [internet]. Tersedia di: https://mypertamina.id/fuels-harga.

Qureshi MS, Oasmaa A, Pihkola H, Deviatkin I, Tenhunen A, Mannila J, Minkkinen H, Pohjakallio M and Laine-Ylijoki J. 2020. Pyrolysis of plastic waste: opportunities and challenges. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 152(1):104804.

Ratnasari DK, Nahil MA and Williams PT. 2017. Catalytic pyrolysis of waste plastics using staged catalysis for production of gasoline range hydrocarbon oils. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 124(1):631-637.

Rekathakusuma I, Suwandi dan Suhendi A. 2016. Karakteristik bahan cair produk distilasi sampah plastik dan pemanfaatannya sebagai bahan bakar [Proceeding]. e-Proceeding of Engineering. Telkom University Open Library.

Sandy AP, Aryanta IWR dan Suarna IW. 2014. Revitalisasi TPA Peh Kabupaten Jembrana sebagai tempat pengolahan sampah terpadu. Ecotrophic 8(1):71-78.

Sharuddin SDA, Abnisa F, Daud WMAW and Aroua MK. 2016. A review on pyrolysis of plastic wastes. Energy conversion and management 115(1):308-326.

Surono UB. 2013. Berbagai metode konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. Jurnal Teknik 3(1):32-40.

Surono UB dan Ismanto. 2016. Pengolahan sampah plastik jenis PP, PET dan PE menjadi bahan bakar minyak dan karakteristiknya. Jurnal Mekanika dan Sistem Termal 1(1):32-37.

[STOP] Stop Ocean Plastics. 2019. Project STOP: Jembrana [internet]. Tersedia di: https://www.stopoceanplastics.com/id/jembrana/.

Tulashie SK, Boadu EK and Dapaah S. 2019. Plastic waste to fuel via pyrolysis: a key way to solving the severe plastic waste problem in Ghana. Thermal Science and Engineering Progress 11(1):417-424.

Wahyudi J, Prayitno HT dan Astuti AD. 2018. Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif. Jurnal Litbang 15(1):58-67.

Wedayani NM. 2018. Studi pengelolaan sampah plastik di Pantai Kuta sebagai bahan bakar minyak. Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan 15(2):122-126.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN
Journal of Environmental Sustainability Management

JPLB
Vol. 8 No. 1 (2024)
ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025
Tersedia di https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb

Analisis permasalahan penerapan teknologi tangki septik komunal di RW 07 Tamansari, Kelurahan Lebak Siliwangi, Kota Bandung

Analysis of problems in the application of communal septic tank technology in RW 07 Tamansari, Lebak Siliwangi Village, Bandung City

Gena Gisela Kurnia[1*], Dhafin Qinthara[1], Muhamad Firqi Ramadhan[1], Nur Asifah[1], Taufik Rizki Ramadhan[1], Mila Dirgawati[1]

[1]Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung, Bandung, Indonesia

Abstrak.
Pelayanan air limbah domestik dengan sistem perpipaan oleh PDAM Kota Bandung saat ini belum menjangkau secara merata dan menyeluruh ke pelosok pemukiman warga. Pada tahun 2008, PDAM bekerja sama dengan *Environmental Services Program-United States Agency for International Development* (ESP-USAID) membangun MCK Plus (MCK yang dilengkapi tangki septik biodigester). Penelitian ini dilakukan di RW 07 Tamansari, Kelurahan Lebak Siliwangi, Kota Bandung dan dilaksanakan selama 3 bulan (Maret-Mei 2023). Data yang dikumpulkan berupa data primer dari hasil observasi, kuesioner, dan wawancara, sedangkan data sekunder dari studi literatur. Analisis data dilakukan dengan membagi menjadi dua aspek yaitu aspek teknis dan non teknis. Hasil survei didapatkan 8 MCK terbengkalai dan sudah dijadikan tempat penyimpanan (gudang) juga kandang ayam. Untuk pelayanan 35 KK, dimensi tangki septik segi empat yang diperlukan adalah lebar 3,2 m; panjang 9,6 m; tinggi 3,2 m dan volume tangki septik adalah 61,5m^3. Dari hasil perhitungan, biogas yang dihasilkan sehari dapat digunakan untuk aktivitas memasak kebutuhan maksimum 2 orang. Tangki septik sebagai teknologi untuk mengolah air limbah memberikan dampak yang baik bagi masyarakat apabila dimanfaatkan secara efektif. Untuk mendapatkan potensi yang maksimal dari implementasi tangki septik diperlukan bukan hanya partisipasi masyarakat, namun juga kelembagaan pemerintah yang kolaboratif untuk mendukung program ini.

Kata kunci: tangki septik, biodigester, komunal, MCK Plus, partisipasi masyarakat

Abstract.
Domestic wastewater service with a piped system by PDAM Kota Bandung currently has not reached evenly and thoroughly to remote residential areas. In 2008, PDAM collaborated with the Environmental Services Program-United States Agency for International Development (ESP-USAID) built MCK Plus (MCK equipped with a bio-digester septic tank). This research was conducted at RW 07 Tamansari, Lebak Siliwangi Village, Bandung City and was carried out in March-May 2023. The data collected was primary data from observations, questionnaires, and interviews, while secondary data from literature studies. The survey results found that 8 MCK were abandoned and had been used as storage areas (warehouses) as well as chicken coops. For the service of 35 households, the required rectangular septic tank are 3.2 m wide, 9.6 m long, 3.2m high and the volume of the septic tank is 61.5m^3. From the calculation results, the biogas produced per day can be used for cooking activities for a maximum of 2 people. Septic tanks as a technology for treating wastewater have a good impact on society if used effectively. To get the maximum potential from implementing a septic tank, it requires not only community participation, but also collaborative government institutions to support this program.

Keywords: septic tank, biodigester, communal, MCK Plus, community participation

1. PENDAHULUAN

Target ke-6 dari Tujuan Pembangunan Berkelanjutan atau S*ustainable Development Goals* (SDGs) adalah akses air dan sanitasi secara universal di tahun 2030. Target SDGs tersebut telah terintegrasi dengan target nasional yang dimuat dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020-2024.

[*] Korespondensi Penulis
Email : genagiselakurnia@gmail.com

Sejak tahun 2000, pemerintah Indonesia sudah berupaya meningkatkan akses terhadap sanitasi dasar bagi lebih dari 150 juta orang. Kendati demikian, 17 juta orang masih melakukan praktik buang air besar sembarangan (BABS), 94% air limbah domestik langsung masuk ke lingkungan, dan 69% sumber air minum terkontaminasi oleh tinja. Hal-hal tersebut dapat menghambat Indonesia dalam mencapai target sanitasi 0% BABS dan 15% rumah tangga mendapatkan akses sanitasi yang dikelola dengan aman pada 2024 (UNICEF 2021a; UNICEF 2021b; UNICEF Indonesia *et al.* 2022).

Pelayanan pengelolaan air limbah domestik dengan sistem perpipaan oleh Divisi Air Kotor Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Bandung saat ini belum menjangkau secara merata dan menyeluruh ke pelosok pemukiman warga. Hal ini disebabkan adanya kendala teknis lapangan, seperti persoalan topografi yang mengakibatkan pengaliran kurang baik terutama untuk kawasan pemukiman di dataran rendah. Oleh karena itu, PDAM secara bertahap berupaya mengembangkan tangki septik komunal, juga sarana mandi, cuci dan kakus (MCK) yang dilengkapi tangki septik komunal untuk daerah-daerah yang belum terlayani pengelolaan air limbahnya. Dengan adanya tangki septik komunal, limbah domestik yang sudah terkumpul akan diangkut dengan mobil tangki tinja PDAM, kemudian disalurkan ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Bojongsoang, untuk diolah kembali (Sysadmin 2016).

Pada tahun 2008, PDAM bekerja sama dengan *Environmental Services Program-United States Agency for International Development* (ESP-USAID) membangun MCK Plus (MCK yang dilengkapi tangki septik biodigester) di RW 07 Tamansari, Kelurahan Lebak Siliwangi, Kecamatan Coblong, Bandung. MCK Plus dibangun di lahan milik PDAM dengan 8 MCK yang dapat dimanfaatkan oleh 200 jiwa. Tangki septik ini mulai beroperasi di tahun 2010, namun dikarenakan adanya kerusakan pada pompa sumber air, maka operasional tangki septik berhenti di tahun 2016 (detikNews 2009; Sysadmin 2016).

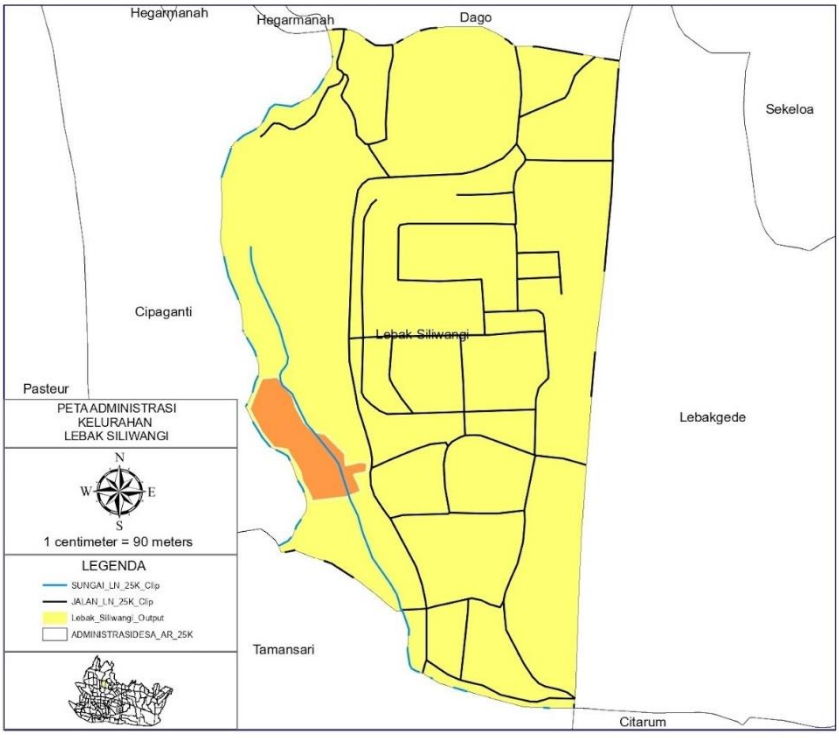
Warga RW 07 Tamansari beralih menggunakan tangki septik yang dibangun tahun 2018 dan merupakan bagian dari program Sanitasi Berbasis Masyarakat (SANIMAS). Namun, tangki septik SANIMAS hanya menyediakan 2 kamar MCK, 1 kamar untuk aktivitas mandi dan cuci, 1 kamar untuk aktivitas kakus. Berdasarkan SNI 8153:2015, tempat tinggal lebih dari 5 orang dan tidak lebih dari 16 orang membutuhkan 1 kamar mandi untuk 40 orang (BSN 2015). Dengan cakupan pelayanan 200 jiwa, maka dibutuhkan setidaknya 5 MCK di RW 07 Tamansari.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis permasalahan pada operasional tangki septik di RW 07 Tamansari serta memberikan rekomendasi perbaikan agar teknologi tersebut dapat berjalan secara optimal.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan di RW 07 Tamansari, Kelurahan Lebak Siliwangi, Kecamatan Coblong, Kota Bandung (**Gambar 1**) dan dilaksanakan selama 3 bulan pada Maret-Mei 2023. Data yang dikumpulkan berupa data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dengan cara melakukan observasi, kuesioner, dan wawancara, sedangkan untuk data sekunder diperoleh dari studi literatur.



Gambar 1. Peta wilayah penelitian di Kelurahan Lebak Siliwangi, Kota Bandung.

2.2. Prosedur analisis data

Analisis data dilakukan dengan membagi menjadi dua aspek yang akan dibahas, yaitu aspek teknis dan aspek non teknis. Aspek teknis mengidentifikasi cakupan pelayanan. Debit air limbah yang dihasilkan dan dimensi tangki septik yang dibutuhkan. Aspek non teknis mengidentifikasi kondisi sosial budaya, ekonomi, dan kelembagaan pada implementasi tangki septik biodigester.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi eksisting tangki septik

Kelurahan Lebak Siliwangi merupakan salah satu kelurahan di Kecamatan Coblong, dengan luas 1 km^2 dan berada di ketinggian 783 meter di atas permukaan laut (mdpl). Kelurahan Lebak Siliwangi terdiri dari 60 RT dan 10 RW, dengan total jumlah penduduk sebanyak 3.972 jiwa (2.002 laki-laki dan 1.970 perempuan) (Badan Pusat Statistik Kota Bandung 2022).

Pembangunan tangki septik biodigester dengan 8 MCK hasil kerja sama PDAM dengan ESP-USAID dimulai tahun 2008 dan beroperasi di tahun 2010. MCK berhenti beroperasi di tahun 2016 karena adanya kerusakan pada pompa sumber air. Kondisi eksisting saat survei di tahun 2023, 8 MCK terbengkalai dan sudah dijadikan tempat penyimpanan (gudang) juga kandang ayam. Warga RW 07 Tamansari beralih menggunakan 2 MCK dilengkapi teknologi tangki septik dari program SANIMAS yang dibangun tahun 2018. Kondisi eksisting tangki septik di lokasi penelitian berdasarkan hasil survei dapat dilihat pada **Gambar 2.**

Gambar 2. Kondisi eksisting tangki septik; a) Tangki septik biodigester; b) MCK Plus (PDAM & ESP-USAID); c) MCK (SANIMAS).

Jumlah pelayanan yang hampir mencapai 200 jiwa tidak cukup dilayani hanya oleh 2 MCK, sehingga perlu menjalankan kembali MCK Plus milik PDAM-USAID. Dengan berjalannya MCK Plus (PDAM-USAID) dan MCK SANIMAS, maka jumlah MCK yang dapat digunakan masyarakat RW 07 Tamansari menjadi 10 MCK.

3.2. Kriteria desain tangki septik sistem tercampur

Sistem sanitasi setempat memainkan peran penting dalam meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan masyarakat (García-Avila *et al.* 2023). Tangki septik merupakan teknologi paling umum yang digunakan untuk pra-pengolahan air limbah domestik secara in situ. Fungsi dasar tangki septik adalah untuk memisahkan lumpur, limbah, dan lapisan buih (*scum*) dari air limbah domestik (Adhikari and Lohani 2019). Kriteria yang digunakan untuk merencanakan tangki septik sistem tercampur mengacu pada SNI 2398:2017 (BSN 2017) serta perhitungannya ditampilkan pada **Persamaan 1** hingga **Persamaan 8.**

$$\textit{Debit air limbah } (Q_A) = (60 - 80)\% \times q \times n \quad (1)$$

$$\textit{Ruang pengendapan } (V_A) = (Q_A) \times (t_d) \quad (2)$$

$$\textit{Volume lumpur } (V_L) = (Q_L) \times n \times (PP) \quad (3)$$

$$\textit{Kapasitas tangki} = (V_A) + (V_L) \quad (4)$$

$$\textit{Ruang pengendapan} = \textit{Ruang basah} = P \times L \times \textit{Tinggi ruang basah} \quad (5)$$

$$\textit{Tinggi ruang basah} = \frac{V_A}{P \times L} \quad (6)$$

$$\textit{Tinggi ruang lumpur} = \frac{V_L}{P \times L} \quad (7)$$

$$\textit{Tinggi total} = \textit{tinggi ruang basah} + \textit{tinggi lumpur} + \textit{ambang bebas} \quad (8)$$

Keterangan:

P = panjang

L = lebar

T = tinggi

Td = waktu detensi (2 - 3 hari)

QL = banyak lumpur (30 - 40 L/orang/tahun)

PP = periode pengurasan (2 - 5 tahun)

q = pemakaian air (L/orang/hari)

n = jumlah orang pemakai minimum 1 KK (5 orang)

Bentuk dan ukuran tangki septik segi empat harus memiliki perbandingan panjang dan lebar sebesar 2 : 1 hingga 3 : 1, dengan lebar tangki minimal 0,75 m dan panjang tangki minimal 1,5 m, tinggi tangki minimal 1,5 m dan termasuk dengan ambang batas 0,3 m (BSN 2017).

3.3. Volume tangki septik

Tangki septik biodigester ini melayani 30-35 KK dengan asumsi dimensi tangki septik yang dibangun disesuaikan dengan cakupan pelayanan sebanyak 35 KK, periode pengurasan per 3 tahun sekali, tinggi tangki 2 m, ambang batas 0,3 m, dan rasio panjang banding lebar 3 : 1. Kebutuhan air bersih untuk keperluan MCK adalah sebesar 80 L/orang/hari (Qarinur *et al.* 2022). Dari data-data tersebut, maka dimensi tangki septik dapat dihitung sebagai berikut:

a. Waktu detensi (t_d) = 3 hari
b. Banyak lumpur (Q_L) = 35 L/orang/tahun ≈ 0,035 m^3/orang/tahun
c. Periode pengurasan (PP) = 3 tahun
d. Pemakaian air = 80 L/orang/hari ≈ 0,08 m^3/orang/hari
e. Jumlah pemakai = $35\ KK \times \frac{5 orang}{KK} = 175\ orang$

Adapun perhitungan debit air limbah **(Persamaan 9)**, volume ruang pengendapan **(Persamaan 10)**, volume lumpur **(Persamaan 11)**, kapasitas tangki **(Persamaan 12)**, tinggi ruang basah **(Persamaan 13)**, tinggi ruang lumpur **(Persamaan 14)**, tinggi total **(Persamaan 15)** dan volume tangki (**Persamaan 16**).

$$Debit\ air\ limbah\ (QA) = 80\% \times 0{,}08 \frac{\frac{m^3}{orang}}{hari} \times 175\ orang = 11{,}2 m^3/hari \quad (9)$$

$$Ruang\ pengendapan\ (VA) = (Q_A) \times (t_d) = \frac{11{,}2 m^3}{hari} \times 3\ hari = 33{,}6\ m^3 \quad (10)$$

$$Volume\ lumpur\ (VL) = (Q_L) \times n \times (PP)$$

$$= 0{,}035 \frac{\frac{m^3}{orang}}{tahun} \times 175\ orang \times 3\ tahun = 18{,}375\ m^3 \quad (11)$$

$$Kapasitas\ tangki = (V_A) + (V_L) = 33{,}6\ m^3 + 18{,}375\ m^3 = 51{,}975\ m^3 \quad (12)$$

Ruang $pengendapan = Ruang\ basah = P \times L \times Tinggi\ ruang\ basah$

$$Tinggi\ ruang\ basah = \frac{V_A}{P \times L} = \frac{33{,}6\ m^3}{3x \times x} = \frac{11{,}2m}{x^2} \quad (13)$$

$$Tinggi\ ruang\ lumpur = \frac{V_L}{P \times L} = \frac{18{,}375\ m^3}{3x \times x} = \frac{6{,}125m}{x^2} \quad (14)$$

$Tinggi\ total = tinggi\ ruang\ basah + tinggi\ lumpur + ambang\ bebas$

$$2m = \frac{11{,}2m}{x^2} + \frac{6{,}125m}{x^2} + 0{,}3m$$

$$2m - 0{,}3m = \frac{17{,}325m}{x^2}$$

$$x = \sqrt{\frac{17{,}325m}{1{,}7m}} = 3{,}19\ m \approx 3{,}2\ m \quad (15)$$

$$lebar = x = 3{,}2\ m$$

$$panjang = 3x = 3 \times 3{,}2m = 9{,}6\ m$$

$$volume\ tangki = P \times L \times T = 9{,}6m \times 3{,}2m \times 2m = 61{,}44\ m^3 \approx 61{,}5\ m^3 \quad (16)$$

Hasil perhitungan dimensi tangki septik untuk pelayanan 35 KK memiliki panjang 9,6 m; lebar 3,2 m dan tinggi 2 m dengan volume tangki 61,5 m^3.

3.4. Biodigester

Biodigester adalah alat untuk memproduksi biogas dengan memanfaatkan proses fermentasi dari sampah organik secara anaerobik oleh bantuan bakteri *methanogenic* (Azizah 2015). Proses anaerobik ini dapat digunakan untuk memulihkan sebagian energi ke dalam bentuk biogas (Orhorhoro *et al.* 2019). Secara teknis, proses anaerobik digester dapat berlangsung dalam 3 rentang suhu yang berbeda, yaitu suhu psikrofilik/kriofilik (dari suhu 10-20˚C), mesofilik (dari suhu 20-40˚C), dan termofilik (dari suhu 40-60˚C). berdasarkan kriteria rentang temperatur tersebut, maka proses anaerobik digester dapat diimplementasikan pada temperatur ambien tropis (Sutaryo *et al.* 2020).

Substrat merupakan faktor penting untuk efisiensi anaerobik digester. Substrat sebagian besar terdiri dari karbohidrat, protein, dan lemak yang akan diubah menjadi molekul lebih sederhana melalui proses biokimia dan akhirnya menjadi metana serta gas lainnya. Substrat organik yang kaya protein, seperti kotoran ternak memiliki kandungan energi yang tinggi dan menghasilkan volume metana yang relatif tinggi. Substrat organik kaya karbohidrat, seperti sisa makanan mengandung banyak gula sederhana dan disakarida yang mudah terurai oleh mikroorganisme metanogenik dan dapat dengan mudah menghasilkan asam lemak volatil (VFAs). Substrat organik yang kaya lemak dapat dengan mudah terurai dan menghasilkan volume biogas yang besar. Produksi metana dapat ditingkatkan dengan mempertahankan rasio C/N yang sesuai dalam anaerobik digester (Park *et al.* 2023).

Rangkaian proses pembentukan biogas adalah hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Biogas sebagian besar mengandung gas metana (CH_4) 55-65%, karbon dioksida (CO_2) 35-45%, serta gas lainnya sekitar 0-1% berupa hidrogen (H_2), oksigen (O_2), nitrogen (N_2), dan hidrogen sulfida (H_2S) (Adoe dan Selan 2022). Rata-rata tinja yang dihasilkan manusia dewasa adalah 0,20 kg/jiwa/hari. Berdasarkan data tersebut, maka dapat dihitung jumlah tinja per harinya dengan rumus (Kholiq dan Muharom 2015) pada **Persamaan 17**.

$\Sigma n = 0{,}2x$ .....(17)

Keterangan:

n = jumlah kotoran manusia yang dihasilkan per hari (kg)

x = jumlah pemakai MCK (jiwa)

0,2 = rata-rata tinja yang dihasilkan (kg/jiwa/hari)

Potensi produksi biogas dari tinja manusia sekitar 0,020-0,028 m^3/kg kotoran (Raditya dan Masduqi 2015). Nilai 1 m^3 biogas setara dengan 0,46 kg gas elpiji (Talakua 2019). Kebutuhan gas untuk aktivitas memasak keluarga yang terdiri dari 5-6 orang adalah sebesar 2 m^3/hari (Riyawan 2019). Asumsikan produksi biogas dari tinja manusia sebanyak 0,02 m^3/kg kotoran, maka biogas yang dihasilkan dapat dihitung pada **Persamaan 18** hingga **Persamaan 20** sebagai berikut:

Jumlah kotoran yang dihasilkan per hari (Σn) = $0{,}2 \frac{\frac{kg}{jiwa}}{hari} \times 175\ jiwa = 35\ kg/hari$ .....(18)

Biogas yang dihasilkan = $35 \frac{kg}{hari} \times 0{,}02 \frac{m^3}{kg} = 0{,}7\ m^3/hari$ .....(19)

Kebutuhan aktivitas memasak 1 orang = $\frac{2\ m^3/hari}{6\ orang} = 0{,}33\ m^3/orang/hari$ .....(20)

Dari hasil perhitungan, biogas yang dihasilkan sehari dapat digunakan untuk aktivitas memasak kebutuhan maksimal 2 orang.

3.5. Potensi keberlanjutan

3.5.1. Aspek ekonomi

Berdasarkan hasil wawancara, PDAM bersedia untuk memperbaiki tangki septik biodigester, tetapi ketua RT dan ketua RW 07 Tamansari menolak perbaikan tersebut karena kurangnya partisipasi masyarakat dalam pemeliharaan teknologi. Kendala biaya operasi dan pemeliharaan teknologi dapat teratasi, apabila biodigester beroperasi dan menghasilkan biogas yang dapat digunakan untuk menjalankan warung. Di mana hasil penjualan dari warung dapat digunakan untuk biaya operasional dan pemeliharaan tangki septik biodigester dan MCK.

3.5.2. Aspek sosial budaya

Bila tangki septik biodigester beroperasi kembali, maka manfaat yang akan dirasakan oleh masyarakat, antara lain lingkungan yang lebih bersih, nyaman, dan sehat karena limbah dikelola dengan baik. Selain itu, akan ada perubahan pola hidup masyarakat setelah terbiasa untuk menjaga lingkungan dengan tidak melakukan praktik BABS.

3.5.3. Aspek kelembagaan

Untuk mencapai semuanya itu, perlu adanya kelembagaan yang kuat di masyarakat, sehingga masyarakat lebih terarah dalam berpartisipasi menggunakan teknologi tangki septik. Peran serta masyarakat perlu terus diawasi oleh kelembagaan terkait proses perawatan agar penggunaan teknologi bisa berjalan dengan maksimal dan efektif.

3.6. Peningkatan partisipasi masyarakat

Walaupun biaya tersedia untuk tangki septik beroperasi, tetap tidak akan berjalan dengan optimal bila partisipasi masyarakat minim. Oleh sebab itu, perlu dilakukan strategi untuk meningkatkan partisipasi masyarakat.

a. Penyuluhan, berupa sosialisasi guna memberikan informasi yang jelas dan komprehensif kepada masyarakat tentang teknologi tangki septik. Sosialisi yang diberikan akan memperkenalkan konsep teknologi dan manfaatnya. Agar penyuluhan berhasil, maka digunakan bahasa yang mudah dipahami dan menghindari jargon teknis yang rumit.
b. Melibatkan masyarakat dalam perencanaan, dengan cara melakukan diskusi 2 arah bersama warga RW 07 untuk memperhatikan masukan dan kebutuhan mereka, sehingga teknologi yang dikembangkan atau dibangun sesuai dengan kebutuhan mereka dan memberikan manfaat yang diharapkan.
c. Transparansi dan keterbukaan, yang akan memberikan kemudahan untuk akses informasi mengenai tangki septik, termasuk aspek-aspek seperti tujuan teknologi, manfaatnya, risiko yang terkait, dan dampak yang dihasilkan kepada masyarakat. Masyarakat perlu merasa bahwa mereka memiliki pengetahuan yang cukup untuk membuat keputusan dan berpartisipasi aktif dalam proses.
d. Diskusi dan konsultasi publik, dengan mengadakan forum diskusi, pertemuan, atau sesi konsultasi untuk memperoleh pandangan dan masukan masyarakat tentang teknologi tangki septik. Selain itu, hal ini akan memberikan ruang bagi masyarakat untuk menyampaikan kekhawatiran, pertanyaan, atau saran mereka yang membantu membangun pemahaman yang lebih baik dan meredakan kekhawatiran yang mungkin ada.

e. Kolaborasi dengan komunitas lokal, melibatkan komunitas lokal dalam pengembangan dan implementasi teknologi adalah cara yang baik untuk membangun keterlibatan yang lebih besar. Melalui kemitraan dan kerja sama, diharapkan dapat membangun pemahaman bersama, memastikan penerimaan teknologi, dan mengatasi hambatan yang mungkin muncul.
f. Evaluasi dampak sosial, penting untuk secara terus-menerus dilakukan. Dengan memperhatikan umpan balik dari masyarakat dan mengambil langkah-langkah untuk mengatasi masalah yang muncul, maka dapat dipastikan teknologi berkembang secara berkelanjutan dan memberikan manfaat yang diharapkan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Potensi tangki septik sebagai teknologi yang digunakan untuk mengolah air limbah memberikan dampak yang baik bagi masyarakat apabila dimanfaatkan secara efektif. Dengan jumlah masyarakat yang dilayani teknologi tangki septik hampir mencapai 200 jiwa, maka perlu adanya penambahan MCK di RW 07 Tamansari. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menjalankan kembali MCK Plus milik PDAM-USAID. Permasalahan yang menyebabkan implementasi tangki septik pada MCK Plus tidak berjalan dengan optimal adalah karena kurangnya partisipasi masyarakat.

Akan tetapi, untuk mendapatkan potensi yang maksimal dari implementasi tangki septik diperlukan tidak hanya dari partisipasi masyarakat yang dituju, namun juga perlu adanya kelembagaan pemerintah yang kolaboratif untuk mendukung program ini. Peningkatan partisipasi masyarakat dalam penerapan teknologi dilakukan mulai dari keterlibatan dalam tahap perencanaan, pembangunan, dan penggunaan teknologi tangki septik, juga masyarakat perlu dilibatkan dalam setiap pengambilan keputusan. Hal tersebut dilakukan agar pengambilan keputusan dapat sesuai dengan kebutuhan masyarakat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pengampu, asisten pembimbing Mata Kuliah Teknologi Lingkungan Tepat Guna, serta Kelurahan RW 07 yang sudah berpartisipasi dalam mendukung dan membantu dalam penyusunan artikel ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

Adhikari JR and Lohani SP. 2019. Design, installation, operation and experimentation of septic tank UASB wastewater treatment system. Renewable Energy 143:1406-1415.

Adoe DG dan Selan RN. 2022. Pengenalan teknologi biogas sebagai sumber energi alternatif ramah lingkungan di Desa Tubuhue. Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan 6(2):808-812.

Azizah R. 2015. Sanitasi ekologis IPAL Sanimas di Kampung Sangkrah Surakarta. Jurnal Arsitektur 13(1):19-23.

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2015. Standar Nasional Indonesia 8153:2015 tentang Sistem Plambing Pada Bangunan Gedung. BSN. Jakarta.

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2017. Standar Nasional Indonesia 2398:2017 tentang tata cara perencanaan tangki septik dengan pengolahan lanjutan (sumur resapan, bidang resapan, up flow filter, kolam sanita). BSN. Jakarta.

[BPS] Badan Pusat Statistik Kota Bandung. 2022. Kota Bandung dalam angka 2021. BPS Kota Bandung. Bandung.

detikNews. 2009. Bandung kini punya mck plus dan septiktank 'raksasa' [internet]. Tersedia di: https://news.detik.com/berita-jawa-barat/d-1127142/bandung-kini-punya-mck-plus-dan-septiktank-raksasa-.

García-Avila F, César Caraguay-Palacios, Pablo Plaza-León, Alex Avilés-Añazco, Carlos Matovelle-Bustos and Lorgio Valdiviezo-Gonzales. 2023. Evaluation of on-site sanitation systems: efficiency of baffled septic tanks. Journal of Engineering Science and Technology Riview 16(3):117-122.

Kholiq I dan Muharom M. 2015. Analisis perencanaan reaktor biogas kap 16 M3 dengan pemanfaatan kotoran manusia. Journal of Engineering and Management in Industrial System 3(2):133-139.

Orhorhoro EK, Erameh AA and Lindsay EE. 2019. Comprehensive review on anaerobic digestion. Nigeria Journal of Engineering Science Research 2(1):13-28.

Park Y, Khim J and Kim JD. 2023. Application of a full-scale horizontal anaerobic digester for the co-digestion of pig manure, food waste, excretion, and thickened sewage sludge. Processes 11:1294.

Raditya GY dan Masduqi A. 2015. Perencanaan sanitasi masyarakat daerah pesisir (studi kasus: Kecamatan Kenjeran, Surabaya). Jurusan Teknik Lingkungan – FTSP: 1-25.

Riyawan A. 2019. Pemanfaatan biogas dari limbah MCK umum di Pasar Prabumulih [Skripsi]. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.

Sutaryo S, Sempana AN, Lestari CMS and Ward AJ. 2020. Performance comparison of single and two-phase biogas digesters treating dairy cattle manure at tropical ambient temperature. Tropical Animal Science Journal 43(4):354-359.

Sysadmin. 2016. Wali Kota Bandung resmikan mck plus dan septictank komunal [internet]. Tersedia di: https://www.bandung.go.id/news/read/1062/wali-kota-bandung-resmikan-mck-plus-dan-septictank-komunal.

Talakua EL. 2019. Pemanfaatan tinja manusia sebagai bio energi alternatif melalui perancangan sistem instalasi pipa pembuangan septik-tank tersentralisasi pada perencanaan pembangunan perumahan. Jurnal Tecnoscienza 3(2):177-194.

[UNICEF] United Nations International Children's Emergency Fund. 2021a. Menjadikan penyediaan air, sanitasi, dan kebersihan diri sebagai prioritas bisnis [internet]. Tersedia di: https://www.unicef.org/indonesia/id/laporan/menjadikan-penyediaan-air-sanitasi-dan-kebersihan-diri-sebagai-prioritas-bisnis.

[UNICEF] United Nations International Children's Emergency Fund. 2021b. WASH Acts - Edisi 2021 [internet]. Tersedia di: https://www.unicef.org/indonesia/id/laporan/wash-acts-edisi-2021.

[UNICEF] United Nations International Children's Emergency Fund Indonesia, ISF-UTS, UI dan Bappenas. 2022. Sanitasi perkotaan berketahanan iklim di Indonesia: bahaya, dampak, dan respons di empat kota [internet]. Tersedia di: https://www.unicef.org/indonesia/id/laporan/sanitasi-perkotaan-berketahanan-iklim-di-indonesia-bahaya-dampak-dan-respons-di-empat-kota.

Qarinur M, Prayogo W, Rahayu T dan Fitria L. 2022. Redesain instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dengan penambahan unit biodigester skala komunal kapasitas 5 m3. Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah 10(1):91-100.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN
Journal of Environmental Sustainability Management

JPLB
Vol. 8 No. 1 (2024)
ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025
Tersedia di https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb

Emisi gas rumah kaca (CO_2 dan CH_4) pada kawasan mangrove di Pesisir Desa Poka, Kota Ambon

Greenhouse gases emissions (CO_2 and CH_4) in the mangrove sediment on the coast of Poka Village, Ambon City

Rahman[1*], Irma Kesaulya[1], La Ikbal[1],

[1]Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

Abstrak.
Input bahan organik yang masuk ke perairan Teluk Ambon tersebar ke kawasan ekosistem mangrove dan sebagian terendapkan pada sedimen, termasuk kawasan mangrove Desa Poka. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis emisi gas rumah kaca (CO_2 dan CH_4) pada sedimen mangrove di kawasan Desa Poka. Pengambilan gas dilakukan dengan metode sungkup silinder yang diletakkan pada tiga tipe sedimen yaitu lumpur berpasir (LPs), pasir berlumpur (PsL), dan pasir (Ps). Analisa konsentrasi gas mengacu pada metode kromatografi gas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi gas CO_2 terbesar ditemukan pada sedimen LPs yaitu 138,94 mg/m^2/jam. Sedangkan emisi terendah terdapat pada sedimen PsL yaitu 20,69 mg/m^2/jam. Selain itu, emisi gas CH_4 terbesar juga ditemukan pada tipe sedimen LPs yaitu 0,2154 mg/m^2/jam. Sementara itu, emisi gas CH_4 terendah ditemukan pada tipe sedimen Ps yaitu 0,0447 mg/m^2/jam. Emisi gas rumah kaca khususnya CO_2 dan CH_4 pada sedimen mangrove di Pantai Poka Teluk Ambon Dalam masih relatif rendah bila dibandingkan dengan rata–rata emisi dari ekosistem mangrove lainnya di Indonesia. Tipe sedimen lumpur berpasir memiliki emisi yang lebih besar dibandingkan tipe sedimen pasir berlumpur dan pasir yang dipengaruhi oleh ketersediaan total karbon organik pada masing – masing sedimen mangrove.

Kata kunci: gas rumah kaca, perubahan iklim, sedimen mangrove, lumpur berpasir

Abstract.
The organic material input that enters the waters of Ambon Bay spreads to the mangrove ecosystem area and is partially deposited in sediments, including the mangrove area of Poka Village. This study aims to analyze greenhouse gas emissions (CO2 and CH4) in mangrove sediments in the Poka Village area. The gas collection was carried out using a cylindrical cap method placed on three types of sediment, namely sandy silt (LPs), muddy sand (PsL), and sand (Ps). Gas concentration analysis refers to the gas chromatography method. The results showed that the largest CO_2 emissions were found in LPs sediments, 138.94 mg/m^2/hour. Meanwhile, the lowest emission was found in PsL sediment, which was 20.69 mg/m^2/hour. In addition, the largest CH_4 emission was also found in the LPs sediment type, 0.2154 mg/m^2/hour. Meanwhile, the lowest CH_4 emission was found in the Ps sediment type, 0.0447 mg/m^2/hour. Greenhouse gas emissions (CO_2 and CH_4) in mangrove sediments on the Coast of Poka, Ambon Bay, are still relatively low compared to Indonesia's average emissions from other mangrove ecosystems. The sandy-mud sediment type has greater emissions than the silty-sand and sand sediment types which are influenced by the availability of total organic carbon in each mangrove sediment.

Keywords: greenhouse gases, climate change, mangrove sediments, sandy mud.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan gas rumah kaca di atmosfer dapat memicu pemanasan global dan perubahan iklim. Perubahan iklim dapat mempengaruhi berbagai aspek kehidupan masyarakat, seperti pertanian, kesehatan dan perikanan (Badjeck *et al.* 2010; Shawket *et al.* 2019). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perubahan iklim mempengaruhi kenaikan suhu air, gelombang, kenaikan permukaan laut, curah hujan, kecepatan angin, pH dan oksigen (Cheung *et al.* 2009; Drinkwater *et al.* 2010; Jones 2013).

[*] Korespondensi Penulis
Email : rahmanrajaali@gmail.com

Perubahan ini terus mengurangi fungsi jasa ekosistem pesisir, laut, dan air tawar (Brander 2010; Wang *et al.* 2016). Sedangkan Coulthard (2008), Ohwayo *et al.* (2016) dan Asch *et al.* (2018) melaporkan bahwa rusaknya ekologi pesisir dan laut akibat perubahan iklim menyebabkan penurunan produksi perikanan dan hilangnya mata pencaharian masyarakat. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2001), karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4) adalah konsentrasi gas rumah kaca terbesar di atmosfir yang menyebabkan pemanasan global. Gas ini dihasilkan oleh berbagai aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, kendaraan bermotor dan pabrik industri, yang menyebabkan akumulasi karbon dioksida (IPCC 2001; Lang *et al.* 2011; Oertel *et al.* 2016).

Menurut Rahman *et al.* (2018), akumulasi karbon dioksida di atmosfer juga terjadi secara alami melalui proses dekomposisi bahan organik yang terjadi pada vegetasi atau ekosistem, termasuk ekosistem mangrove. Lebih lanjut, Rahman *et al.* (2017) melaporkan bahwa ekosistem mangrove dapat menyimpan hingga 295 tonC/ha. Pada saat yang sama, Donato *et al.* (2012); Alongi (2014); Adame *et al.* (2015); Rahman *et al*. (2024) menyatakan bahwa pada ekosistem mangrove total stok karbon berkisar 548,48 - 1200 MgC/ha, yang empat kali lebih tinggi daripada ekosistem lainnya.

Ekosistem mangrove tidak hanya menyimpan dan menyerap karbon, tetapi juga menghasilkan emisi karbon dioksida melalui dekomposisi serasah (Rahman *et al.* 2020c). Serasah mangrove dapat berasal dari daun-daun yang gugur atau mangrove yang mati secara alami (Rahman *et al.* 2020b). Selain itu, hamparan mangrove mati (nekromassa) juga dapat dihasilkan dari aktivitas deforestasi dan konversi lahan.

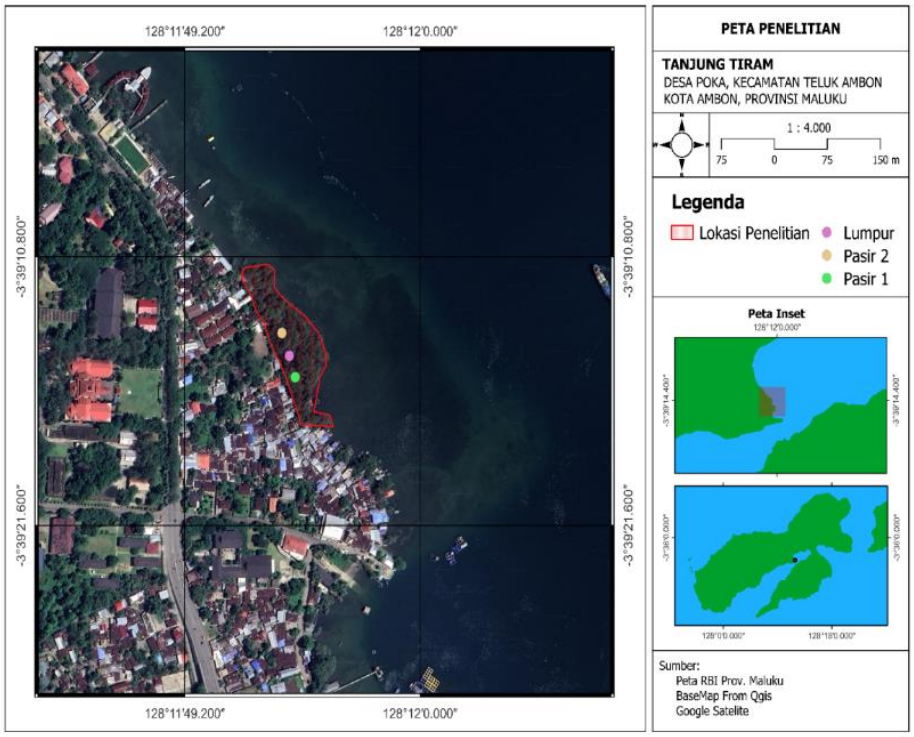
Umumnya, konversi mangrove terjadi akibat pembangunan berbagai infrastruktur seperti pemukiman, tambak dan dermaga (Ilman *et al.* 2016; Rahman *et al.* 2020a). Serasah mangrove bercampur dengan limbah organik yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dan terurai di sedimen mangrove. Rahman *et al.* (2020d) dan Bengen *et al.* (2022) melaporkan bahwa sedimen ekosistem mangrove terdiri dari pasir, pasir berlumpur, lumpur berpasir, dan lumpur. Setiap jenis substrat dapat memiliki satu atau dua spesies dominan yang berbeda dengan substrat lainnya.

Penelitian terkait emisi gas rumah kaca pada kawasan mangrove masih sangat terbatas di Indonesia, khususnya di ekosistem mangrove Teluk Ambon Dalam. Suyadi (2009; 2012) melaporkan bahwa Teluk Ambon Dalam memiliki potensi ekosistem mangrove yang cukup besar dan meluas ke beberapa tempat seperti pantai Passo, Negeri Lama, Nania, Waiheru, dan Poka. Input bahan organik dari buangan limbah domestik yang terakumulasi pada kawasan teluk dan tersebar ke beberapa daerah pesisir termasuk kawasan ekosistem mangrove Poka. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian tentang emisi gas rumah kaca (CO_2 dan CH_4) pada kawasan ekosistem mangrove perlu untuk dilakukan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli - Agustus 2022 di kawasan ekosistem mangrove pesisir Desa Poka, Teluk Ambon. Titik pengambilan gas dilakukan pada tiga titik berdasarkan tipe sedimen yaitu (1) lumpur berpasir (03°39’15,5’LS dan 128°11’54,6’BT), pasir berlumpur (03°39’14,8’LS dan 128°11’54,1’’BT), dan pasir (03°39’13,9’’LS dan 128°11’53,8’’BT) (**Gambar 1**). Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada **Tabel 1**.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

Tabel 1. Alat dan bahan.

No.	Alat	Kegunaan
1	Sungkup	Untuk perangkap gas pada sedimen
2	*Syringe*	Untuk mengambil gas dari dalam sungkup
3	Spoit 50 ml	Untuk mengambil gas melalui *syiringe*
4	Botol vial 10 ml	Untuk menyimpan sampel gas
5	Penjepit selang	Untuk menutup sirkulasi udara dari selang ke sungkup
6	GC-MS	Untuk menganalisis konsentrasi gas
7	GPS	Untuk menentukan titik koordinat
8	Reagen analisa gas	Untuk memudahkan analisa gas karbon

2.2. Metode pengumpulan data

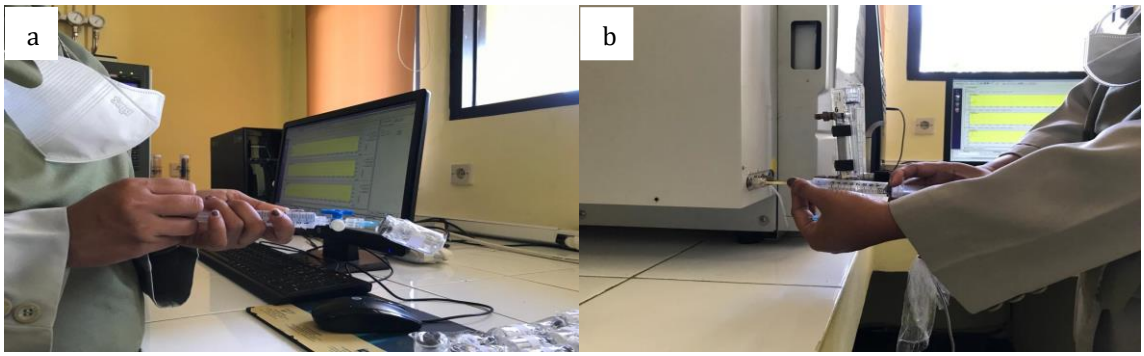
Pengambilan sampel gas dilakukan dengan meletakkan sungkup di bawah kanopi mangrove berdasarkan karakter substrat yaitu lumpur berpasir, pasir berlumpur, dan pasir. Sungkup volume 17 liter (luas alas = 0,0615 m^2) diletakkan pada masing – masing sedimen untuk mengambil gas yang merupakan hasil dari dekomposisi bahan organik yang telah berlangsung pada masing – masing sedimen mangrove (Nazareth dan Gonsalves 2022) (**Gambar 2**). Sungkup yang diletakkan ditancapkan pada sedimen sedalam 5 cm untuk menghindari potensi sirkulasi gas dari dalam atau luar sungkup. Gas diambil melalui *syiringe* menggunakan spoit lalu dimasukkan dalam botol vial 10 ml. Pengambilan sampel gas dilakukan dengan interval masing – masing 30 detik dengan 5 kali ulangan yaitu 0 s, 30 s, 60 s, 90 s, dan 120 s (s = sekon) (Nazareth dan Gonsalves 2022). Pada tiap jenis substrat dilakukan pengambilan gas sebanyak 10 sampel sehingga total sampel yang diperoleh pada tiga jenis sedimen yang diamati adalah 30 sampel.

Gambar 2. Pengambilan gas pada sedimen mangrove: sedimen lumpur (kiri); sedimen pasir berlumpur (tengah); sedimen pasir (kanan).

2.3. Prosedur analisis data

2.3.1. Konsentrasi gas rumah kaca

Konsentrasi GRK (CO_2 dan CH_4) dianalisis dengan metode kromatografi gas. Pada analisis konsentrasi gas CO_2, sebanyak 2 ml gas dialirkan melalui *thermal conductivity detector* (TCD) selama 5 menit dengan 3 kali pengulangan. Sedangkan pada analisis gas CH_4, sebanyak 3 ml gas dialirkan melalui *flame ionization detector* (FID) selama 2 menit dengan 3 kali pengulangan. Pengukuran konsentrasi gas karbon dilakukan di Laboratorium Balai Penelitian Lingkungan Pertanian Kabupaten Pati – Jawa Tengah (**Gambar 3**).



Gambar 3. Analisis konsentrasi gas karbon dengan metode kromatograsi gas (GC); a) pengambilan 2-3 ml gas dari botol sampel menggunakan spoit; b) proses analisis gas karbon dengan metode kromatografi gas.

2.3.2. Emisi gas karbon

Nilai emisi karbon dianalisis dengan menggunakan **Persamaan 1** dari Rahman *et al.* (2020c); Rahman *et al.* (2023). Nilai tersebut diperoleh berdasarkan nilai konsentrasi gas karbon dari hasil analisis GC-MS.

$$F = \left| \frac{S * V * t * mW}{(RT * A)} \right| \quad \ldots\ldots (1)$$

Keterangan:

F = Fluks gas karbon (µg/m^2/jam atau mg/m^2/jam)

S = Slope regresi dari konsentrasi gas karbon yang diukur setiap 30 detik (ppm/detik)

V = Volume sungkup (L)

A = Luas area yang tertutup oleh sungkup (m^2)

R = Tetapan gas ideal (0,082 L.atm/K/mol)

T = Temperature dalam sungkup atau suhu udara (K)

t = Tetapan transformasi waktu (1 jam/interval waktu pengambilan sampel gas)

mW = massa atom relatif C (CO_2 = 44 g/mol dan CH_4 = 16 g/mol)

2.3.3. Analisis statistik

Untuk melihat ada tidaknya perbedaan nilai rata – rata konsentrasi gas karbon (ppm) dan emisi karbon (mg/m^2/jam) pada masing – masing sedimen mangrove maka dilakukan uji *Anova Single Factor* dengan perangkat statistik dalam *Microsoft Excel*.

2.3.4. Potensi pemanasan global gas karbon

Global *Warming Potential* (GWP) gas rumah kaca merupakan nilai ekuivalensi terhadap radiasi dari konsentrasi gas CO_2 di atmosfir. GWP yang dihitung merupakan ekuivalensi radiasi GRK untuk 100 tahun (IPCC 2001). Analisis nilai GWP dari gas karbon dilakukan mengacu pada **Persamaan 2** IPCC (2001) yaitu sebagai berikut:

$$F_e = Fm \; x \; GWP \quad \ldots\ldots(2)$$

Keterangan:

F_e = nilai fluks CO_2-ekuivalen (mg/m^2/jam) sebagai pendekatan dari nilai potensi pemanasan global

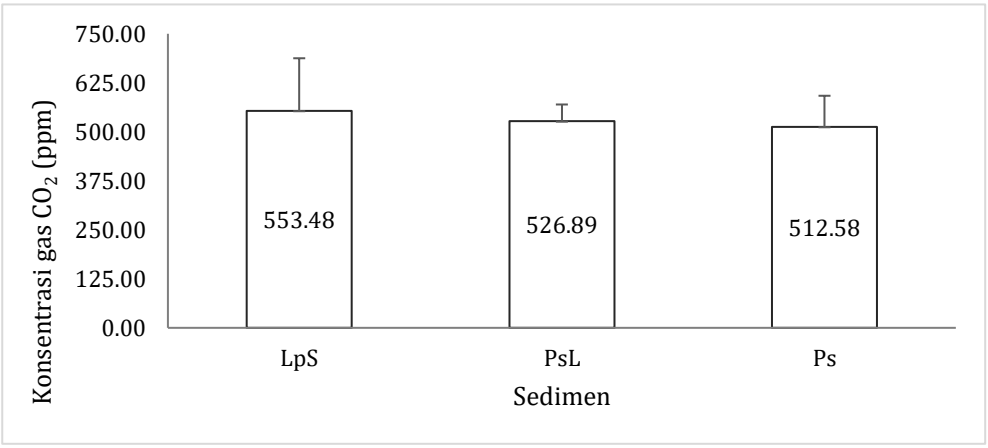
Fm = fluks gas karbon (mg/m^2/jam)

GWP = nilai potensi pemanasan global gas karbon yaitu konversi nilai emisi per mol gas CH_4 setara dengan 25 kali emisi CO_2-eq pada rentang waktu 100 tahun

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

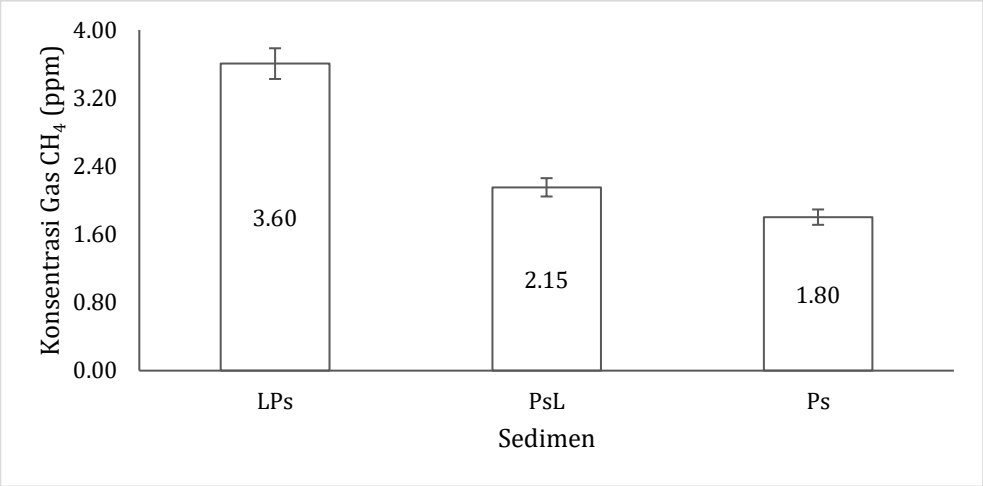
3.1. Konsentrasi gas

Konsentrasi gas CO_2 yang dihasilkan dari aktivitas degradasi bahan organik pada sedimen mangrove menunjukkan hasil yang berbeda antara yang terdapat pada substrat lumpur berpasir (LPs), pasir berlumpur (PsL), dan pasir (Ps). Rata – rata konsentrasi gas CO_2 yaitu 553,48 ppm pada sedimen lumpur berpasir, 526,89 ppm pada sedimen pasir berlumpur, dan 512,58 ppm pada sedimen pasir (**Gambar 4**).



Gambar 4. Konsentrasi das CO_2 pada berbagai tipe sedimen mangrove di pesisir Desa Poka, Teluk Ambon Dalam.

Tidak berbeda dengan gas CO_2, konsentrasi gas CH_4 yang terbesar dan terkecil masing – masing terdapat pada sedimen pasir berlumpur dan sedimen pasir. Nilai konsentrasi gas CH_4 pada masing – masing sedimen yaitu 3,60 ppm untuk sedimen lumpur berpasir, 2,15 ppm untuk sedimen pasir berlumpur, dan 1,80 ppm untuk sedimen pasir (**Gambar 5**).



Gambar 5. Konsentrasi gas CH_4 pada berbagai tipe sedimen mangrove di pesisir Desa Poka, Teluk Ambon Dalam.

Perbedaan konsentrasi gas CO_2 dan CH_4 pada sedimen mangrove menunjukkan adanya perbedaan kandungan bahan organik pada masing – masing sedimen mangrove (Rahman *et al.* 2018). Kandungan bahan organik yang tinggi membutuhkan proses penguraian yang lebih lama, sehingga ketersediaan oksigen tidak akan cukup untuk proses dekomposisi. Akibatnya, proses dekomposisi berjalan secara anaerob dan memicu peningkatan konsentrasi CO_2 dari reduksi asam asetat, propionat, dan asam laktat yang terdapat pada serasah mangrove (Rahman *et al.* 2020d).

Hasil analisis uji varians (*Anova Single Factor*) menunjukkan bahwa rata – rata konsentrasi gas CO_2 pada ketiga sedimen berbeda nyata dengan *F-value* (4.2479) yang lebih besar dari *F critical* (3.8853). Hal tersebut menunjukkan bahwa rata – rata konsentrasi gas CO_2 yang dihasilkan dari degradasi bahan organik pada masing – masing sedimen adalah berbeda. Perbedaan nyata rata – rata konsentrasi gas CO_2 juga terlihat pada uji varians antara LPs dan Ps (*F-value* > *F critical* = 5.3451 > 5.3176), antara sedimen PsL dan Ps (*F-value* > *F critical* = 5.3763 > 5.3451). Sedangkan pada rata – rata konsentrasi gas CO_2 antara sedimen LPs dan PsL tidak berbeda nyata atau sama (*F-value* < *F critical* = 0.1787 < 5.3763) (**Tabel 2**).

Berbeda dengan gas CO_2, rata – rata konsentrasi gas CH_4 tidak berbeda nyata pada semua tipe sedimen. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses pembentukan gas CH_4 pada semua tipe sedimen berlangsung melalui proses reduksi etanol bukan semata – mata melalui proses metanogenik (Rahman *et al.* 2020d). Nilai *F* dari uji *Anova* antara rata – rata konsentrasi gas CH_4 sedimen LPs dan PsL lebih rendah dari *F critical* (*F-value < F critical =* 3.3726 < 5.3763); demikian juga halnya pada uji Anova antara rata – rata konsentrasi gas CH_4 sedimen LPs dan Ps (*F-value < F critical =* 1.2085 < 5.3763) dan antara PsL dan Ps(*F-value < F critical =* 1.7298 < 5.3763) (**Tabel 2**).

Tabel 2. Analisis varians konsentrasi gas CO_2 dan CH_4 pada beberapa tipe sedimen mangrove di Pesisir Desa Poka , Teluk Ambon Dalam – Ambon.

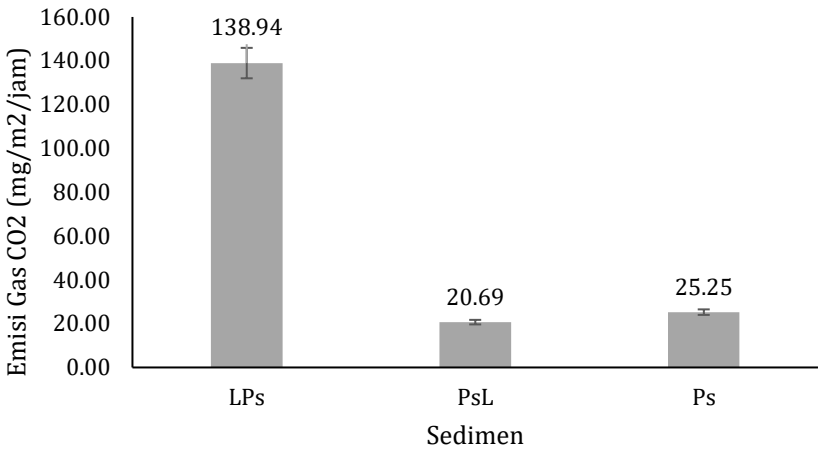
Gas	Sedimen	*F-value*	*F-critical*	*P-values*
CO_2 (n=10 - 30)	LPs : PsL : Ps	4.2479[a]	3.8853	>0.05
	LPs : PsL	0.1787[b]	5.3176	<0.05
	LPs : Ps	5.3451[a]	5.3176	>0.05
	PsL : Ps	5.3763[a]	5.3176	>0.05
CH_4 (n=10 – 30)	LPs : PsL : Ps	3.0751[a]	3.8853	<0.05
	LPs : PsL	3.3726[a]	5.3176	<0.05
	LPs : Ps	1.2085[a]	5.3176	<0.05
	PsL : Ps	1.7298[a]	5.3176	<0.05

Keterangan: a = berbeda nyata, b = tidak berbeda nyata pada tingkat signifikansi α = 0.05, LPs = Lumpur berpasir, PsL = Pasir berlumpur, Ps = Pasir

Temuan tersebut sejalan dengan laporan Kesaulya *et al.* (2023) yang menemukan adanya perbedaan nyata nilai rata – rata konsentrasi gas CO_2, dan kesamaan nilai rata – rata konsentrasi gas CH_4 pada sedimen mangrove di kawasan Desa Waiheru, Teluk Ambon Dalam (TAD). Hal tersebut mengindikasikan bahwa sebaran bahan organik yang masuk ke kawasan TAD tersebar ke seluruh kawasan pesisir di sekitarnya.

3.2. Emisi gas CO_2

Sejalan dengan konsentrasi gas CO_2, emisi gas CO_2 terbesar juga ditemukan pada sedimen LPs dengan nilai emisi yaitu 138,94 mg/m^2/jam. Emisi gas CO_2 terendah terdapat pada sedimen PsL dan Ps dengan nilai emisi masing – masing 20,69 mg/m^2/jam dan 25,25 mg/m^2/jam (**Gambar 6**).



Gambar 6. Emisi gas CO_2 pada beberapa tipe sedimen mangrove di Pesisir Desa Poka, Teluk Ambon Dalam – Ambon.

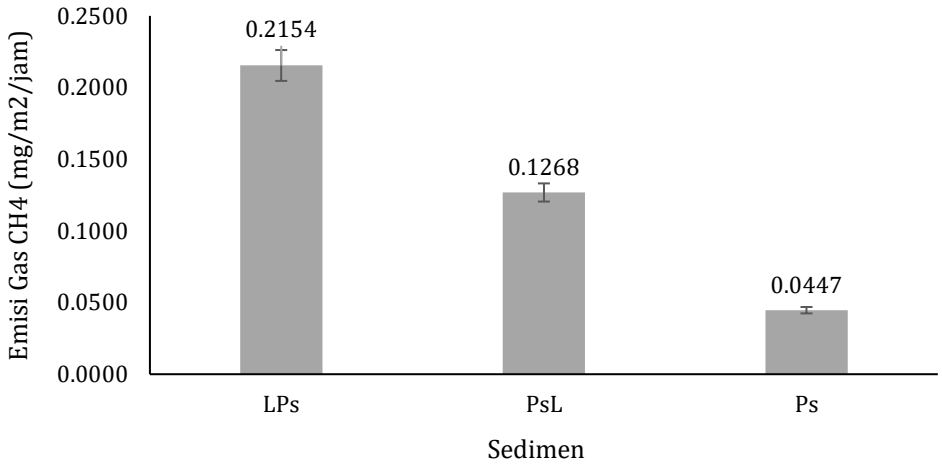
Hal tersebut mengindikasikan bahwa laju pelepasan gas CO_2 pada tipe sedimen LPs lebih banyak dibandingkan tipe sedimen lainnya yang dipengaruhi oleh ketersediaan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* atau DO) sebagai pemicu terjadinya dekomposisi bahan organik secara aerob.

Pada kondisi ketersediaan bahan organik dan DO yang merata pada ketiga tipe sedimen, emisi gas CO_2 terbesar seharusnya ditemukan pada sedimen pasir atau Ps. Hal itu karena tipe sedimen pasir memiliki porositas yang tinggi (Nurwidyanto *et al.* 2006) sehingga memungkinkan gas terlepas dengan cepat ke atmosfir. Pada penelitian ini, ketiga tipe sedimen merupakan sedimen yang mengandung pasir meskipun dengan komposisi yang berbeda. Hal ini semakin memperkuat bahwa perbedaan emisi gas CO_2 yang signifikan antara tipe sedimen LPs dengan PsL dan Ps adalah karena perbedaan total karbon tanah dan parameter lingkungan lainnya yang mempengaruhi laju emisi gas CO_2 (Chen *et al.* 2012).

Chen *et al.* (2010) menyebutkan bahwa emisi gas CO_2 pada ekosistem mangrove juga dipengaruhi oleh musim baik secara spasial maupun temporal. Lama penyinaran matahari pada musim panas menyebabkan kenaikan suhu perairan yang memicu laju aktivitas mikroorganisme dalam reaksi pembentukan gas CO_2. Selain itu, proses degradasi bahan organik dan serasah mangrove menjadi lebih cepat pada musim hujan karena dapat menurunkan salinitas perairan mangrove pada nilai yang optimal untuk proses degradasi serasah yaitu 25 – 28 ppt (Rahman *et al.* 2020c).

3.3. Emisi gas CH_4

Sejalan dengan emisi gas CO_2, emisi gas CH_4 terbesar juga ditemukan pada tipe sedimen LPs yaitu 0,2154 mg/m^2/jam. Sementara itu, emisi gas CH_4 terendah ditemukan pada tipe sedimen Ps dan PsL dengan nilai masing – masing 0,0447 mg/m^2/jam dan 0,1268 mg/m^2/jam (**Gambar 7**). Nilai emisi tersebut masih relatif lebih rendah bila dibandingkan temuan Rahman *et al.* (2018) di kawasan Sungai Tallo atau Rahman *et al.* (2020c) di pesisir Kabupaten Muna Barat. Nilai tersebut juga mengindikasikan bahwa ketersediaan DO masih cukup untuk proses asidogenik dalam pembentukan gas CH_4 (Rahman *et al.* 2020e). Rendahnya nilai emisi CH_4 berarti tidak terjadi pencemaran limbah, sehingga gas CH_4 tidak terproduksi secara optimal pada proses metanogenik. Pembentukan gas CH_4 paling banyak dihasilkan dari reduksi CO_2. Akan tetapi, adanya input bahan organik dari aktivitas manusia dapat memicu berkurangnya oksigen untuk penguraian limbah secara aerob sehingga reaksi anaerob secara metanogenik akan berlangsung untuk pembentukan gas CH_4 yang lebih besar (Rahman *et al.* 2020d)



Gambar 7. Emisi gas CH_4 pada beberapa tipe sedimen mangrove di Pesisir Desa Poka, Teluk Ambon Dalam – Ambon.

Emisi gas CH_4 yang lebih besar dari 1 mg/m^2/jam umumnya terbentuk melalui reaksi reduksi gas CO_2 secara anaerob (**Persamaan 3**) sehingga menimbulkan bau yang tak sedap (Rahman *et al.* 2020d). Pembentukan gas CH_4 tersebut membutuhkan 4 molekul gas hidrogen (H_2) yang menghasilkan gas 1 molekul gas CH_4 dan 2 molekul air (H_2O).

$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$.....(3)

Keterangan:

CO_2 = Gas karbondioksida

H_2 = Gas hidrogen

CH_4 = Gas metana

H_20 = Molekul air

3.4. Potensi pemanasan global

Gas karbon merupakan kontributor utama yang dapat memicu terjadinya perubahan iklim (IPCC 2001). Peningkatan konsentrasi gas karbon di atmosfir dipicu oleh berbagai faktor seperti pembakaran fosil, penggunaan bahan bakar, konversi hutan, dan termasuk degradasi limbah organik. Konsentrasi gas karbon juga meningkat karena proses alamiah seperti degradasi serasah yang terjadi pada sedimen mangrove (Zhang *et al.* 2020).

GWP gas karbon merupakan akumulasi potensi radiasi dari emisi gas CO_2 dan CH_4 yang disetarakan menjadi nilai emisi CO_2-ekuivalen. Potensi pemanasan global (GWP) pada sedimen mangrove Desa Poka yaitu 194,55 mg/m^2/jam. GWP terbesar dikontribusikan oleh tipe sedimen lumpur berpasir (LPs) dengan nilai GWP total yaitu 144,32 CO_2-eq mg/m^2/jam. GWP terendah dikontribusikan oleh sedimen pasir berlumpur (PsL) dengan nilai total GWP yaitu 23,86 CO_2-eq mg/m^2/jam (**Tabel 3**)

Tabel 3. Nilai kontribusi GWP gas karbon pada beberapa tipe sedimen ekosistem mangrove Di Desa Poka, Teluk Ambon Dalam - Ambon

Sedimen	Emisi Karbon (mg/m^2/jam)		GWP (mg/m^2/jam CO_2-eq)
	CO_2	**CH_4**	**CO_2-eq**
LPs	138,94	0,2154	144,32
PsL	20,69	0.1268	23,86
Ps	25,25	0.0447	26,37
Total	**184,88**	**0.3868**	**194.55**

Keterangan: LPs = Lumpur berpasir, PsL = Pasir berlumpur, Ps = Pasir

Total nilai GWP tersebut lebih rendah dibandingkan nilai GWP mangrove di Teluk Honda – Philipina yaitu 8606,88 CO_2-eq mg/m^2/jam (Castillo *et al.* 2017) dan ekosistem mangrove di Teluk Kembar – Belize Pusat dengan nilai GWP berkisar 332,63–1203,84 CO_2-eq mg/m^2/jam (Lovelock *et al.* 2011), serta GWP dari mangrove sungai Tallo – Makassar yaitu 346.71 CO_2-eq mg/m^2/jam (Rahman *et al.* 2018).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Emisi gas rumah kaca khususnya CO_2 dan CH_4 pada sedimen mangrove di Desa Poka Teluk Ambon Dalam masih relatif rendah bila dibandingkan dengan rata – rata emisi dari ekosistem mangrove lainnya di Indonesia. Tipe sedimen lumpur berpasir memiliki emisi yang lebih besar dibandingkan tipe sedimen pasir berlumpur dan pasir yang dipengaruhi oleh ketersediaan total karbon organik pada masing – masing sedimen mangrove. Berdasarkan hasil temuan dalam penelitian ini, penulis menyarankan perlunya penelitian lanjutan untuk mengkaji emisi gas rumah kaca pada kawasan Teluk Ambon Dalam secara menyeluruh dengan berbagai pendekatan parameter lingkungan. Dengan demikian, kebijakan pengelolaan kawasan teluk berbasis mitigasi gas rumah kaca dapat dirumuskan atau diimpelementasikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

Adame MF, Santini NS, Tovilla C, Lule AV, Castro L and Guevara M. 2015. Carbon stock and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. Biogeoscience 12: 3805-3818.

Alongi DM. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. Annual Review of Marine Science 6:195 – 219.

Asch RG, Cheung WWL and Reygondeau G. 2018. Future marine ecosystem drivers, biodiversity, and fisheries maximum catch potential in Pacific Island countries and territories under climate change. Marine Policy 88:285 - 294

Badjeck MC, Allison EH, Halls AS and Dulvy NK. 2010. Impacts of climate variability and change on fishery-based livelihoods. Marine Policy 34:375 – 83.

Bengen DG, Yonvitner dan Rahman. 2022. Pedoman Teknis: Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove. IPB Press. Bogor

Brander K. 2010. Impacts of climate change on fisheries. Journal of Marine System 79(3):389 – 402.

Castillo JAA, Apan AA, Maraseni TN and Salmo III SG. 2017. Soil greenhouse gas fluxes in tropical mangrove forests and in land use on deforested mangrove lands. Catena 159:60 – 69.

Chen GC, Tam NFY and Ye Y. 2010. Summer fluxes of atmospheric greenhouse gases N_2O, CH_4 and CO_2 from mangrove soil in South China. Science of the Total Environment 408:2761 – 2767.

Chen GC, Tam NFY and Ye Y. 2012. Spatial and seasonal variations of atmospheric N_2O and CO_2 fluxes from a subtropical mangrove swamp and their relationships with soil characteristcs. Soil Biology and Biochemistry 48:175 – 181.

Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, Kearney K, Watson R and Pauly D. 2009. Projecting global marine biodiversity impatcs under climate change scenario. Fish and Fisheries 10(3):235 – 251.

Coulthard S. 2008. Adapting to environmental change in artisanal fisheries-insight from a South Indian Lagoon. Global Environmental Change 18(3):479 – 89.

Donato DC, Kauffman JB, Mackenzie RA, Ainsworth , and Pfleeger AZ. 2012. Whole-island carbon stock in tropical pasific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. Journal of Environmental Management 97(30):89-96.

Drinkwater KF, Beaugrand G, Kaeriyama M, Kid S, Ottersen G, Perry RI, Pörtner HO, Polovina JJ and Takasuka A. 2010. On the processes linking climate to ecosystem changes. Journal of Marine System 79(3):374 – 388.

Ilman M, Dargusch P, Dart P and Onrizal. 2016. A historical analysis of the drivers of loss and degradation Indonesia's mangroves. Land Use Policy 54:448-459.

[IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Cambridge University Press. Cambridge.

Jones PD. 2013. Greenhouse effect and climate data. Reference Module in Earth Sciences and Environment: 1 – 17.

Kesaulya I, Rahman, Haumahu S and Krisye. 2023. Global warming potential of carbon dioxide and methane emissions from mangrove sediment in Waiheru Coastal, Ambon Bay [Proceeding]. Proceeding of ICBSE. IOP Conference Series.

Lang M, Cai ZC and Chang SX. 2011. Effects of land use type and incubation temperature on greenhouse gas emissions from Chinese and Canadian Soils. Journal of Soils and Sediments 11:15-24.

Lovelock CE, Ruess RW and Feller IC. 2011. CO_2 efflux from cleared mangrove peat. PLoS ONE 6(6):1– 4.

Nazareth DR and Gonsalves MJ. 2022. Influence of seasonal and environmental variables on the emission of methane from the mangrove sediments of Goa. Environmental Monitoring and Assessment 194 (4):235 – 249.

Nurwidyanto MI, Yustiana M dan Widada S. 2006. Pengaruh ukuran butir terhadap porositas dan permeabilitas batupasir. Berkala Fisika 9(4):191 – 195.

Oertel C, Matschullat J, Zurba K, Zimmermann F and Erasmi S. 2016. Greenhouse gas emissions from soils- a review. Geochemistry 76(3):327-352.

Ohwayo RO, Natugonza V, Musinguzi L, Olokotum M and Naigaga S. 2016. Implications of climate variability and change for African lake ecosystems, fisheries productivity, and livelihoods. Journal of Great Lakes Research 4293):498 – 510.

Rahman, Effendi H dan Rusmana I. 2017. Estimasi stok dan serapan karbon pada mangrove di Sungai Tallo, Makassar. Jurnal Ilmu Kehutanan 11(1):19-28.

Rahman R, Wardiatno Y, Yulianda F, Effendi H dan Rusmana I. 2018. Fluks gas rumah kaca CO_2, CH_4 dan N_2O pada lahan ekosistem mangrove di Sungai Tallo, Makassar. Jurnal Biologi Tropis 18(2):149–158.

Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F and Rusmana I. 2020a. Socio-ecological system of carbon-based mangrove forests on the coast of West Muna Regency, Southeast Sulawesi, Indonesia. AACL Bioflux 13(2):518-528.

Rahman, Wardiatno, Y, Yulianda F dan Rusmana I. 2020b. Produksi serasah musiman pada berbagai spesies mangrove di Pesisir Kabupaten Muna Barat, Sulawesi Tenggara. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia 25(3):325 – 335.

Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F and Rusmana I. 2020c. Seasonal fluxes of CO_2 , CH_4 and N_2O greenhouse gases in various mangrove species on the coast of West Muna Regency, Southeast Sulawesi, Indonesia. Plant Archives 20(2):4301 – 4311.

Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F, Rusmana I, dan Bengen DG. 2020d. Metode dan Analisis Studi Ekosistem Mangrove. IPB Press. Bogor.

Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F, Lokollo FF and Rusmana I. 2023. Emission and potential of global warming of N_2O gas of mangrove litter degradation on the West Muna Regency Coast. Jurnal Ilmu Kehutanan 17(2):127 – 134.

Rahman, Ceantury A, Tuahatu JW, Lokollo FF, Supusepa J, Hulopi M, Permatahati YI, Lewerissa A and Wardiatno Y. 2024. Mangrove ecosystem in Southeast Asia region: mangrove extent, blue carbon potential and CO_2 emission in 1996-2020. Science of the Total Environment 915(3): 1-12.

Shawket N, Elmadhi Y, Kharrim KE and Belghyti D. 2019. Impacts of climate change on fish performance. Journal of Entomology and Zoology Studies 7(5):343 – 349.

Suyadi. 2009. Kondisi hutan mangrove di Teluk Ambon: prospek dan tantangan. Berita Biologi 5(9):481 – 490.

Suyadi. 2012. Satu dekade kondisi hutan mangrove di Teluk Ambon. Jurnal Biologi Indonesia 8(1):197 – 203.

Wang H, Zhou S, Li X, Liu H, Chi D and Xu K. 2016. The influence of climate change and human activities on ecosystem service value. Ecological Engineering 87:224 – 239.

Zhang CJ, Pan J, Liu Y, Duan CH and Li M. 2020. Genomic and transcriptomic insights into methanogenesis potential of novel methanogens from mangrove sediment. Microbiome 8(1):94 – 102.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN
Journal of Environmental Sustainability Management

JPLB
Vol. 8 No. 1 (2024)
ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025
Tersedia di https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb

Penentuan ruang terbuka hijau (RTH) menggunakan *drone* dan analisis kesesuaian di Kecamatan Serang, Banten

Determination of green open space (RTH) using drones and suitability analysis in Serang District, Banten

Aditya Rahman[1], Rika Fitriani[1*], Usman[1]

[1]Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang , Indonesia

Abstrak.
Kecamatan Serang merupakan wilayah dengan proporsi penduduk terbesar, tetapi memiliki luas wilayah terkecil di Kota Serang. Pertumbuhan penduduk dalam pembangunan perkotaan yang tidak diiringi dengan pertambahan luas wilayah akan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan perkotaan. Oleh karena itu, di suatu kota perlu menyediakan Ruang Terbuka Hijau (RTH) sebagai penyeimbang lingkungan. Kualitas citra akan jauh lebih baik bila menggunakan teknologi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) atau *drone* untuk menampilkan visualisasi RTH. Dengan demikian, tujuan penelitian ini untuk mengetahui luasan RTH publik menggunakan *drone* dan menganalisis kesesuaiannya terhadap kebutuhan RTH berdasarkan luas wilayah dan jumlah penduduk di Kecamatan Serang, Banten. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif dan menggunakan metode survei. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kecamatan Serang memiliki luas ketersediaan RTH publik sebesar 108.348,81 m^2 (0,41% dari luas wilayah). Hasil perhitungan kebutuhan RTH publik yang harus terpenuhi berdasarkan luas wilayah ialah 5.176.000 m^2, di mana 20% dari total luas wilayah dan berdasarkan jumlah penduduk ialah 4.523.920 m^2. Kawasan perkotaan di Kecamatan Serang belum dapat memenuhi kebutuhan RTH dari segi luas wilayah dan jumlah penduduk.

Kata kunci: jumlah penduduk, RTH, luas wilayah, Kecamatan Serang, *drone*

Abstract.
Serang District is the area with the largest population proportion but has the smallest area in Serang City. Population growth that is not accompanied by an increase in area will decrease the quality of the urban environment. Therefore, a city needs to provide Green Open Space (RTH) to balance the environment. The image quality will be better if you use UAV (Unmanned Aerial Vehicle) or drone technology to display RTH visualization. Thus, this study aims to determine public green space area using drones and analyze its suitability for green space needs based on the area and population in Serang District, Banten. This research is quantitative research with a descriptive approach and used the survey method. The results showed that Serang District has a public green open space of 108,348.81 m^2 (0.41% of the area). Meanwhile the calculation results of the need for public green open space that must be met based on the area are 5,176,000 m^2, where 20% of total area and based on the population is 4,523,920 m^2. The urban areas in Serang District had not been able to meet the needs of green open space in terms of area and population.

Keywords: population, Green Open Space, area, Serang District, drones

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara berkembang yang sedang berusaha untuk melakukan pembangunan secara terencana dan bertahap. Proses pembangunan tersebut akan memicu terjadinya perubahan lahan. Menurut Ante *et al.* (2016) perubahan lahan dapat terjadi karena adanya kepentingan untuk memenuhi kebutuhan populasi yang berkembang dan tuntutan untuk kualitas lingkungan yang lebih baik. Jadi, perlu adanya tindakan berupa upaya untuk menjaga kelestarian agar terjaga kualitas lingkungan di suatu wilayah khususnya perkotaan.

[*] Korespondensi Penulis
Email : rikaafitriani335@gmail.com

Kota Serang merupakan ibukota dari Provinsi Banten yang menjadi salah satu poros pembangunan wilayah. Ibukota dari Kota Serang berada di wilayah Kecamatan Serang yang memiliki persentase penduduk terbesar dibandingkan dengan kecamatan lainnya yaitu 32,68% atau sebanyak 226.196 jiwa. Tetapi memiliki luasan wilayah terkecil yaitu sebesar 9,70 % atau 25,88 km^2 (BPS Kota Serang 2021). Pertumbuhan penduduk dan pembangunan perkotaan yang semakin meningkat, namun tidak diiringi dengan pertambahan luas wilayah akan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan perkotaan. Di suatu kota diperlukan keberadaan penyeimbang lingkungan. Salah satu caranya yaitu dengan adanya penyediaan ruang terbuka hijau.

Ruang Terbuka Hijau (RTH) adalah kawasan jalur yang lebih terbuka pemanfaatannya, sebagai tempat tumbuhnya tanaman secara alami maupun tanaman yang sengaja ditanam (PerMenPU Nomor 05/PRT/M Tahun 2008). Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) menurut Undang - Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang menyatakan bahwa perencanaan ruang kota harus mencakup rencana penyediaan dan pemanfaatan ruang terbuka hijau yang meliputi sekurang-kurangnya 30% dari luas wilayah perkotaan dengan proporsi ruang terbuka hijau publik sebesar 20% dan ruang terbuka hijau privat sebesar 10%.

Pada hasil penelitian sebelumnya oleh Pangesti dan Dwirani (2018) dengan judul "Analisis Kesesuaian Ruang Terbuka Hijau di Kota Serang" menunjukkan hasil pengukuran luasan RTH hanya menggunakan data sekunder dari instansi terkait dan dibandingkan dengan jumlah penduduk dan luasan area kecamatan tersebut. Salah satu pilihan yang tepat untuk penyajian data dengan hasil citra yang memiliki kualitas jauh lebih baik yaitu menggunakan teknologi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) atau *drone* yang memiliki kamera digital ringan, sehingga dapat menangkap gambar permukaan bumi dengan kualitas yang lebih baik. Strategi pemanfaatan ketersediaan lahan ruang terbuka hijau diperlukan pemikiran yang tidak hanya berorientasi pada pemenuhan tujuan berjangka pendek. Namun, orientasinya perlu lebih mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan untuk menunjang keberlanjutan pembangunan.

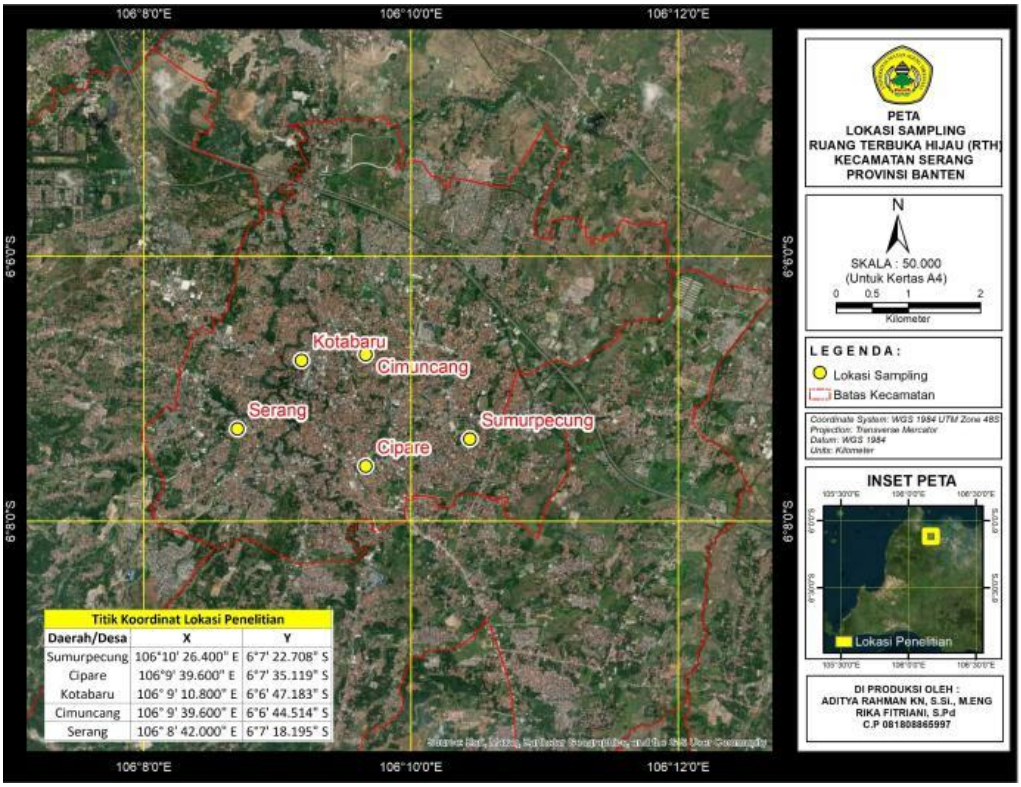
Menurut Purnaweni (2014) kegiatan pembangunan yang berlangsung harus mengacu pada kondisi alam dan pemanfaatannya secara berwawasan lingkungan agar tidak menimbulkan kerusakan lingkungan dengan adanya pengurangan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup. Maka dari itu, pertumbuhan pembangunan harus diselaraskan dengan pembangunan RTH agar tercipta manfaat lingkungan yang maksimal (Paraswatih *et al*. 2020). Penyediaan RTH di kawasan perkotaan harus sesuai dengan kebijakan Undang - Undang Nomor 26 Tahun 2007 Pasal 29 yang menyatakan bahwa proporsi ruang terbuka hijau pada wilayah kota paling sedikit 30% dari luas wilayah kota. Proporsi ruang terbuka hijau publik pada wilayah kota paling sedikit 20% dari luas wilayah kota. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui luasan RTH publik menggunakan *drone* dan kemudian menganalisis kesesuaiannya terhadap kebutuhan RTH berdasarkan luas wilayah dan jumlah penduduk di Kecamatan Serang, Banten.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Serang, Kota Serang, Provinsi Banten yang berlangsung dari bulan Februari hingga Agustus 2021. Objek penelitian ini bersumber dari Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman (DPRKP) Kota Serang, yaitu beberapa titik lokasi Ruang Terbuka Hijau Publik yang tersebar di Kecamatan Serangyang di antaranya Desa Kotabaru, Serang, Cipare, Cimuncang, dan Sumurpecung.

Alat yang digunakan yaitu *drone* tipe *DJI Phantom 4 Advanced, remote drone, ipad mini, memory card*, perangkat komputer, *software DJI Go, software Pix4D,* dan *software* pengolahan data citra dalam mengubah ukuran foto, penggabungan foto, dan pembuatan peta serta perhitungan luas. Bahan yang digunakan yaitu hasil foto udara/citra, data jumlah penduduk pada Panduan Kota Serang dalam Angka Tahun 2021, data titik lokasi RTH bersumber dari DPRKP Kota Serang, dan Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan dalam PerMenPU Nomor 05/PRT/M Tahun 2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

2.2. Prosedur analisis data

Cara kerja dari penelitian ini diawali dengan persiapan atau survei lokasi penelitian, kemudian dilanjut dengan perencanaan misi terbang, akuisisi data, unduh data, pengolahan citra hasil foto udara yang terdiri dari *resize* foto penggabungan foto, dan pembuatan peta serta perhitungan luas RTH, tahap terakhir yaitu dilakukannya analisis data lalu ditarik kesimpulan. Penelitian ini termasuk ke dalam jenis penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Metode yang digunakan yaitu metode survei yang dilakukan pengamatan secara langsung terhadap objek penelitian. Analisis ketersediaan RTH berdasarkan luas wilayah disampaikan pada **Persamaan 1** dan analisis ketersediaan RTH berdasarkan jumlah penduduk disampaikan pada **Persamaan 2**.

$$K = L \times 20/100 \quad (1)$$

Keterangan:
K : Ketersediaan RTH publik
L : Luas wilayah

$$RTH\ pi = Pi \times K \quad (2)$$

Keterangan:
K : Nilai luas ruang terbuka hijau yang disediakan per penduduk (20 m^2/penduduk)
Pi : Jumlah penduduk daerah tersebut

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

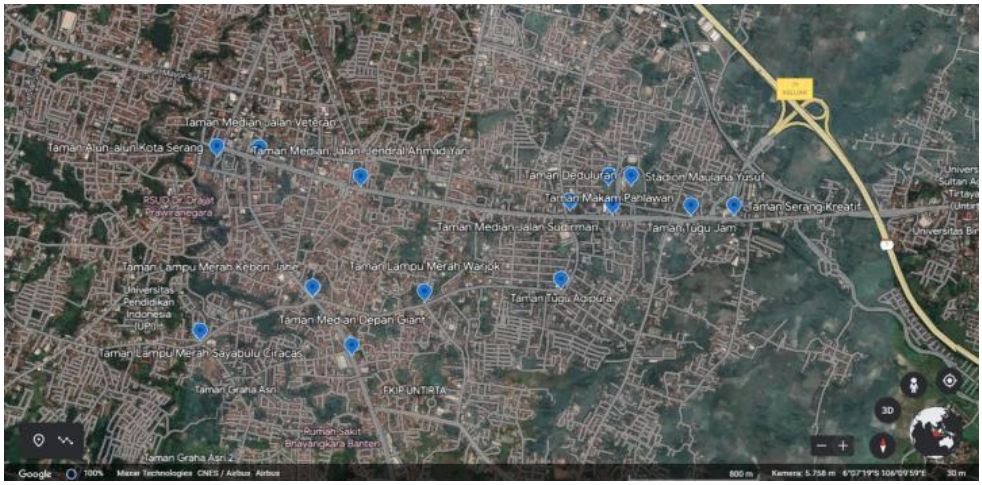
3.1. Gambaran umum penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah Kecamatan Serang yang bertujuan untuk mengetahui ketersediaan luasan lahan RTH publik menggunakan teknologi *drone*. Berikut beberapa titik lokasi pengambilan lahan RTH publik menggunakan *drone* di Kecamatan Serang (**Tabel 1**).

Tabel 1. Lokasi proses pengambilan foto udara RTH publik di Kecamatan Serang.

No	Ruang Terbuka Hijau (RTH) Publik	Daerah/desa
1	Taman Serang Kreatif	Sumurpecung
2	Taman Tugu Jam	
3	Taman Pertigaan Darma Jaya	
4	Taman Makam Pahlawan	
5	Taman Deduluran	
6	Taman Depan Darma Jaya	
7	Taman Median Jendral Sudirman	
8	Taman Stadion Maulana Yusuf	
9	Taman Tugu Adipura	
10	Taman Lampu Merah Kebon Jahe	Cipare
11	Taman Lampu Merah Warjok	
12	Taman Median Depan Giant	
13	Taman Median Ahmad Yani	
14	Taman Median Veteran	Kotabaru
15	Taman Alun-alun Barat	
16	Taman Alun-alun Timur	
17	Taman Patung Alun-alun	
18	Taman Sari	Cimuncang
19	Taman Lampu Merah Sayabulu Ciracas	Serang

Sumber: Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman (DPRKP) Kota Serang



Gambar 2. Sketsa titik lokasi penelitian.

Berdasarkan informasi yang telah didapatkan dari Pihak Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman (DPRKP) Kota Serang menyatakan bahwa terdapat 3 titik lokasi RTH yang sudah tidak terlihat lagi ketersediaan tamannya, diantaranya Taman Sari, Taman Depan Darma Jaya, dan Taman Pertigaan Darma Jaya. Hal ini dikarenakan adanya alih fungsi lahan yang berubah menjadi fasilitas umum masyarakat yaitu sebagai pelebaran jalan. Maka dari itu, wilayah yang dilakukan pengambilan foto udara hanya sebanyak 16 titik lokasi RTH publik di Kecamatan Serang.

3.2. Akuisisi data

Proses akuisisi data merupakan proses memperoleh data sampel dari objek yang akan diteliti dan mengubah data menjadi nilai numerik yang dapat dimanipulasi oleh komputer. Proses akuisisi data ini diawali dengan penerbangan *drone* yang terdiri dari *take off*, *autonomous flight monitoring*, dan *landing* (Sjaf *et al.* 2016). Namun, terdapat hal yang harus dilakukan sebelum proses pengambilan data yaitu perencanaan misi terbang menggunakan *software Pix4D Mapper* dengan jenis misi *Grid Mission* yang akan menghasilkan pemetaan dua dimensi.

Setiap titik lokasi RTH publik di Kecamatan Serang hanya dibuat dengan satu misi terbang saja, kecuali pada Taman Median Ahmad Yani yang dibuat enam misi dan Taman Median Jendral Sudirman yang dibuat tiga misi penerbangan. Hal ini dikarenakan kedua taman tersebut terlalu panjang dan terletak di tengah kota yang sangat rentan dengan hilangnya sinyal, sehingga pengambilan gambar tidak dapat dilakukan sekaligus dalam satu kali misi penerbangan. Pembuatan misi terbang lebih baik dilakukan di tempat yang memiliki kondisi sinyal yang sangat baik. Hal ini dilakukan agar dapat mengefektivitaskan waktu pada saat penerbangan *drone* di lokasi (Syauqani *et al*. 2017).

Proses akuisisi data pada penelitian ini dilakukan dengan meng-*input* beberapa parameter yaitu *overlap*, *altitude*, dan area (Pardo *et al.* 2020). Beberapa pengaturan parameter pada proses pengambilan foto udara di setiap lokasi penelitian disampaikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Pengaturan parameter *overlap* dan *altitude* pada proses pengambilan foto udara di setiap lokasi penelitian.

No	Ruang Terbuka Hijau (RTH) Publik	*Overlap*	*Altitude*	GSD
1	Taman Serang Kreatif	80%	100 m	8,13 cm/*pix*
2	Taman Tugu Jam	80%	100 m	8,16 cm/*pix*
3	Taman Stadion Maulana Yusuf	80%	100 m	8,02 cm/*pix*
4	Taman Makam Pahlawan	80%	100 m	8,18 cm/*pix*
5	Taman Lampu Merah Warjok	80%	100 m	8,38 cm/*pix*
6	Taman Lampu Merah Kebon Jahe	80%	100 m	8,18 cm/*pix*
7	Taman Median Depan Giant	80%	100 m	8,08 cm/*pix*
8	Taman Lampu Merah Sayabulu Ciracas	80%	100 m	8,19 cm/*pix*
9	Taman Median Jalan Veteran	80%	100 m	7,88 cm/*pix*
10	Taman Median Jalan Ahmad Yani	80%	100 m	8,04 cm/*pix*
11	Taman Median Jalan Sudirman	80%	100 m	8,12 cm/*pix*
12	Taman Alun-alun Barat	80%	150 m	7,42 cm/*pix*
13	Taman Alun-alun Timur	80%	150 m	7,42 cm/*pix*
14	Taman Patung Alun-alun	80%	150 m	7,42 cm/*pix*
15	Taman Tugu Adipura	75%	150 m	8,27 cm/*pix*
16	Taman Deduluran	75%	150 m	8,16 cm/*pix*

Sumber: Analisis Data 2021

Pengaturan beberapa parameter ini dapat mempengaruhi jumlah foto udara yang ditangkap. Semakin tinggi nilai persentase dari *overlap*, maka jalur terbang dalam area akan semakin banyak dan rapat. Semakin rendah nilai *altitude*, maka semakin banyak foto yang dihasilkan dan waktu terbang yang dibutuhkan akan semakin banyak (Pardo *et al.* 2020). Jadi, jika nilai *altitude* tinggi maka persentase *overlap* yang di-*input* harus rendah. Hal ini dikarenakan jarang terjadinya interferensi. Begitu pun sebaliknya, jika nilai *altitude* rendah maka persentase *overlap* harus tinggi. Hal ini dilakukan agar foto yang dihasilkan rapat-rapat sehingga tidak ada foto yang berlubang pada saat proses penggabungan karena rentan interferensi. Saat proses pengambilan foto sudah selesai, maka akan keluar hasil GSD (*Ground Sampling Distance*) yang merupakan ukuran *pixel* dari hasil foto udara.

Selanjutnya proses pengolahan data penelitian dilakukan untuk menggabungkan dari beberapa hasil foto udara yang saling bertampalan / overlap, sehingga dapat membentuk perpaduan gambar yang berkesinambungan untuk menampilkan suatu luasan wilayah seperti suatu foto tunggal yang sangat besar. Proses pengolahan foto udara diawali dengan mengubah ukuran *file*, dilanjut dengan proses penggabungan foto dan pemetaan.

Tahap terakhir yaitu pembuatan *layout* pemetaan yang berarti menyusun penempatan yang berisi keterangan peta, di mana harus memperhatikan komponen geografi. Sehingga informasi yang disajikan dapat secara tepat dan akurat (Martanto dan Suhatanto 2019).

3.3. Hasil penentuan luasan RTH publik menggunakan *drone*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Ruang Terbuka Hijau (RTH) publik pada wilayah Kecamatan Serang memiliki luasan yang beragam, sehingga dapat termasuk ke dalam beberapa jenis RTH di antaranya yaitu RTH taman kota, pulau jalan, median jalan, dan taman pemakaman. Hasil luasan RTH publik di Kecamatan Serang menggunakan *drone* disampaikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil luasan Ruang Terbuka Hijau (RTH) publik di Kecamatan Serang menggunakan *drone*.

No.	Ruang Terbuka Hijau (RTH) Publik	Luas (m^2)	Jenis RTH
1	Taman Alun-alun Barat	12.299,91	RTH Taman Kota
2	Taman Alun-alun Timur	19.278,06	
3	Taman Patung Alun-alun	462,44	
4	Taman Deduluran	1.790,95	
5	Taman Tugu Jam	760,54	
6	Taman Stadion Maulana Yusuf	59.459,29	
7	Taman Serang Kreatif	406,87	RTH Jalur Hijau (Pulau Jalan)
8	Taman Tugu Adipura	550,05	
9	Taman Lampu Merah Warjok	122,83	
10	Taman Lampu Merah Kebon Jahe	41,26	
11	Taman Lampu Merah Sayabulu Ciracas	73,19	
12	Taman Median Jalan Veteran	630,08	RTH Jalur Hijau (Median Jalan)
13	Taman Median Jalan Ahmad Yani	2.060,86	
14	Taman Median Jalan Sudirman	1.026,8	
15	Taman Median Depan Giant	472,92	
16	Taman Makam Pahlawan	8.912,76	RTH dengan fungsi tertentu (RTH Pemakaman)
	Total	**108.348,81**	

Sumber: Analisis Data 2021

Beberapa hasil *layout* peta Ruang Terbuka Hijau (RTH) publik dari beberapa data di atas ditampilkan pada **Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5** dan **Gambar 6.**

Gambar 3. *Layout* Peta; (a) Taman Alun-alun Kota Serang; (b) Taman Deduluran; (c) Taman Tugu Jam; dan (d) Taman Stadion Maulana Yusuf.

 DOI:https://doi.org/10.36813/jplb.8.1.53-70

Gambar 4. *Layout* Peta; (a) Taman Serang Kreatif; (b) Taman Tugu Adipura; (c)Taman Lampu Merah Warjok; (d) Taman Lampu Merah Kebon Jahe.

 DOI:https://doi.org/10.36813/jplb.8.1.53-70

Gambar 5. *Layout* Peta; (a) Taman Lampu Merah Sayabulu Ciracas; (b) Taman Medan Jalan Veteran; (c) Taman median Ahmad Yani; (d) Taman Median Jalan Sudirman.

 DOI:https://doi.org/10.36813/jplb.8.1.53-70

Gambar 6. *Layout* Peta; (a) Taman Median depan Giant dan (b) Taman Makam Pahlawan.

 DOI:https://doi.org/10.36813/jplb.8.1.53-70

Menurut PerMenPU Nomor 05/PRT/M Tahun 2008 menyatakan bahwa terdapat arahan penyediaan RTH sesuai dengan ketentuan jenis RTH. Pada RTH taman kota mempunyai ketentuan luas minimal sebesar 144.000 m^2 yang ditujukan untuk melayani penduduk satu kota atau bagian wilayah. Namun, ketersediaan luas RTH pada beberapa taman kota yang berada di Kecamatan Serang tidak memenuhi luas minimal berdasarkan arahan penyediaan RTH tersebut. Hal ini dikarenakan kapasitas luas wilayah Kecamatan Serang tidak memadai. Tercapainya luas minimal RTH hanya menjadi salah satu aspek lingkup pengendalian RTH dalam kawasan perkotaan. Menurut PerMenDagri Nomor 1 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang Terbuka Hijau Kawasan Perkotaan menyatakan bahwa lingkup pengendalian RTH tidak hanya mencapai target luas minimal, melainkan dapat dilihat dari segi fungsi, manfaat, lokasi, serta kesesuaian spesifikasi konstruksi dengan desain teknis.

Selain itu, untuk jenis RTH jalur hijau jalan seperti pulau jalan dan median jalan tidak memiliki luas minimal berdasarkan arahan penyediaan. Menurut PerMenPU Nomor 05/PRT/M Tahun 2008 menyatakan bahwa luasan RTH jalur hijau jalan disesuaikan dengan kebutuhan geometrik jalan dengan tujuan utama untuk memudahkan pengguna jalan, dan mengupayakan terciptanya jalan yang indah, nyaman, dan aman. Begitu pun dengan jenis RTH dengan fungsi tertentu seperti taman pemakaman yang luasannya harus disesuaikan dengan kebutuhan.

Berdasarkan hasil perhitungan data di atas dari beberapa taman yang termasuk ke dalam RTH publik di Kecamatan Serang diketahui memiliki total luas RTH publik sebesar 108.348,81 m^2 dengan luas wilayah Kecamatan Serang sebesar 25.880.000 m^2. Adapun perhitungan kontribusi RTH publik Kecamatan Serang dengan **Persamaan 3** sebagai berikut:

$$\text{Kontribusi RTH (\%)} = \frac{\text{Total luas RTH publik x 100}}{\text{Luas wilayah}}$$

$$= \frac{108.348{,}81 \times 100}{25.880.000}$$

$$= 0{,}41\% \quad (3)$$

Hasil perhitungan pada **Persamaan 3** tersebut menunjukkan bahwa Kecamatan Serang memiliki RTH publik sebesar 0,41% dari luas wilayah. Hal ini pun masih sangat kurang untuk memenuhi kebutuhan RTH publik di Kecamatan Serang. Oleh karena itu, untuk mengetahui kebutuhan RTH di perkotaan dapat menggunakan berbagai metode di antaranya yaitu berdasarkan luas wilayah dan jumlah penduduk (Prakoso dan Herdiansyah 2019).

3.4. Analisis kebutuhan RTH berdasarkan luas wilayah dan jumlah penduduk di Kecamatan Serang

Kecamatan Serang memiliki luasan terkecil dibandingkan dengan Kecamatan lainnya yaitu sebesar 9,70 % atau 25.880.000 m^2 (BPS Kota Serang 2021). Menurut peraturan Undang - Undang Nomor 26 Tahun 2007 yang menyebutkan bahwa penentuan luasan Ruang Terbuka Hijau (RTH) publik adalah minimum 20% dari total luas wilayah. Berikut tabel hasil perhitungan kebutuhan RTH publik di Kecamatan Serang berdasarkan luas wilayah pada tahun 2021, yaitu:

Tabel 4. Hasil perhitungan kebutuhan RTH publik di Kecamatan Serang berdasarkan luasan wilayah tahun 2021.

No	Kecamatan	Luas Wilayah (m^2)	Ketentuan Ketersediaan RTH Publik	Kebutuhan RTH Publik Berdasarkan Luas Wilayah (m^2)
1	Serang	25.880.000	20%	5.176.000

Sumber: Analisis Data 2021

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan RTH publik berdasarkan luas wilayah pada tahun 2021 di Kecamatan Serang ialah sebesar 5.176.000 m^2. Sedangkan hasil pengambilan data secara aktual diperoleh luasan RTH publik secara keseluruhan sebesar 108.348,81 m^2. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa ketersediaan RTH publik pada kawasan perkotaan di Kecamatan Serang belum memenuhi kuota minimal RTH publik yaitu 20% dari luas wilayah, sedangkan ketersediaan RTH publik di Kecamatan Serang hanya 0,41% dari luas wilayah. Hal ini dikarenakan Kecamatan Serang merupakan ibukota dari Kota Serang yang menjadi salah satu poros pembangunan wilayah.

Berdasarkan PerDa Kota Serang Nomor 6 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Serang Tahun 2010-2030 menyatakan bahwa wilayah Kecamatan Serang menjadi pusat pengembangan kawasan perdagangan dan jasa yang dapat menyebabkan terjadinya pembangunan, sehingga menjadikan luasan RTH akan semakin berkurang, lantaran sebagian dikalahkan dengan kebutuhan fasilitas sosial.

Adapun hasil perhitungan persentase kontribusi setiap desa/kelurahan di Kecamatan Serang dari data RTH yang ada berdasarkan luas wilayah tersebut disampaikan pada **Tabel 5.**

Tabel 5. Hasil perhitungan persentase kontribusi RTH dari luas wilayah desa/kelurahan.

No	Desa/Kelurahan	Luas Wilayah (m^2)	Eksistensi RTH Publik (m^2)	Persentase Kontribusi RTH dari luas wilayah
1	Sumurpecung	3.260.000	72.907,26	2,2%
2	Cipare	1.270.000	2.697,87	0,2%
3	Kotabaru	640.000	32.670,49	5,1%
4	Serang	4.900.000	73,19	0,001%

Sumber: Analisis Data 2021

Berdasarkan skala lingkungan permukiman, sesuai dengan Permen PU tersedianya ruang terbuka hijau dalam secara berjenjang sesuai dengan tingkat kewilayahannya. Luasan secara umum diatur dalam Undang - Undang Nomor 26 Tahun 2007 yang menyebutkan bahwa penentuan luasan Ruang Terbuka Hijau (RTH) publik adalah minimum 20% dari total luas wilayah.

Ketersediaan RTH publik di Kelurahan Sumurpecung, Kelurahan Cipare, Kelurahan Kotabaru, dan Kelurahan Serang menunjukkan hasil kurang dari 20% berdasarkan total luas wilayah tersebut. Sehingga dilihat dari sisi kebutuhan luas area terbuka hijau yang tersedia belum memenuhi syarat yang telah ditetapkan oleh Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan, seperti sering terjadinya banjir, tingginya polusi udara, dan menurunnya produktivitas masyarakat karna terbatasnya ruang yang tersedia untuk interaksi (Imansari dan Khadiyanta, 2015).

Persentase penduduk di Kecamatan Serang terbesar dibandingkan dengan Kecamatan lainnya yaitu sebesar 32,68% atau sebanyak 226.196 jiwa (BPS Kota Serang 2021). Menurut PerMenPU Nomor 05/PRT/M Tahun 2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan menyatakan bahwa kebutuhan RTH kota sebesar 20 m^2/penduduk.

Berikut **Tabel 6** hasil perhitungan kebutuhan RTH publik di Kecamatan Serang berdasarkan jumlah penduduk pada tahun 2021.

Tabel 6. Hasil perhitungan kebutuhan RTH publik di Kecamatan Serang berdasarkan jumlah penduduk tahun 2021.

No	Kecamatan	Luas minimal/kapita (m^2)	Jumlah penduduk (jiwa)	Kebutuhan RTH Publik berdasarkan jumlah penduduk (m^2)
1	Serang	20	226.196	4.523.920

Sumber: Analisis Data 2021

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah penduduk Kecamatan Serang pada tahun 2021 memiliki kebutuhan ruang terbuka hijau publik sebesar 4.523.920 m^2 dengan total penduduk 226.196 jiwa. Berdasarkan hasil tersebut berarti Kecamatan Serang tidak memenuhi kebutuhan RTH berdasarkan jumlah penduduk yang bermukim pada tahun 2021. Hal ini dikarenakan Kecamatan Serang mempunyai persentase penduduk terbesar dibandingkan dengan kecamatan lainnya. Menurut (Wamaer *et al.* 2016) peningkatan jumlah penduduk akan mendorong adanya kebutuhan lahan dengan berbagai fungsi seperti perumahan, perdagangan, industri dan jasa.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dapat ditarik kesimpulan bahwa pada tahun 2021 Kecamatan Serang memiliki luasan Ruang Terbuka Hijau (RTH) publik sebesar 108.348,81 m^2, hanya 0,41% dari luas wilayah Kecamatan Serang. Hasil perhitungan ketersediaan luasan RTH publik yang harus terpenuhi di Kecamatan Serang berdasarkan luas wilayah ialah sebesar 5.176.000 m^2. Hasil perhitungan ketersediaan luasan RTH yang harus terpenuhi berdasarkan jumlah penduduk pada Kecamatan Serang ialah sebesar 4.523.920 m^2. Hal ini berarti Kecamatan Serang belum dapat memenuhi kebutuhan RTH berdasarkan luas wilayah maupun jumlah penduduk yang bermukim pada tahun 2021. Maka dari itu, penambahan luasan lahan RTH publik di Kecamatan Serang masih sangat diperlukan di berbagai kelurahan yang memang sama sekali tidak ada ketersediaan lahan RTH, di antaranya yaitu Kelurahan Unyur, Terondol, Sukawana, Lopang, Keagungan, Cimuncang, Kaigandu dan Lontarbaru.

Namun, Kelurahan Cipare, Serang, Kotabaru, dan Sumurpecung yang sudah terdapat lahan RTH publik pun masih belum memenuhi aturan yang ada di mana penyediaan RTH publik di kawasan perkotaan minimal 20% dari luas wilayah. Realisasi perubahan dalam perencanaan pembangunan kebutuhan RTH di suatu kota yang disesuaikan dengan PerMenPU Nomor 5/PRT/M Tahun 2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan diharapkan dapat dilakukan.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada pihak DPRKP Kota Serang yang telah memberi data informasi dan arahan terkait lokasi RTH yang berada di Kota Serang dan semua pihak yang telah membantu penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

Ante E, Benu NM dan Moniaga VR. 2016. Dampak ekonomi dan sosial alih fungsi lahan pertanian hortikultura menjadi Kawasan Wisata Bukit Rurukan di Kecamatan Tomohon Timur, Kota Tomohon. Angewandte Chemie International Edition 12(3): 113–124.

[BPS] Badan Pusat Statistik Kota Serang. 2021. Kota Serang dalam Angka. BPS Kota Serang. Kota Serang.

Imansari N dan Khadiyanta P. 2015. Penyediaan hutan kota dan taman kota sebagai Ruang Terbuka Hijau (RTH) publik menurut preferensi masyarakat di Kawasan Pusat Kota Tangerang. Ruang 1(3):101–110.

Martanto R dan Suhatanto MA. 2019. Kartografi dan visualisasi data pertanahan. Sekolah Tinggi Pertahanan Nasional. Yogyakarta.

Pangesti FSP dan Dwirani F. 2018. Analisis kesesuaian ruang terbuka hijau di Kota Serang. Serambi Engineering 3(1): 330–343.

Paraswatih, Nursyam AS dan Surur F. 2020. Ketersediaan ruang terbuka hijau di Kelurahan Lembo Kota Makassar. Jurnal Ilmiah Arsitektur dan Lingkungan Binaan 18(2):215-226.

Pardo CN, Sabri LM dan Awaluddin M. 2020. Analisis akurasi model 3 dimensi bangunan dari foto secara tegak dan miring. Jurnal Geodesi Undip 9(1):354–363.

PerDa (Peraturan Daerah) Kota Serang Nomor 6 Tahun 2011 tentang rencana tata ruang wilayah Kota Serang tahun 2010-2030.

PerMenPU (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum) Nomor 05/PRT/M Tahun 2008 tentang pedoman penyediaan dan pemanfaatan ruang terbuka hijau di kawasan perkotaan.

PerMenDagri (Peraturan Menteri Dalam Negeri) Nomor 1 Tahun 2007 tentang penataan ruang terbuka hijau kawasan perkotaan.

Prakoso P dan Herdiansyah H. 2019. Analisis implementasi 30% ruang terbuka hijau di DKI Jakarta. Majalah Ilmiah Globe 21(1):17–26.

Purnaweni H. 2014. Kebijakan pengelolaan lingkungan di Kawasan Kendeng. Jurnal Ilmu Lingkungan 12(1):53–65.

Sjaf S, Fahimuddin MM, Elson L, Hakim L, Gandi R, Barlan ZA, Anggun R, Perdana RA dan Utami RB. 2016. Modul pelatihan pemetaan berbasis drone desa. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Syauqani A, Subiyanto S dan Suprayogi A. 2017. Pengaruh variasi tinggi terbang menggunakan wahana *Unmanned Aerial Vechile* (UAV) *Quadcopter DJI Phantom 3 Pro* pada pembuatan peta orthofoto (studi kasus: Kampus Universitas Diponegoro). Jurnal Geodesi Undip *6*(1):249–257.

Undang-Undang Nomor 26 Tahun (2007) tentang Penataan Ruang.

Wamaer PY, Mofu WY dan Peday HFZ. 2016. Ketersediaan dan kebutuhan ruang terbuka hijau pada kawasan perkotaan Kabupaten Biak Numfor. Jurnal Kehutanan Papuasia 2(12):25–31.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN
Journal of Environmental Sustainability Management

JPLB
Vol. 8 No. 1 (2024)
ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025
Tersedia di https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb

Pengaruh limbah cair industri kerupuk kulit terhadap kualitas air Sungai Pesing, Kelurahan Segoroyoso, Bantul

The effect of skin cracker industry liquid waste on Pesing River water quality, Segoroyoso Village, Bantul

Miftahul Farhana Az-Zahro[1], Herwin Lukito[1], Titi Tiara Anasstasia[1*]

[1]Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

Abstrak.
Kegiatan industri kerupuk kulit di Kelurahan Segoroyoso menghasilkan air limbah cair dengan TSS, BOD, COD, amoniak, dan minyak dan lemak berkadar tinggi. Belum ada pengolahan limbah cair pada kegiatan tersebut. Limbah cair dibuang ke Sungai Pesing dan berpotensi menyebabkan penurunan kualitas air. Penelitian memiliki tujuan menganalisis kualitas limbah cair, status kualitas air sungai dan evaluasi standar stream. Metode indeks pencemaran diterapkan. Pengambilan contoh air dilaksanakan pada bulan Oktober 2022 secara *purposive sampling* pada *outlet* industri, sungai sebelum dan setelah *outlet*, serta saluran irigasi. Hasil penelitian menunjukkan pH satu-satunya yang masih sesuai dengan baku mutu air limbah. Muta air sungai menunjukkan BOD, COD, amoniak, serta minyak dan lemak pada beberapa titik belum memenuhi standar mutu. Kualitas air sungai memenuhi baku mutu pada lokasi sebelum *outlet* dengan nilai IP 0,47, serta tercemar ringan pada titik setelah *outlet* dan saluran irigasi dengan nilai IP 4,32 dan 3,49. Hasil evaluasi standar *stream* menunjukkan COD, BOD, dan amoniak tidak memenuhi baku mutu air sungai dengan nilai 37,61 mg/L; 7,13 mg/L; dan 0,52 mg/L.

Kata kunci: status mutu, air sungai, limbah cair, Sungai Pesing

Abstract.
The skin crackers industry in Segoroyoso village produces liquid waste with high levels of BOD, COD, TSS, ammonia, oil and grease. There is no liquid waste processing yet. Liquid waste is dumped into the Pesing River and has the potential to cause water quality degradation. This research aims to analyze the quality of the industrial liquid waste, the river water quality status, and evaluate stream standards. The pollution index method is applied. Sampling was conducted in October 2022 through purposive sampling at the industrial outlet, river before and after the outlet, and irrigation channels. The research results that only the pH parameter meets the water quality standards in the luquid waste. River water quality shows that BOD, COD, ammonia, oil and grease at several points do not meet quality standards. The river water quality status categorized as meeting standards at point before the outlet with an IP value of 0.47 and slightly polluted at the point after the outlet and irrigation channel with IP values of 4.32 and 3.49. The evaluation of stream standards reveals that COD, BOD, and ammonia do not meet river water quality standards with a value of 37.61 mg/L; 7.13 mg/L; and 0.52 mg/L.

Keywords: quality status, river water, liquid waste, Pesing River

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai merupakan alur atau wadah air alami atau buatan yang berupa jaringan pengaliran air beserta air di dalamnya, mulai hulu hingga muara dengan batas garis sempadan disisi kanan dan kiri. Kualitas air merupakan sifat dan kandungan makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain dalam air yang dinyatakan dengan parameter fisika, kimia, dan biologi. Tingginya level pencemaran air mengakibatkan penurunan kualitas air sehingga tidak bisa lagi dimanfaatkan sebagai sumber air minum (Hamidi *et al.* 2017).

* Korespondensi Penulis
Email : tiara.anasstasia@upnyk.ac.id

Degradasi kualitas air sungai diakibatkan oleh keberadaan sumbangan air limbah yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya, seperti kegiatan domestik, industri dan pertanian (Mahyudin *et al.* 2015). Menurunnya kualitas air sungai dicirikan dengan memburuknya sejumlah parameter kualitas air yang mengalir pada aliran sungai (Hartono *et al.* 2009). Perbedaan musim dapat menyebabkan perbedaan potensi penyebaran limbah cair, pada musim penghujan terjadi peningkatan debit sungai sehingga dapat mengakibatkan pencemaran air sungai semakin menyebar luas (Novianti *et al.* 2021).

Kegiatan Industri kerupuk kulit di Kalurahan Segoroyoso merupakan industri berskala kecil. Proses produksinya masih sangat sederhana serta belum memiliki pengolahan limbah. Kegiatan industri kerupuk kulit terbilang cukup tinggi, konsekuensinya air limbah yang berasal dari aktivitas produksi juga semakin banyak dan berpotensi memicu penurunan kualitas air Sungai Pesing. Berdasarkan beberapa isu lingkungan yang terjadi pada industri yang sama menunjukkan adanya pencemaran akibat proses produksi (Hastutiningrum *et al.* 2021) menyampaikan bahwa air dari proses pencucian dan perendaman, dibuang ke saluran air, mengakibatkan aroma tidak baik, dan menyebabkan tanaman padi menjadi menguning ataupun mati apabila air limbah masuk ke area sawah. Pembuangan limbah cair ini menyebabkan adanya perubahan sifat fisika, kimia, dan biologi perairan, seperti adanya timbunan lemak serta warna sungai menjadi hitam dan berbuih (Irfannur dan Khairan 2011).

Air limbah dari industri kerupuk umumnya masih mengandung *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), pH, minyak dan lemak, serta amoniak (NH_3) masih belum memenuhi standar baku mutu sehingga dapat berpotensi untuk mencemari badan air (Karimah dan Rhomadhoni 2021). Tingginya BOD dan COD dalam perairan berpotensi menurunkan kadar oksigen sehingga perairan dalam kondisi anaerob yang dapat menimbulkan kematian biota air dan bau busuk. Selain itu, tingginya nilai amoniak dalam perairan juga dapat menimbulkan bau busuk pada perairan (Ariska *et al.* 2017). Cahyani (2016) menyatakan bahwa minyak dan lemak serta TSS tinggi di perairan bisa mengganggu biota akuatik karena dapat menghalangi penetrasi sinar matahari ke kolom air dan meningkatkan kekeruhan air.

Analisa tingkat pencemaran pada lokasi pengamatan dilaksanakan dengan metode indeks pencemaran (IP). Metode ini mengacu pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Status mutu air merupakan tingkatan kondisi mutu air yang menyatakan kondisi dari badan air, apakah dalam kondisi baik atau tercemar yang dibandingkan berdasarkan baku mutu air. Indeks pencemaran mengkaji *level* pencemaran yang dapat mempengaruhi peruntukan suatu sungai. Pengelolaan kualitas air berdasarkan indeks pencemaran (IP) bisa digunakan untuk pemberian saran kepada pemerintah dalam penilaian kualitas air dikaitkan dengan peruntukan, serta tindakan perbaikan kualitas air tatkala terjadi degradasi kualitas karena adanya bahan pencemar di dalam badan air. Evaluasi standar *stream* diperlukan untuk mengetahui karakteristik campuran dari limbah cair dengan air sungai sebelum adanya pengolahan. Perhitungan beban pencemar berupa limbah cair pada sungai digunakan guna mengetahui perbandingan konsentrasi beban pencemar yang memasuki sungai dengan standar baku mutu (Utami *et al.* 2019).

Tujuan penelitian ini menganalisis tingkat pencemaran air dengan metode indeks pencemaran (IP) dan evaluasi standar *stream* pada Sungai Pesing. Hasil penelitian juga dimaksudkan dapat menyediakan informasi bagi masyarakat dan pemerintah sekitar, tentang kualitas air limbah dan air sungai, tingkat pencemaran Sungai Pesing, dan evaluasi standar *stream* di lokasi penelitian sehingga dapat dijadikan sebagai acuan untuk pengolahan limbah.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Lokasi penelitian secara administrasi berada di Kelurahan Segoroyoso, Kapanewon Pleret, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi daerah penelitian berada di koordinat X = 435.447 mT – 435.833 mT dan koordinat Y = 9.128.295 mU – 9.128.872 mU. Penelitian dan pengambilan sampel dilakukan pada bulan Oktober 2022 yang termasuk ke dalam bulan transisi antara musim kemarau ke musim hujan.

2.2. Pengumpulan data

Data primer kualitas air limbah dan air sungai didapatkan secara langsung di lapangan. Data kualitas air diperoleh dari pengujian contoh air di Laboratorium Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit serta Balai Laboratorium Lingkungan DLHK. Baku mutu yang dimanfaatkan dalam pengujian kualitas air limbah mengacu pada PerDa Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah, sedangkan untuk kualitas air sungai mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Parameter dan metode uji disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter dan metode uji**.**

Parameter	Satuan	Metode uji
COD	mg/L	SNI 6989.2-2019
BOD	mg/L	SNI 6989.72-2009
TSS	mg/L	*In House Method*
pH	-	SNI 06-6989.11-2019
Amoniak	mg/L	SNI 06-6989.30-2005
Minyak dan lemak	mg/L	SNI 6989.10-2011

2.3. Pengambilan data

Teknik sampling yang digunakan berupa *purposive sampling* agar didapatkan hasil yang representatif. Pengambilan contoh secara *purposive sampling* ini berpatokan pada heterogenitas populasi, jumlah industri kerupuk kulit, dan pertimbangan pengaruh limbah kerupuk kulit terhadap kualitas air sungai di lokasi penelitian. Penentuan sampling dilakukan pada 3 titik, yaitu pada *outlet* limbah cair atau saluran irigasi, sungai sebelum *outlet*, dan sungai sesudah *outlet*. Sedangkan, Sampel air limbah diambil pada salah satu industri kerupuk kulit.

2.4. Analisis data

2.4.1. Perhitungan status mutu air sungai

Metode indeks pencemaran (IP) dapat dijadikan acuan guna memberikan masukan kepada masyarakat, pemerintah, dan industri terkait sebagai dasar untuk melakukan pengolahan limbah apabila hasil yang didapatkan buruk. Perhitungan nilai indeks pencemaran sesuai pada **Persamaan 1**.

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

Keterangan :

L_{ij}= Baku mutu parameter kualitas air berdasarkan peruntukan air

C_i= Konsentrasi parameter kualitas air

PI_j = Indeks pencemaran

$(C_{ij}/L_{ij})_M$ = nilai C_{ij}/L_{ij} maksimum

$(C_{ij}/L_{ij})_R$ = nilai C_{ij}/L_{ij} rata-rata

Setelah menentukan nilai PI_j, selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap nilai PI sesuai dengan klasifikasi mutu air. Terdapat empat klasifikasi kualitas air dalam indeks pencemaran pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air (**Tabel 2**).

Tabel 2. Klasifikasi mutu air pada indeks pencemaran.

Nilai PI_j	**Keterangan**
$0 \leq PI_j \leq 1{,}0$	Memenuhi baku mutu (kondisi baik)
$1{,}0 < PI_j \leq 5{,}0$	Tercemar ringan
$5{,}0 < PI_j \leq 10$	Tercemar sedang
$PI_j \geq 10$	Tercemar berat

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003

2.4.2. Evaluasi standar *stream*

Evaluasi standar *stream* diperlukan untuk mengetahui karakteristik campuran dari limbah cair dengan air sungai sebelum adanya pengolahan. Perhitungan beban pencemar berupa limbah cair pada sungai ini digunakan guna mengetahui perbandingan konsentrasi beban pencemar yang masuk ke sungai dengan baku mutu. Perhitungan ini dapat digunakan untuk mengetahui konsentrasi campuran air limbah yang akan digunakan untuk evaluasi standar *stream* pada suatu badan air. Evaluasi ini diperlukan untuk menentukan unit pengolahan yang akan digunakan dalam perencanaan pengolahan air limbah. Berdasarkan evaluasi ini, akan diketahui nilai konsentrasi campuran dari tiap-tiap parameter air limbah yang memasuki sungai tanpa pengolahan (Utami *et al.* 2019). Nilai konsentrasi campuran dapat diketahui dari **Persamaan 2**.

$$Cc = \frac{(Qs.Cs)+(Qe.Ce)}{(Qs+Qe)} \quad \text{.....(2)}$$

Keterangan:

Cc = Konsentrasi campuran (mg/L)

Qs = Debit sungai (L/s)

Qe = Debit *effluent* (L/s)

Cs = Konsentrasi sungai (mg/L)

Ce = Konsentrasi *effluent* (mg/L)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kualitas limbah cair kerupuk kulit

Berdasarkan hasil pengamatan secara langsung pada sampel air limbah, secara fisik air limbah berwarna putih, keruh, dan memiliki bau busuk yang cukup menyengat. Menurut Shi *et al.* (2024), bahkan sejumlah kecil kontaminan yang masuk dalam perairan dapat memicu biokonsentrasi dan menyebabkan efek toksikologi sehingga dapat menyebabkan ancaman serius. Hasil pengujian kualitas limbah cair diperbandingkan dengan baku mutu sesuai dengan Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah. Kandungan sampel limbah cair industri kerupuk kulit disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kualitas limbah cair kerupuk kulit.

Parameter	Satuan	Baku mutu	Hasil uji
COD	mg/L	110	2.309,5
BOD	mg/L	50	548,0
TSS	mg/L	50	62
pH	-	6,0-9,0	7,2
Amoniak	mg/L	0,5	3,8940
Minyak dan lemak	mg/L	5,0	13,4*

Berdasarkan hasil pengujian sampel air limbah, diketahui bahwa semua parameter telah melampaui baku mutu kecuali untuk parameter pH. Hal ini memperlihatkan diperlukan adanya perlakuan sebelum air limbah dibuang ke sungai. Jika limbah cair yang melebihi baku mutu dibuang secara langsung ke sungai maka akan berpotensi menyebabkan pencemaran sebagaimana yang disebutkan oleh Karimah dan Rhomadhoni (2021) bahwa limbah cair industri yang melebihi baku mutu dan mengandung senyawa pencemar dapat menyebabkan kerusakan lingkungan atau berpotensi besar mencemari lingkungan sehingga dibutuhkan adanya pengolahan terlebih dahulu.

Selain itu, Devda *et al.* (2021) menyatakan bahwa pembuangan air limbah yang tidak ditangani secara tepat ke lingkungan dapat mengakibatkan berbagai dampak seperti peningkatan penyakit, penurunan biodiversitas, bioakumulasi toksin, peningkatan emisi gas rumah kaca, degradasi ekosistem akuatik, peningkatan suhu air, dan bahkan dampak ekonomi seperti penurunan produksi industri dan pertanian.

Secara berturut-turut nilai BOD dan COD yaitu 548,0 mg/L dan 2.309,5 mg/L dengan baku mutu BOD sebesar 50 mg/L dan COD 110 mg/L. Nilai BOD dan COD berdasarkan hasil pengujian telah melampaui baku mutu apabila dibandingkan dengan parameter lainnya. Tingginya nilai BOD dan COD diakibatkan karena tingginya zat organik dari lemak hewan yang terdapat di seluruh badan terutama pada jaringan adipose dan tulang sumsum hewan dalam limbah cair sehingga kandungan oksigen menjadi turun. Nilai oksigen yang turun dapat menyebabkan perairan dalam kondisi anaerob (tanpa oksigen) dan mengakibatkan timbulnya bau busuk bahkan hingga kematian ikan dan biota perairan lainnya (Sholehah *et al.* 2022).

Hasil pengujian pada parameter TSS juga menunjukkan bahwa hasil limbah cair sudah melewati baku mutu. Menurut hasil pengujian diketahui bahwa nilai TSS sebesar 62 mg/L (baku mutu 50 mg/L). Tingginya nilai TSS dalam limbah cair ini dapat menimbulkan air menjadi kotor dan keruh (Sholehah *et al.* 2022). Bahan organik yang tinggi dalam air limbah, terutama yang tersuspensi menyebabkan air menjadi keruh dan dapat menghambat proses fotosintesis karena intensitas cahaya matahari sulit menembus ke dalam perairan. Hasil pengujian pH menunjukkan bahwa masih memenuhi baku mutu yaitu sebesar 7,2 sesuai baku mutu pH yaitu 6-9. Nilai pH yang didapatkan masih termasuk dalam kategori netral sehingga tidak diperlukan adanya penambahan bahan kimia untuk penetralan air limbah.

Amoniak yang terkandung dalam air limbah sebesar 3,8940 mg/L dan sudah melampaui baku mutu yaitu 0,5 mg/L. Nilai amoniak yang tinggi dapat menyebabkan kapasitas oksigen dalam perairan berkurang. Kandungan amoniak dalam air berkaitan dengan suhu dan pH perairan. Jika temperatur dan pH air tinggi maka kandungan dan toksisitas amoniak terhadap organisme akuatik dalam air juga akan semakin tinggi.

Toksisitas amoniak dalam air juga dipengaruhi oleh pengaruh musim, amoniak akan lebih berbahaya bagi organisme akuatik pada musim penghujan (suhu dan pH tinggi) daripada musim kemarau (suhu dan pH lebih rendah) (Ding *et al.* 2021). Selain itu, nilai minyak dan lemak pada air limbah berdasarkan hasil uji laboratorium menunjukkan nilai yang tinggi yaitu 13,4 mg/L. Baku mutu yang diperbolehkan untuk parameter minyak dan lemak hanya 5,0 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa nilai minyak dan lemak sudah melampaui baku mutu.

Adanya minyak dan lemak dalam air juga bisa mempengaruhi aktivitas fotosintesis dalam perairan. Semakin tinggi kadar minyak dan lemak dalam air dapat menyebabkan permukaan air tertutupi dan terhalangi masuknya sinar matahari ke perairan, sehingga oksigen juga turut berkurang. Kondisi ini sejalan dengan Hendrawan (2008) yang menyebutkan bahwa kadar minyak dan lemak berlebihan dalam permukaan air dapat mengakibatkan berkurangnya penetrasi cahaya matahari dan oksigen serta menghambat laju *self purification* karena mikroorganisme yang ada sulit untuk menguraikan minyak dan lemak dalam perairan.

3.2. Kualitas air Sungai Pesing

Air sungai pada daerah penelitian awalnya digunakan sebagai sumber irigasi utama untuk kegiatan pertanian. Aktivitas antropogenik dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi karbon organik secara signifikan sehingga menyebabkan kualitas air permukaan menurun (Pasternak *et al.* 2017). Semakin berkembangnya industri yang ada di daerah penelitian, salah satunya adalah industri kerupuk kulit menyebabkan kualitas air sungai menjadi menurun. Konsekuensinya masyarakat tidak memanfaatkan air sungai lagi untuk irigasi pertanian. Penggunaan air sungai sebagai sumber irigasi pertanian mengacu pada baku mutu kelas 2 berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Parameter yang dimanfaatkan untuk mengetahui kualitas air sungai ini adalah BOD, COD, TSS, pH, amoniak, serta minyak dan lemak. Hasil pengujian laboratorium a air sungai selain digunakan untuk mengetahui kualitas sungai juga digunakan untuk menentukan status mutu air Sungai Pesing (**Tabel 4**).

Tabel 4. Kualitas air Sungai Pesing.

Parameter	Satuan	Baku mutu	Hasil uji		
			S1	S2	S3
COD	mg/L	25	15,2	55,2	75,6
BOD	mg/L	3	1,8	26,6	16,0
TSS	mg/L	50	1	6	10
pH	-	6-9	7,7	7,7	6,7
Amoniak	mg/L	0,2	<0,0064	0,5654	0,0088
Minyak dan lemak	mg/L	1	0,4	0,8	1,6

Keterangan:

S1 = Sungai sebelum *outlet;* S2 = Sungai setelah *outlet;* S3 = Saluran irigasi pembuangan limbah

Kondisi fisik pada sungai sebelum *outlet* memiliki air yang masih cukup jernih namun terdapat beberapa sedimen pada sungai dan tidak berbau. Kondisi fisik pada sungai setelah *outlet* air berwarna coklat keputihan, sedikit berbuih serta berbau tidak sedap. Kondisi fisik pada saluran irigasi juga menunjukkan adanya indikasi pencemaran bahwa air sudah mulai berbau busuk, berubah warna menjadi kehitaman serta terdapat buih dan endapan minyak dan lemak yang menutupi permukaan irigasi. Pengambilan sampel pada ketiga titik ini dimaksudkan agar mengetahui potensi pencemaran yang terjadi sebelum dan sesudah kegiatan industri kerupuk kulit.

Hasil pengujian BOD pada sungai sebelum *outlet* yaitu sebesar 1,8 mg/L masih di memenuhi baku mutu. Pada hasil pengujian sampel sungai setelah *outlet* menunjukkan hasil sebesar 26,6 mg/L, dimana hasil ini sudah melebihi baku mutu. Baku mutu BOD merujuk pada baku mutu kelas 2 yakni 3 mg/L. BOD yang tinggi pada sungai setelah *outlet* dikarenakan pada titik ini air sungai sudah tercampur dengan air limbah dari saluran irigasi. Selain itu, hasil pengujian kualitas air pada saluran irigasi juga menunjukkan bahwa titik sampel melebihi baku mutu kelas 2 yakni 16,0 mg/L. Nilai BOD yang tinggi pada saluran irigasi ini diakibatkan karena saluran irigasi ini menjadi badan air pertama penerima air limbah kerupuk kulit. Nilai BOD pada sungai sebelum *outlet* yang rendah dan masih di bawah baku mutu menunjukkan bahwa titik ini masih layak dan belum terpengaruh oleh beban pencemar.

Kadar COD pada sungai sebelum *outlet* memenuhi baku mutu dengan nilai yakni 15,2 mg/L. Akan tetapi pada sungai setelah *outlet* dan saluran irigasi keduanya telah melampaui baku mutu, yaitu secara berturut-turut 55,2 mg/L dan 75,6 mg/L. Baku mutu air sungai kelas 2 untuk COD menurut adalah 25 mg/L. Kualitas air yang baik di sungai sebelum *outlet* menunjukkan bahwa belum terjadi pencemaran pada titik pengambilan sampel tersebut, sedangkan untuk sungai setelah *outlet* mengalami kenaikan karena titik tersebut merupakan kontak antara saluran irigasi pembuangan limbah dengan air sungai. Hasil nilai COD ini juga berbanding lurus dengan hasil nilai BOD. Nilai COD lebih besar dibandingkan dengan nilai BOD pada suatu perairan yang sama karena banyak zat organik yang dapat dioksidasi secara kimiawi namun tidak dapat teroksidasi secara biologis.

Tiga sampel air sungai yang diujikan keseluruhannya masih memenuhi baku mutu untuk parameter TSS. Baku mutu TSS kelas 2 yaitu 50 mg/L. Sampel air pada sungai sebelum *outlet* memiliki nilai TSS 1 mg/L dan sungai setelah *outlet* 6 mg/L. Saluran irigasi memiliki nilai TSS lebih tinggi dari TSS air sungai yaitu 10 mg/L. Tingginya nilai TSS di saluran irigasi ini dapat terjadi karena adanya padatan tersuspensi yang terbawa oleh aliran air dari area pertanian dan masuk ke saluran irigasi. Rendahnya nilai TSS pada keseluruhan titik sampel ini sejalan dengan rendahnya nilai TSS pada limbah cair industri kerupuk kulit apabila dibandingkan dengan parameter lainnya. Selain itu, faktor kemiringan lereng juga dapat berpengaruh terhadap rendahnya nilai TSS di lokasi penelitian. Berdasarkan peta topografi pada daerah penelitian, lokasi pengambilan ketiga titik sampel ini cenderung berada pada lokasi landai sehingga debit sungai akan relatif kecil dan dapat menyebabkan partikel tersuspensi mudah terendapkan pada dasar sungai.

Berdasarkan baku mutu kelas 2 yang berlaku, parameter pH berada pada rentang nilai antara 6-9. Seluruh nilai pH pada ketiga titik pengambilan sampel semuanya masih dalam batas normal dan memenuhi baku mutu. Nilai pH pada sungai sebelum *outlet* dan setelah *outlet* adalah sebesar 7,7, sedangkan untuk saluran irigasi memiliki pH yang lebih rendah dibandingkan pada air sungai yaitu sebesar 6,7.

Kadar amoniak di sungai sebelum *outlet* dan saluran irigasi masih memenuhi baku mutu yaitu masing-masing <0,0064 mg/L dan 0,0088 mg/L. Sungai setelah *outlet* memiliki nilai amoniak 0,5654 mg/L dan sudah melewati baku mutu. Baku mutu kelas 2 amoniak yakni 0,2 mg/L. Nilai baku mutu yang sangat rendah pada sungai sebelum *outlet* ini menunjukkan bahwa pada lokasi pengambilan sampel ini kemungkinan besar belum banyak dipengaruhi oleh pertanian, industri dan limbah cair domestik yang dapat menyebabkan kadar amoniak tinggi. Kadar amoniak di saluran irigasi sebagai tempat keluarnya limbah cair juga termasuk rendah, padahal kadar amoniak dalam limbah cair industri kerupuk kulit terbilang cukup tinggi. Kondisi ini karena air limbah di saluran irigasi sudah bercampur dengan air buangan lainnya, seperti bekas pencucian kulit.

Tingginya nilai amoniak pada sungai setelah *outlet* dapat disebabkan karena pada titik ini air sungai tidak hanya menerima beban pencemar dari limbah industri kerupuk kulit saja, namun juga dari air hasil pertanian, air limbah domestik, dan limbah industri lain. Kadar amoniak tinggi dalam suatu perairan akan berdampak negatif terhadap kehidupan biota perairan karena dapat bersifat racun dan dapat menyebabkan biota air lemas dan bahkan menyebabkan kematian apabila amoniak melebihi baku mutu (Setianto dan Fahritsani 2019).

Nilai baku mutu untuk parameter minyak dan lemak berdasarkan baku mutu kelas 2 yakani 1 mg/L. Kadar minyak dan lemak di sungai sebelum *outlet* dan setelah *outlet* keduanya masih berada di bawah baku mutu, masing-masing 0,4 mg/L dan 0,8 mg/L. Untuk saluran irigasi, nilai minyak dan lemak yang didapatkan adalah 1,6 mg/L dan sudah melebihi baku mutu. Tingginya nilai minyak dan lemak pada saluran irigasi ini dikarenakan air limbah langsung masuk ke saluran irigasi tanpa adanya pengolahan sehingga kadar minyak dan lemak pada sampel juga akan menjadi lebih tinggi. Untuk sungai setelah *outlet* terlihat terjadi penurunan nilai minyak dan lemak yang kemungkinan terjadi karena dipengaruhi oleh adanya pencampuran antara air limbah dengan air irigasi sawah dan air sungai serta adanya *self purification* dimana air sungai dapat menurunkan konsentrasi pencemar secara alami. Bhaskara *et al.* (2022) mengungkapkan bahwa *self purification* dapat terjadi karena di dalam sungai terdapat mikroorganisme yang berperan dalam penguraian bahan organik, nutrisi ataupun bahan pencemar lainnya sehingga tingkat pencemaran akan menurun.

3.3. Status mutu air dengan indeks pencemaran

Air limbah industri kerupuk kulit yang dibuang ke sungai tanpa adanya perlakuan sebelumnya bisa mengakibatkan menurunnya kualitas air yang berdampak terhadap status mutu air di suatu daerah. Pembuangan limbah cair secara langsung tanpa perlakukan ke badan air permukaan dan air tanah dapat berdampak negatif dan berbahaya bagi lingkungan karena adanya konsumsi oksigen oleh mikroba (Mekaoussi *et al.* 2023). BOD, COD, amoniak, dan minyak dan lemak di saluran irigasi dan air sungai setelah *outlet* mengalami peningkatan hingga melebihi baku mutu.

Adanya peningkatan kadar sejumlah kualitas air sungai pada kedua titik ini menyebabkan perlunya analisis lebih lanjut mengenai tingkat pencemaran. Parameter yang dianalisis untuk mengetahui indeks pencemaran di air sungai yaitu BOD, COD, TSS, pH, amoniak serta minyak dan lemak (**Tabel 5**).

Tabel 5. Status mutu air Sungai Pesing.

Parameter	Satuan	Baku mutu	Hasil uji		
			S1	S2	S3
COD	mg/L	25	15,2	55,2	75,6
BOD	mg/L	3	1,8	26,6	16,0
TSS	mg/L	50	1	6	10
pH	-	6-9	7,7	7,7	6,7
Amoniak	mg/L	0,2	<0,0064	0,5654	0,0088
Minyak dan lemak	mg/L	1	0,4	0,8	1,6
Nilai indeks pencemaran			0,4791	4,328	3,4997
Status mutu air			Memenuhi baku mutu	Tercemar ringan	Tercemar ringan

Keterangan:

S1 = Sungai sebelum *outlet;* S2 = Sungai setelah *outlet;* S3 = Saluran irigasi pembuangan limbah

Berdasarkan **Tabel 5,** status mutu air sungai mengalami perubahan. Titik S1 yang tidak terdampak limbah industri kerupuk kulit termasuk ke dalam kategori masih memenuhi baku mutu dengan nilai indeks pencemaran sebesar 0,4791. Titik S2 dan S3 keduanya berkategori tercemar ringan, masing-masing bernilai 4,328 dan 3,4997. Adanya perubahan status mutu air yang bermula dari memenuhi baku mutu ke tercemar ringan merupakan indikasi bahwa badan air sungai dan saluran irigasi ini sudah terdampak oleh adanya limbah cair industri kerupuk kulit yang ada pada lokasi penelitian.

3.4. Evaluasi standar *stream*

Hasil kualitas air dan status mutu air menunjukkan bahwa limbah cair terbukti mencemari air Sungai Pesing yang ada di lokasi penelitian. Oleh karena itu, diperlukan adanya perhitungan evaluasi standar *stream*. Utami *et al.* (2019) menyatakan bahwa perhitungan evaluasi standar *stream* diperlukan untuk mengetahui karakteristik limbah cair yang akan diolah serta konsentrasi beban pencemar yang masuk ke sungai sebelum adanya pengolahan. Perhitungan ini menggunakan nilai debit sungai dan debit air limbah untuk mengetahui kemampuan air sungai untuk menerima beban pencemar dari limbah cair.

Berdasarkan perhitungan debit di lapangan, diketahui bahwa air sungai (Qs) memiliki debit sebesar 274 L/s sedangkan limbah cair memiliki debit *effluent* sebesar 3,353 L/s. Hasil perhitungan dari evaluasi standar *stream* disajikan di **Tabel 6.**

Tabel 6. Evaluasi standar *stream.*

Parameter	Baku Mutu (mg/L)	Qe (L/s)	Qs (L/s)	Cs (mg/L)	Ce (mg/L)	Cc (mg/L)
COD	25	3,353	274	15,2	2.309,5	37,6121
BOD	3			1,8	548,0	7,1356
TSS	50			1	62	1,5959
pH	6-8,5			7,7	7,2	7,695
Minyak dan lemak	1			0,0064	3,8940	0,0444
Amoniak	0,5			0,4	13,4	0,527

Keterangan:

Qe = Debit *effluent* (L/s)

Qs = Debit sungai (L/s)

Cs = Konsentrasi sungai (mg/L)

Ce = Konsentrasi *effluent* (mg/L)

Cc = Konsentrasi campuran (mg/L)

Evaluasi standar *stream* diketahui bahwa konsentrasi pencampuran BOD, COD, dan amoniak masih tidak memenuhi baku mutu air sungai. Kondisi demikian sesuai dengan status mutu air yang mengindikasi bahwa daerah penelitian termasuk dalam kategori tercemar ringan pada titik setelah *outlet* serta hasil kualitas air pada limbah cair untuk parameter BOD, COD, TSS, amoniak, minyak dan lemak yang masih belum memenuhi baku mutu. Berdasarkan hasil evaluasi standar *stream* ini dapat disimpulkan bahwa air sungai tidak dapat menerima limbah cair industri kerupuk kulit sehingga perlu perlakuan terhadap limbah cair sebelum dibuang ke sungai.

Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Oktober yang termasuk ke dalam masa transisi musim hujan dan musim kemarau. Hasil perhitungan evaluasi ini dapat berbeda jika dilakukan pada musim hujan dan musim kemarau. Perbedaan musim mengakibatkan perbedaan kuantitas air sungai. Potensi pencemaran akan semakin menyebar di musim penghujan karena pada musim ini debit limbah akan semakin besar akibat air limpasan dari hulu, namun konsentrasi tingkat pencemarnya akan menunjukkan angka yang relatif lebih rendah dibandingkan musim kemarau. Sebaliknya, nilai konsentrasi tingkat pencemaran pada pengambilan sampel di musim kemarau dapat menunjukkan angka yang tinggi karena debit air yang kecil.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kualitas limbah cair industri kerupuk kulit memiliki 5 parameter yang tidak memenuhi baku mutu yaitu COD sebesar 2.309,5 mg/L; BOD 548 mg/L; TSS 62 mg/L; amoniak 3,8940 mg/L; dan minyak dan lemak 13,4 mg/L sedangkan untuk kualitas pH sudah memenuhi baku mutu. Kualitas air sungai memiliki beberapa parameter yang tidak memenuhi baku mutu yaitu pada sungai setelah *outlet* dengan nilai COD 55,2 mg/L; BOD 26,6 mg/L; dan amoniak 0,5654 serta saluran irigasi dengan nilai COD 75,6 mg/L; BOD 16 mg/L; serta minyak dan lemak 1,6 mg/L, sedangkan kualitas air pada sungai sebelum *outlet* keseluruhan parameternya masih memenuhi baku mutu.

Status mutu air sungai memenuhi baku mutu pada titik sebelum *outlet* dengan indeks pencemaran 0,4791 dan tercemar ringan pada titik setelah *outlet* dan saluran irigasi dengan indeks pencemaran masing-masing 4,328 dan 3,4997. Hasil evaluasi standar *stream* menunjukkan bahwa air sungai tidak mampu menerima beban pencemar air limbah yang ditunjukkan dari parameter COD, BOD, dan amoniak masih tidak memenuhi baku mutu air sungai dengan nilai berturut-turut 37,6121 mg/L; 7,1356 mg/L; dan 0,527 mg/L.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih penulis tunjukan kepada Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta serta masyarakat dan pemerintah Kelurahan Segoroyoso yang telah bekerja sama dalam penyusunan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

Ariska NI, Yuliani E dan Chandrasasi D. 2017. Perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) pabrik penyamakan kulit di Desa Mojopurno Kecamatan Ngariboyo Kabupaten Magetan [Skripsi]. Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Bhaskara OS, Sukmawati PD dan Warisaura AD. 2022. Analisis sebaran air limbah industri rumah pemotongan ayam terhadap kualitas air Sungai Desa Kalitirto, Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman. Jurnal Teknologi 15(2):137–143.

Cahyani DN. 2016. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri kerupuk kulit di Kelurahan Sembung Kabupaten Tulungagung [Skripsi]. Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Devda V, Chaudhary K, Varjani S, Pathak B, Patel AK, Singhania RR, Taherzadeh MJ, Ngo HH, Wong JWC, Guo W and Chaturvedi P. 2021. Recovery of resources from industrial wastewater employing electrochemical technologies: status, advancements and perspectives. Bioengineered 12(1):4697-4718.

Ding TT, Du SL, Huang ZY, Wang ZJ, Zhang J, Zhang YH, Liu SS and He LS. 2021. Water quality criteria and ecological risk assessment for ammonia in the Shaying River Basin, China. Ecotoxicology and environmental safety 215:112141.

Hamidi R, Furqon MT dan Rahayudi B. 2017. Implementasi learning vector quantization (LVQ) untuk klasifikasi kualitas air sungai. Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer 1(12):1758–1763.

Hartono DM, Sulistyoweni W dan Sutjiningsih D. 2009. Pendekatan indeks kualitas air pada air baku air minum dari saluran Tarum Barat. Lingkungan Tropis 3(1):11–22.

Hastutiningrum S, Suseno HP dan Topo RR. 2021. Sistem jaringan perpipaan air limbah industri kerupuk kulit secara komunal (studi kasus pada sentra industri kerupuk kulit Dusun Cegokan, Desa Wonolelo, Kecamatan Pleret, Kabupaten Bantul). Jurnal Teknologi Technoscientia 14(1):41–52.

Hendrawan D. 2008. Kualitas air Sungai Ciliwung ditinjau dari parameter minyak dan lemak. Jurnal Ilmu - Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia 15(2):85–93.

Irfannur dan Khairan. 2011. Analisis parameter fisika kimia kualitas perairan di Sungai Krueng Mane Aceh Utara. Jurnal Ilmiah Program Studi Perairan 3(1):16-23.

Karimah RRS dan Rhomadhoni MN. 2021. Pengolahan limbah cair di sektor industri informal pabrik pengolahan kerupuk kulit UD. X Kabupaten Mojokerto. Higiene: Jurnal Kesehatan Lingkungan 7(1):17-22.

KepMenLH (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup) Nomor 115 Tahun 2003 tentang pedoman penentuan status mutu air.

Mahyudin, Soemarno dan Prayogo TB. 2015. Analisis kualitas air dan strategi pengendalian pencemaran air Sungai Metro di Kota Kepanjen Kabupaten Malang. Indonesian Journal of Environment and Sustainable Development 6(2):105–114.

Mekaoussi H, Heddam S, Bouslimanni N, Kim S and Zounemat-Kermani M. 2023. Predicting biochemical oxygen demand in wastewater treatment plant using advance extreme learning machine optimized by Bat algorithm. Heliyon 9(11): e21351.

Novianti E, Asrifah RD dan Utami A. 2021. Pengaruh limbah cair tekstil terhadap kualitas air di sub sub DAS Semin Kecamatan Sukoharjo, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah. Jurnal Envirotek 13(2):61–69.

Pasternak G, Greenman J and Ieropoulos I. 2017. Self-powered, autonomous Biological Oxygen Demand biosensor for online water quality monitoring. Sensors and Actuators B - Chemical 244:815-822.

PerDa (Peraturan Daerah) Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah.

PP (Peraturan Pemerintah) Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2011 tentang sungai.

PP (Peraturan Pemerintah) Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

Setianto H dan Fahritsani H. 2019. Faktor determinan yang berpengaruh terhadap pencemaran Sungai Musi Kota Palembang. Media Komunikasi Geografi 20(2): 186-198.

Shi Y, Yang D, Hu C and Lyu . 2024. Water self-purification via electron donation effect of emerging contaminants arousing oxygen activation over ordered carbon-enhanced CoFe quantum dots. Environmental Science and Ecotechnology 20:100356.

Sholehah H, Yuliansari D, Nurhidayah dan Arhamarrahimin. 2022. Fitoremediasi limbah cair kerupuk kulit menggunakan tanaman air kayu apu (Pistia Stratiotes). Jurnal Sanitasi Dan Lingkungan 3(1):238–250.

Utami A, Nugroho NE, Febriyanti SV dan Nuur T. 2019. Evaluasi air buangan domestik sebagai dasar perancangan. Jurnal Presipitasi 16(3):172–179.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN
Journal of Environmental Sustainability Management

JPLB
Vol. 8 No. 1 (2024)
ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025
Tersedia di https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb

Dampak pencemaran benzena terhadap lingkungan serta mekanismenya dalam memicu kanker: sebuah tinjauan literatur

Literature review: the impact of benzene pollution on the environment and its mechanism in triggering cancer

Davit Aldi[1*]

[1]Program Studi Konservasi Sumber Daya Alam, Universitas Teknologi Sumbawa, Sumbawa, Indonesia

Abstrak.
Benzena (C_6H_6) merupakan senyawa hidrokarbon aromatik yang penggunaannya banyak di dalam kehidupan sehari-hari. Akan tetapi, penggunaan senyawa benzena dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan karena benzena bersifat karsinogenik. Penelitian ini bertujuan mengkaji dampak buruk benzena sebagai pemicu penyakit dan kanker. Penelitian ini menggunakan metode analisis kualitatif deskriptif untuk menjabarkan proses dan dampak buruk benzena bagi manusia dan lingkungan. Benzena dapat mengendap di air dan tanaman yang menjadi sumber pakan ternak, yang masuk ke siklus rantai makanan, selanjutnya akan sampai ke manusia. Paparan benzena baik langsung maupun tidak langsung dapat menyebabkan kanker di tubuh manusia dan hewan. Dampak langsung mengonsumsi makanan dan minuman yang mengandung kadar benzena tinggi dapat menyebabkan muntah, iritasi perut, pusing, kantuk, kejang, denyut jantung cepat, koma, dan kematian. Selain tingkat paparan, proses metabolisme yang ditentukan oleh genetik menjadi faktor yang memengaruhi dampak. Manusia dengan tingkat metabolisme yang tinggi memiliki korelasi lurus dengan kadar benzena dalam tubuh. Disimpulkan bahwa benzena berpengaruh buruk bagi makhluk hidup.

Kata kunci: benzena, karsinogenik, lingkungan, metabolisme, genetik

Abstract.
Benzene (C_6H_6) *is an aromatic hydrocarbon compound that is widely used in everyday life. However, the use of benzene compounds can endanger the environment and health because benzene is carcinogenic. This research was conducted to examine the negative effects of benzene as a trigger for disease and cancer. This research uses a descriptive qualitative analysis method to describe the process and negative impacts of benzene on humans and the environment. Benzene can settle in water or plants which are a source of animal feed and enter the food chain cycle, then reaches humans. Exposure to benzene, either directly or indirectly, can cause cancer in humans and animals. The direct impact of consuming food or drinks containing high levels of benzene can cause vomiting, stomach irritation, dizziness, drowsiness, seizures, rapid heart rate, coma, and death. Apart from the level of exposure, metabolic processes determined by genetics are factors that influence the impact. Humans with a high metabolic rate have a direct correlation with benzene levels in the body. The results of the paper conclude that benzene has a bad influence on living creatures which disrupts the final results of living creatures' metabolism.*

Keywords: benzene, carcinogenic, environment, metabolic, genetic

1. PENDAHULUAN

Dasar pelaksanaan kajian terkait bahaya benzena dalam penelitian ini adalah tingginya penggunaan senyawa benzena dalam kehidupan masyarakat global. Tingkat paparan yang tinggi dari benzena dapat menyebabkan dampak bahaya terhadap lingkungan maupun kesehatan. Selain itu, adanya transisi dan konversi energi dalam transportasi dari yang berbahan bakar fosil yang mengandung benzena ke energi listrik menjadi dasar kajian karena kebijakan tersebut mendukung mengurangi dampak buruk penggunaan benzena.

[*] Korespondensi Penulis
Email : davit.aldi@uts.ac.id

Benzena (C_6H_6) merupakan salah satu senyawa hidrokarbon aromatik yang mudah terlarut dan menguap. Benzena sebagai senyawa utama memiliki banyak turunan seperti: etilbenzena, kumena, anilin, kloro benzena, dan sikloheksana. Benzena terkenal bersifat karsinogen genotoksik dan terkenal salah satu zat berbahaya dalam dunia kesehatan kerja (Davidson *et al.* 2001). Meskipun merupakan senyawa yang bersifat karsinogenik, penggunaan benzena masih belum bisa digantikan sepenuhnya dalam kehidupan sehari-hari baik secara langsung maupun tidak langsung.

Kandungan benzena paling umum ditemukan pada bahan bakar minyak dimana pada proses akhir pembakaran benzena akan terlepas ke lingkungan. Selain itu, kandungan benzena juga terdapat dalam berbagai benda pada kehidupan seperti: makanan, desinfektan, sabun, aspirin, perasa, minyak wangi, bedak, salep anti jamur, pewarna buatan, pengawet makanan serta minuman, dan sampo. Penggunaan benzena memiliki dampak terhadap lingkungan.

Paparan senyawa benzena dapat menyebabkan benzena mengendap ke dalam makanan manusia seperti: daging, buah, sayuran, dan ikan yang mana dapat menimbulkan dampak buruk terhadap kualitas makanan tersebut. Pada hewan, paparan benzena juga dapat menyebabkan risiko kanker dalam jangka panjang (Huff 2007). Selain itu, dampak pencemaran akibat penggunaan benzena yang terjadi pada tanah, air, dan udara dapat menyebabkan kenaikan risiko penyakit seperti: kanker, leukimia, gangguan pendengaran dan gangguan pada pernapasan pada manusia. Jika terhirup dalam kadar yang tinggi, benzena dapat menyebabkan kematian. Penelitian meta-analisis yang dilakukan Neri *et al.* (2006) menunjukkan bahwa paparan bahan kimia pencemar lingkungan seperti benzena memiliki dampak kerentanan lebih tinggi terhadap anak-anak yang berada dalam proses tumbuh dan berkembang. Marchetti *et al.* (2012) menyatakan keberadaan benzena juga ditemukan di orang dewasa, yang mana dengan menggunakan beberapa indikator seperti: urine, nafas, dan *muconic acid* (MA) menunjukkan pekerja yang terekspos langsung dalam industri yang menggunakan benzena memiliki kandungan benzena dalam kadar tertentu sesuai tingkat paparannya dalam kehidupan sehari-hari.

Penggunaan benzena di industri dan rumah tangga sangat sulit dihilangkan. Selain manfaatnya yang banyak terhadap kehidupan, alternatif pengganti benzena belum banyak digunakan. Selain itu, bahaya yang ditimbulkan juga tidak dapat dihilangkan sepenuhnya terutama bagi mereka yang bersentuhan secara langsung dengan senyawa benzena dan turunannya dalam skala yang tinggi. Paparan dari industri terutama yang berhubungan dengan bahan bakar seperti pabrik pengolahan minyak bumi, SPBU, dan pabrik lem tidak hanya berdampak terhadap pekerja di dalam kawasan tetapi juga bagi masyarakat sekitarnya. Oleh sebab itu, perlu adanya kajian mengenai dampak penggunaan benzena terhadap lingkungan serta kesehatan manusia terutama kanker.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

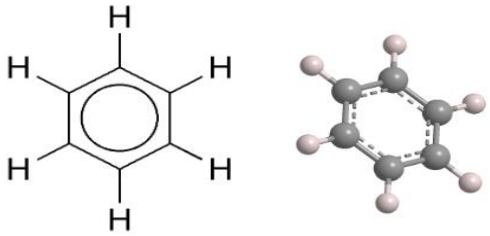
Kajian ini dilakukan selama pada bulan Agustus tahun 2023 dengan cakupan sumber literatur dari berbagai sumber.

2.2. Prosedur analisis data

Kajian dalam penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif. Adapun sumber bahan penulisan diperoleh dari 21 jurnal ilmiah internasional, 1 jurnal nasional, 1 buku kajian WHO, 1 peraturan menteri, dan 1 publikasi badan kesehatan yang dijadikan sebagai tinjauan literatur penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Indonesia sebagai negara berkembang saat ini masih menggunakan bahan bakar fosil sebagai penggerak roda perekonomiannya, baik dalam sektor transportasi, energi, maupun industri. Tingginya penggunaan bahan bakar ini menyebabkan kadar benzena yang tinggi di lingkungan terutama di udara yang langsung terpapar kepada manusia. Benzena adalah senyawa organik siklik sederhana yang secara alami terdapat di lingkungan dengan konsentrasi rendah seperti di dalam minyak mentah maupun di dalam makanan (**Gambar 1**). Benzena dapat terbentuk dalam proses pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna seperti: di produk minyak bumi, batu bara, dan kayu (Davidson *et al.* 2001).



Gambar 1. Model senyawa benzena (American Chemical Society 2023).

Berdasarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor PER. 13/MEN/X/2011 Tahun 2011, nilai ambang batas (NAB) untuk benzena adalah sebesar 0,5 ppm, sedangkan PSD (Paparan Singkat Diperkenankan) adalah 2,5 ppm sedangkan ambang batas benzena di udara untuk perumahan dan pemukiman adalah maksimalnya adalah 10 ppm mengikuti SNI 19-0232-2005. Konsumsi bahan bakar minyak bumi yang tinggi menyebabkan benzena mencemari lingkungan dan memicu naiknya risiko kerusakan lingkungan maupun penyakit bagi manusia. Kompleksitas faktor penyebab paparan, pengaruh, dan dampak benzena bagi manusia telah banyak diteliti oleh berbagai ilmuwan (**Tabel 1**). Berbagai faktor yang telah diteliti dapat menjadi landasan dalam menghubungkan masing-masing faktor.

Tabel 1. Penelitian terkait faktor paparan dan dampak benzena.

Penelitian	Deskripsi	Referensi
Benzena mengendap pada tubuh anak-anak	Akumulasi benzena dalam tubuh anak-anak disebabkan berbagai faktor seperti polusi udara, tanah, air, aktivitas pertanian, merokok, aktivitas industri, maupun paparan saat pekerjaan seperti pekerja di stasiun pengisian bahan bakar.	Davidson *et al.* (2001); Amstrong *et al.* (2002); Neri *et al.* (2006); Johnson *et al.* (2007)
Paparan benzena disebabkan oleh pekerjaan	Paparan benzena diakibatkan oleh faktor pekerjaan seperti sopir taksi dan pekerja stasiun pengisian bahan bakar yang terpapar benzena selama berjam-jam setiap harinya melalui polusi udara kendaraan, paparan kulit, maupun faktor lainnya	Zhang *et al.* (1996); Chaiklieng *et al.* (2019); Kasemy *et al*. (2019)
Benzena mencemari lingkungan	Benzena sebagai zat yang membahayakan kesehatan ditemukan di sekitar manusia baik pada tanah, air, udara, makanan, maupun minuman yang dikonsumsi	Amstrong *et al.* (2002); Ziółkowska and Wyszkowski (2010); Santos *et al.* (2015); Ukoha *et al.* (2015)
Benzena memicu kanker	Paparan benzena dapat memicu kanker dalam tubuh manusia termasuk kanker darah atau leukimia melalui metabolisme tubuh	Åstrand (1985); Irons (1985); Smith (1996) Huff (2007); Kirkeleit *et al*. (2008); McHale et al. (2011);
Benzena menyebabkan cacat dan penyimpangan kromosom	Paparan benzena dapat terkonsentrasi pada tulang belakang, sperma, maupun bagian tubuh lainnya yang dapat menimbulkan potensi cacat pada keturunan,	(Zhang *et al.* 2002)

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat berbagai dampak paparan benzena bagi tubuh manusia. Akumulasi pencemaran berkaitan dengan banyak faktor, seperti usia, pekerjaan, dan aktivitas dapat menyebabkan kanker dan kerusakan genetik. Paparan benzena melalui kulit maupun pernapasan masuk ke dalam tubuh dan mengganggu proses metabolisme. Paparan tersebut tidak hanya akibat aktivitas di luar ruangan, tetapi juga dari dalam ruangan.

Pada umumnya kadar konsentrasi benzena di dalam ruangan lebih tinggi dibandingkan di luar ruangan yang bersumber dari gas, rokok, mobil di garasi yang mengeluarkan benzena sehingga mengendap di udara ruangan tertutup. Keberadaan benzena dalam ruangan tertutup akan lebih meningkatkan risiko paparan jika dibandingkan dengan ruangan terbuka dimana siklus udara mengalir dan menyebabkan terjadinya pengenceran udara yang ada dan potensi pembersihan udara secara alami lebih besar (Harrison *et al.* 2010).

Ziółkowska dan Wyszkowski (2010) menyatakan bahwa benzena, bersama toluena, dan hidrokarbon aromatik menjadi salah satu komponen yang dapat mengendap di air tanah dan terserap oleh tanaman. Hal ini menyebabkan bahaya pada ternak karena senyawa ini dapat mengendap pada pakan ternak yang menyebabkan bahaya pada kesehatan ternak. Selain itu, karena mengendap di dalam air tanah, keberadaannya juga menjadi masalah serius bagi sanitasi dan kesehatan manusia. Penelitian Ukoha *et al.* (2015) di industri minyak Nigeria menemukan bahwa pada bagian *top soil* kadar benzena mencapai 0,03 mg/kg. Meskipun kadar tersebut rendah, tetapi dia menyatakan terdapat faktor lama paparan dan konsentrasi tersebut hanya di dalam tanah yang beberapa bagian telah terbiodegradasi, sehingga kadar paparan langsung ke udara dan terhirup oleh manusia, terabsorpsi di kulit maupun melalui makanan lebih tinggi dan bersifat meracuni. Selain itu, Huff (2007) melalui penelitian laboratorium menyatakan bahwa benzena dapat menyebabkan kanker atau meningkatkan risikonya pada hewan karena masuk ke dalam jaringan dan mengganggu metabolisme tubuhnya.

Serangkaian penelitian juga telah menunjukkan bahwa benzena mempengaruhi fungsi seluler dan hormonal pengatur pembentukan darah, khususnya fungsi sel stroma (Jones *et al.* 1991). Memakan makanan atau minuman yang mengandung cairan dengan kadar benzena tinggi dapat menyebabkan muntah, iritasi perut, pusing, kantuk, kejang, denyut jantung yang cepat, koma, dan kematian. Selain itu, benzena yang mengenai kulit dapat menyebabkannya kemerahan dan luka. Mata yang terkena benzena umumnya akan mengalami iritasi dan kerusakan kornea (ATSDR 2007).

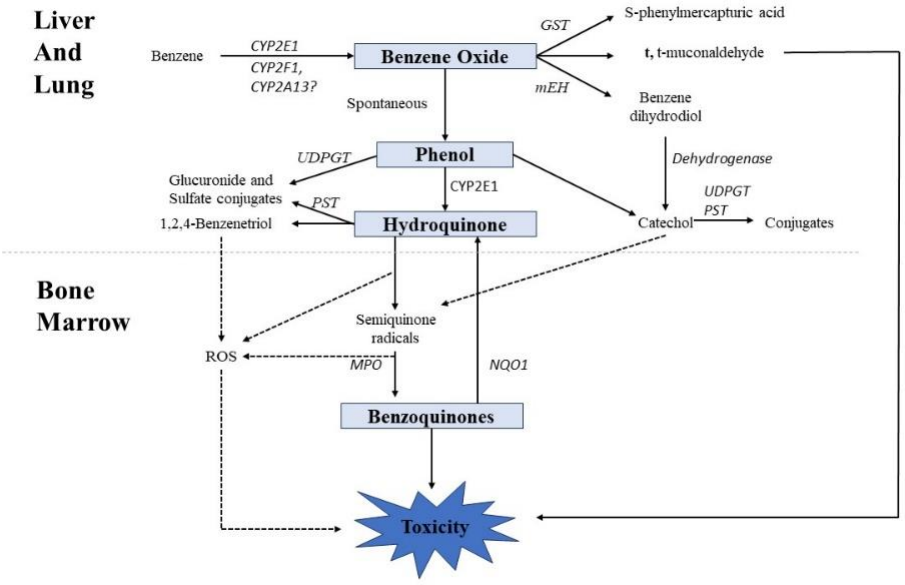
Keberadaan benzena di alam dapat mengintroduksi komponen biotik dan abiotik salah satunya kepada sumber makanan manusia. Keberadaan benzena pada makanan dapat terbentuk secara alami maupun terkandung karena terkena paparan polutan. Dalam penelitian Santos *et al.* (2015) terdapat beberapa jenis makanan seperti buah-buahan, daging, telur, ikan, ayam, kacang, jus wortel dan banyak makanan lainnya yang mengandung benzena didasarkan pada data yang didapatkan dari berbagai negara. Hal ini tentu sangat membahayakan terutama bagi anak-anak yang dalam masa berkembang. Menurut penelitian Amstrong *et al.* (2002) anak kecil lebih rawan terpapar oleh benzena terutama pada anak berumur kurang dari satu tahun. Berdasarkan data yang dirangkum Amstrong *et al.* (2002) dari US Environmental Protection Agency (1997), National Research Council (1993) and Gephart *et al.* (1994), anak-anak menyerap 140g/kg-hari berbanding 23g/kg-hari bahan kimia di dalam makanan termasuk senyawa benzena.

Utomo (2012) mengelompokkan benzena termasuk ke dalam bahan kimia beracun terlarut dan karsinogenik yang menyebabkan dampak gangguan kesehatan seperti kanker leukimia, gangguan paru-paru, dan sistem syaraf. Sumber paparan benzena yang mencemari kesehatan manusia dapat dikategorikan menjadi 2 bagian yaitu dari pekerjaan dan non pekerjaan. Pekerjaan di bidang industri minyak mentah dan pengolahannya, petugas SPBU, dan pihak jasa transportasi merupakan beberapa pekerjaan dengan risiko paparan yang tinggi, sedangkan perilaku merokok, penggunaan minyak bumi serta pembakaran minyak bumi dan bahan organik adalah sumber pencemaran benzena dari bukan dari bidang pekerjaan (Kirkeleit *et al.* 2008).

Pada pekerja SPBU misalnya, Chaiklieng *et al.* (2019) melakukan penelitian dengan menggunakan regresi logistik berganda untuk menemukan faktor yang berpotensi menyebabkan keberadaan benzena dalam urine yang dideteksi melalui tt-MA menemukan beberapa faktor yang memengaruhi keberadaan benzena dalam tubuh yaitu konsentrasi benzena di tempat kerja, keberadaan pekerjaan lainnya selain di SPBU, jarak badan dengan nozel saat pengisian bahan bakar, pelatihan kerja, dan kebiasaan mencuci tangan. Penelitian Kasemy *et al*. (2019) menunjukkan bahwa sopir taksi terpapar secara signifikan oleh benzena setiap jamnya karena polusi udara di jalanan yang menyebabkan gangguan kesehatan.

Zhang *et al.* (1996) meneliti bahwa usia, aktivitas merokok, dan penggunaan alkohol merupakan objek yang dapat menjadi pertimbangan dalam menghitung kadar benzena. Proses penyerapan benzena pada tubuh manusia umumnya terjadi melalui dua proses, yaitu absorpsi dan metabolisme. Paparan melalui absorpsi biasanya didominasi melalui proses pernafasan sedangkan dalam proses metabolisme benzena banyak ditemukan pada organ hati manusia (Kirkeleit *et al.* 2008). Benzena akan menyebar melalui napas, darah, dan urine (Johnson *et al.* 2007). Paparan melalui absorpsi terutama pernafasan bergantung terhadap lamanya waktu penyerapan, konsentrasi benzena dan model ventilasi dimana ketika peningkatan pergerakan dan kegiatan manusia akan memicu naiknya penyerapan udara manusia dan meningkatkan paparan benzena ke dalam paru-paru (Åstrand 1985).

Selain melalui pernapasan, benzena dapat terserap ke dalam tubuh manusia melalui kulit. Benzena terserap kulit karena adanya daya permeabilitas kulit dan terdifusi sampai dengan stratum korneum lalu dapat diteliti melalui kadarnya dalam darah, urine, maupun dari udara yang dihembuskan (Blank *et al.* 1985). Pada proses metabolisme, benzena dimetabolisme dalam hati dan ditranspor ke dalam sumsum tulang belakang dan jaringan lainnya (Witz *et al.* 1996). Proses sederhana keberadaan dan metabolisme benzena dari hati dan paru-paru ke tulang belakang terdapat pada **Gambar 2.**



Gambar 2. Skema sederhana metabolisme benzena dari hati menuju tulang belakang (McHale *et al.* 2011).

Keberadaan benzena dapat memacu penyimpangan pada kromosom. Paparan tersebut berkaitan dengan penyimpangan struktural kromosom, tetapi bukan kelainan numerik yang merupakan cacat pada kromosom. Pada manusia yang terpapar benzena dalam kadar yang tinggi, berpotensi terjadi juga kerusakan pada kromosom (Marchetti *et al.* 2012). Paparan benzena dalam darah dapat memicu perubahan kromosom dan menyebabkan leukimia (kanker darah). Hasil beberapa penelitian leukimia melalui sampel darah, terdapat kandungan benzena di dalam darah penderita leukimia yang rata-rata sudah bekerja dan terpapar hampir mencapai 40 tahun. Keberadaan benzena dalam tubuh nantinya juga terkait dengan dampak sitogenetik yang mana celah kromosom dan pecahan kromosom memainkan peran penting (Jones *et al.* 1991).

Melalui hasil Cytogenetic, kromosom yang berubah secara spesifik berada di tulang belakang dan darah putih (Zhang *et al.* 2002). Telah dipastikan bahwa benzena dan/atau metabolitnya menyebabkan penyimpangan kromosom dalam limfosit darah perifer dimana dalam penelitian yang sudah dipastikan hasilnya ditemukan pengaruh perubahan yang disebabkan pada tingkat perubahan kromosom yang lebih tinggi yang biasa diamati di AML, termasuk 5q/5 atau 7q/7, þ8 dan t di periferal limfosit darah pada pekerja yang sangat terpapar. Perubahan kromosom AML terkait juga diproduksi oleh metabolit benzena dalam kultur sel manusia, termasuk kultur progenitor CD34þ. sel (McHale *et al.* 2011).

Keberadaan benzena dalam tulang belakang dan hati menyebabkan aplasia (kegagalan memproduksi sel darah) dan haematotoxic (substansi yang dapat menghancurkan sel darah merah). Proses terjadinya kedua penyakit tersebut digolongkan ke dalam 2 langkah. Pertama benzena di metabolisme dalam hati menjadi phenol, hydroquinone, catechol dan 1,2,4-benzenetriol. Kemudian, hasil metabolisme ini kemudian terbawa ke sumsum tulang dan sistem limfoid yang berkorelasi dengan konsentrasi hidrokuinon (HQ) dan katekol (CT) yang selanjutnya diaktifkan oleh enzim peroksidase menjadi kuinon yang sangat reaktif dan radikal bebas (Irons 1985; Smith 1996). Entitas kuinon bersifat radikal bebas dan reaktif inilah yang membuat manusia terserang kanker darah akibat paparan benzena. Menurut Jones *et al.* (1991) hubungan metabolisme dari kuinon dan phenol yang menyebabkan munculnya potensi penurunan sel pada tulang belakang yang membahayakan kesehatan.

Akan tetapi, potensi kanker pada tubuh akibat paparan benzena bukan hanya karena terpapar dalam waktu dan dosis tertentu saja. Faktor genetik memberi pengaruh secara signifikan proses metabolisme yang terjadi (Johnson *et al.* 2007). Hal ini menyebabkan proses metabolit benzena sulit diprediksi. Perbedaan genetik antar individu menentukan laju metabolisme tubuh, sehingga individu-individu dengan laju metabolisme cepat akan memiliki kadar benzena yang lebih tinggi.

Hasil dari berbagai studi baik pada manusia, hewan dan dalam vitro telah menunjukkan bahwa metabolit benzena memicu penyimpangan kromosom (translokasi, monosomi, trisomi). Mekanisme aktivitas karsinogenik benzena berkaitan dengan efek genotoksik yang risiko kesehatan terbesarnya adalah diskrasia darah dan leukemia, khususnya leukemia myeloid akut (Harrison *et al.* 2010). Meskipun metabolit benzena menyebabkan gangguan pada kromosom, tetapi metabolit benzena bersifat non-mutagenik atau mutagenic yang lemah. Berbeda dengan kebanyakan karsinogen lainnya, benzena dianggap tidak secara langsung merusak DNA. Mekanisme di balik efek genotoksik dari metabolit benzena lebih mengarah kepada jenis oksigen aktif yang timbul dalam siklus redoks, membentuk adisi dan merusak protein yang terkait dengan DNA seperti pada proses topoisomerase II dan mitosis. Kirkeleit *et al.* (2008) menyatakan akibat terjadi kerusakan seperti kerusakan untai DNA, rekombinasi mitosis, translokasi kromosom dan aneuploidy.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Paparan benzena umumnya berasal dari industri terkait pekerjaan maupun kebiasaan manusia dapat menimbulkan bahaya kesehatan baik pada manusia maupun pada hewan. Benzena dapat terserap ke dalam air tanah, masuk ke jaringan tumbuhan atau terpapar kepada hewan. Hal ini dapat membahayakan jika benzena masuk ke jaringan tumbuhan dan di konsumsi oleh hewan ternak. Pada hewan dan manusia keberadaan benzena dapat memicu kanker. Paparan benzena diserap melalui kulit, proses pernapasan, maupun proses metabolisme manusia. Keberadaan benzena mempengaruhi hasil metabolisme dalam hati sehingga hasilnya yang dibawa ke tulang belakang dan jaringan limfosit dapat memicu kanker pada manusia.

Perlunya pembatasan kontak fisik maupun pencegahan aktivitas yang melibatkan banyak paparan benzena. Pengurangan konsumsi bahan bakar dan mengganti dengan energi terbarukan menjadi salah satu mengurangi paparan benzena pada masyarakat. Selain itu, kebiasaan hidup sehat tanpa rokok juga penting agar kadar benzena dalam darah tetap rendah dan berada pada potensi risiko kanker yang sangat kecil.

5. DAFTAR PUSTAKA

[ACS] American Chemical Society. 2023. Benzene [internet]. Tersedia di: https://www.acs.org/molecule-of-the-week/archive/b/benzene.html

Amstrong TW, Zaleski RT, Konkel WJ and Parkerton TJ. 2002. A tiered approach to assessing children's exposure: a review of methods and data. Toxicology Letters 127:111-119.

Åstrand I. 1985. Uptake of solvents from the lungs. British Journal of Industrial Medicine 42:217–218.

[ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007. Public health statement: benzene. Department of Health and Human Services. Atlanta.

Blank IH and McAuliffe DJ. Penetration of benzene through human skin. 1985. Journal of Investigative Dermatology 85(6):522-526.

Chaiklieng S, Suggaravetsiri P, Kaminski N and Autrup H. 2019. Factors affecting urinary tt-Muconic acid detection among benzene exposed workers at

gasoline stations. Internasional Journal of Environmental Research and Public Health 16(21):1-11.

Davidson RD, Courage C, Rushton L and Levy L. 2001. Benzene in the environment: an assessment of the potential risks to the health of the population. Occupational and Environmental Medicine 58(1):2–13.

Harrison R, Saborit JMD, Dor F and Henderson R. 2010. WHO guidelines for indoor air quality. World Health Organization. Geneva.

Huff J. 2007. Benzene-induced cancers: abridged history and occupational health impact. International Journal of Occupational and Environmental Health 13(2):213-221.

Irons RD. 1985. Quinones as toxic metabolites of benzene. Journal of Toxicology and Environmental Health 16(5):673-678.

Johnson ES, Langård S and Lin YS. 2007. A critique of benzene exposure in the general population. Science of the Total Environment 374(2):183-198.

Jones AY, Anderson D and Parke DV. 1991. The toxicity of benzene and its metabolism and molecular pathology in human risk assessment. British Journal of Industrial Medicine 48(7):437-444.

Kasemy ZA, Kamel GM, Abdel-Rasoul GM and Ismail AA. 2019. Environmental and health effects of benzene exposure among egyptian taxi drivers. Hindawi Journal of Environmental and Public Health 2019(7):1-6.

Kirkeleit J, Riise T, Gjertsen BT, Moen BE, Bråtveit M and Bruserud Ø. 2008. Effects of benzene on human hematopoiesis. The Open Hematology Journal 2:87-102.

Marchetti F, Brenda E, Weldon RH, Li G, Zhang L, Rappaport SM, Schmid TE, Xing C, Kurtovich E and Wyrobek AJ. Occupational exposure to benzene and chromosomal structural aberrations in the sperm of Chinese men. Environmental Health Perspectives 120(2):229-234.

McHale C, Zhang L and Smith MT. 2011. Current understanding of the mechanism of benzene-induced leukemia in humans: implications for risk assessment. Carcinogenesis 33(2):240-252.

Neri M, Ugolini D, Bonassi S, Fucic A, Holland N, Knudsen LE, Sram RJ, Ceppi M and Bocchini V. 2006. Children's exposure to environmental pollutants and

biomarkers of genetic damage. II. Results of a comprehensive literature search and meta-analysis. Mutation Research 612(1):14–39.

PerMenNaKer (Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi) Nomor 13 Tahun 2011 tentang nilai ambang batas nilai ambang batas faktor fisika dan faktor kimia di tempat kerja.

Santos VPSd , Salgado AM, Torres AG and Pereira KS. 2015. Benzene as a chemical hazard in processed foods. International Journal of Food Science 2015:1-7.

Smith MT. 1996. Overview of benzene-induced aplastic anaemia. European Journal of Haematology 57(S60):107-110.

Ukoha PO, Ekere NR, Timothy CL and Agbazue VE. 2015. Benzene, Toluene, Ethylybenzene and Xylenes (Btex) contamination of soils and water bodies from alkyd resin and lubricants industrial production plant. Journal of Chemical Society of Nigeria 40(1):51-55.

Utomo S. 2012. Bahan berbahaya dan beracun (B-3) dan keberadaannya di dalam limbah. Jurnal Konversi 1(1):37-46.

Witz G, Zhang Z and Goldstein BD. 1996. Reactive ring-opened aldehyde metabolites in benzene hematotoxicity. Environtal Health Perspectives 4(6):1195-1199.

Zhang L, Eastmond DA and Smith MT. 2002. The nature of chromosomal aberrations detected in humans exposed to benzene. Critical Reviews in Toxicology 32(1):1-42.

Zhang L, Rothman N, Wang Y, Hayes RB , Bechtold W, Venkatesh P, Yin S, Wang Y, Dosemeci M, Li G, Lu W and Smith MT. 1996. Interphase cytogenetics of workers exposed to benzene. Environmental Health Perspectives 104(6):1325-1329.

Ziółkowska A and Wyszkowski M. 2010. Toxicity of petroleum substances to microorganisms and plants. Ecological Chemistry And Engineering S 17(1):73-82.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN
Journal of Environmental Sustainability Management

JPLB
Vol. 8 No. 1 (2024)
ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025
Tersedia di https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb

Studi perilaku pengelolaan sampah di Kapanewon Mlati, Kabupaten Sleman

Study of waste management behavior in Kapanewon Mlati, Sleman Regency

Muhammad Eko Hardito[1*], Agus Joko Pitoyo[2], Noorhadi Rahardjo[2]

[1]Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia
[2]Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Abstrak.
Aktivitas manusia dapat menghasilkan limbah padat yang disebut sampah. Potensi timbulan sampah di Kapanewon Mlati, Kabupaten Sleman cukup besar, bisa mencapai 60,55 ton/hari sehingga perlu dikaji lebih jauh. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sumber dan jenis sampah, cara pembuangan dan pengelolaan sampah di masyarakat untuk kemudian merumuskan strategi pengelolaan sampah berbasis masyarakat. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode penelitian survei yang menekankan pada survei data primer dan dilengkapi dengan data sekunder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis dan sumber sampah terbanyak yang timbul di lokasi penelitian adalah sisa makanan dan plastik. Cara pembuangan sampah pada ketiga aktivitas baik permukiman, perekonomian maupun perkantoran mayoritas melakukan pewadahan pada tempat sampah dan atau plastik kemudian membuang pada tempat tertentu. Pengelolaan sampah mayoritas masih menggunakan sistem pengumpulan dan pengangkutan dengan pihak ketiga. Masih sedikit permukiman yang memiliki lembaga pengelola sampah.

Kata kunci: perilaku, pengelolaan, sampah, Kapanewon Mlati

Abstract.
Human activities can produce solid waste called garbage. The potential for waste generation in Kapanewon Mlati, Sleman Regency is large, it can reach 60.55 tonnes/day. This study aims to determine the sources and types of waste, methods of waste disposal and management in the community, and then formulate a community-based waste management strategy. The method used in this study is a survey research method that emphasizes survey methods that emphasize primary data surveys and is complemented by secondary data. The results showed that the most common types and sources of waste that occurred at the study sites were food waste and plastic. The method of disposing of waste in the three activities, be it settlements, the economy or offices, is mostly used as a container for trash and/or plastic and then disposes of it in a certain place. The majority of waste management still uses a collection and transportation system with third parties. There are still a few settlements that have waste management institutions and/or movements.

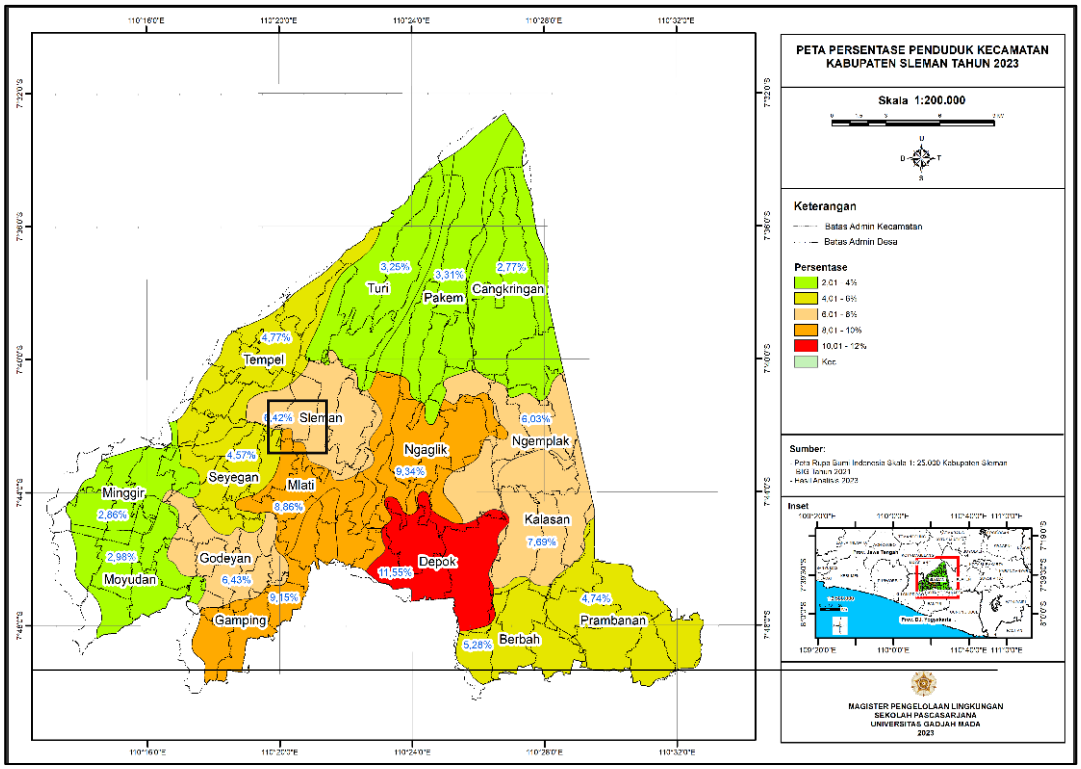
Keywords: behaviour, management, waste, Kapanewon Mlati

1. PENDAHULUAN

Jumlah penduduk Kabupaten Sleman pada tahun 2021 mencapai 1.136.474 jiwa (BPS Sleman 2022). Jumlah tersebut lebih banyak dari Kabupaten Bantul (956.513 jiwa) dan Kota Yogyakarta (415.509 jiwa). Dinamika penduduk berpengaruh pada timbulan sampah. Menurut Undang - Undang Nomor 18 Tahun 2008, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah setidaknya terbagi menjadi dua jenis yakni organik (berasal dari jasad dan makhluk hidup) dan anorganik (dari sampah komponen non hayati) (KemenPU 2010). Timbulan sampah di Kabupaten Sleman pada tahun 2021 mencapai 706,7 Ton / hari atau 2.332,34 m^3/hari. Apabila diakumulasi dalam waktu satu tahun, maka setidaknya sampah yang dihasilkan mencapai 851.304,89 m^3 (DLH Sleman 2022).

* Korespondensi Penulis
Email : muhammadeko97@mail.ugm.ac.id

Salah satu kapanewon di Kabupaten Sleman yang dekat dengan Kota Yogyakarta dan pusat pemerintahan Kabupaten Sleman ialah Kapanewon Mlati. Letak Kapanewon Mlati terbilang strategis karena dekat dengan pusat perkotaan dan pemerintahan. Penduduk Kapanewon Mlati di tahun 2021 mencapai 100.707 jiwa (BPS Sleman 2022). Apabila dikalkulasikan, jumlah penduduk Kapanewon Mlati sebesar 8,66 % dari jumlah penduduk Kabupaten Sleman.



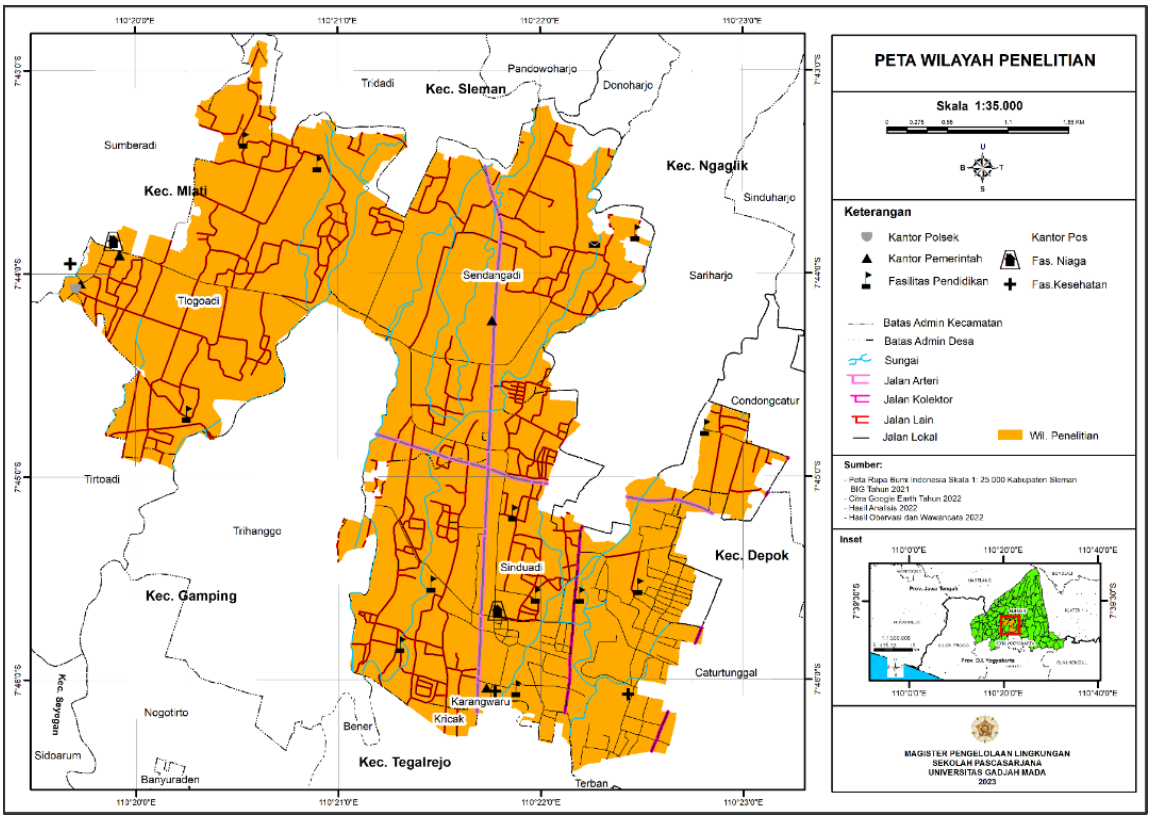
Gambar 1. Persentase penduduk di Kabupaten Sleman.

Pengelolaan sampah idealnya dilakukan dengan berbagai tahapan dimulai dari pewadahan, pengumpulan dan pemindahan, pengangkutan yang dilakukan di hulu, pengolahan dan pemrosesan akhir di hilir (Purnomo 2020). Pengolahan sendiri dapat dilakukan di TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) (SNI 19-2454-2002). Pengelolaan sampah di Kapanewon Mlati menjadi hal yang menarik untuk dikaji mengingat jumlah penduduk yang cukup besar namun jumlah lembaga pengelola sampah di masyarakat masih terbilang sedikit jika dibandingkan dengan Kapanewon lain ditambah dengan timbulan sampah liar dan adanya pembakaran sampah. Aktivitas pembakaran sampah juga terjadi di negara maju, contoh Canada Namun demikian tidak semua masyarakat melakukannya. Terdapat lembaga pengelola sampah dan aktivitas pengolahan sampah di sumber oleh masyarakat (Wang *et al.* 2022).

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Lokasi penelitian berada di Kapanewon Mlati, Kabupaten Sleman yang terletak pada koordinat 7°44'03" LS dan ± 111°6'30" - 110°19'45" BT (**Gambar 2**). Kapanewon Mlati memiliki luas 28,52 km^2 dan memiliki ketinggian 162 m di atas permukaan laut (mdpl) dan terdiri dari 5 desa dan 74 dusun. Namun demikian, hanya ada 3 kalurahan yang menjadi obyek penelitian, yakni Kalurahan Sinduadi dengan 31 Dusun, Kalurahan Sendangadi dengan 14 dusun dan Kalurahan Tlogoadi dengan 12 dusun.



Gambar 2. Lokasi penelitian di Kapanewon Mlati.

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode penelitian survei. Penekanan metode survei yang menekankan pada survei data primer, yang dilengkapi dengan data sekunder terhadap berbagai obyek kajian (Singarimbun dan Effendi 1995). Waktu yang diperlukan untuk penelitian kurang lebih adalah 6 bulan dimulai dari pengumpulan data sekunder dan data primer, analisis data, penyusunan laporan hasil penelitian dan persetujuan hasil penelitian. Bahan yang digunakan adalah peta administrasi Kapanewon Mlati Skala 1:25.000 dan citra pengindraan jauh. Peralatan yang digunakan adalah formulir isian data pengamatan dan *gadget*.

2.2. Prosedur analisis data

2.2.1. Pengambilan sampel

Pengambilan data primer dilakukan dengan melakukan survei dan observasi lapangan. Jumlah responden yang dijadikan sebagai sampel penelitian ditentukan dengan metode *slovin* seperti yang dapat dilihat pada **Persamaan 1** (Nalendra *et al.* 2021). Jumlah responden penelitian berdasarkan pada perhitungan dengan metode *slovin* dapat dilihat pada **Gambar 3.**

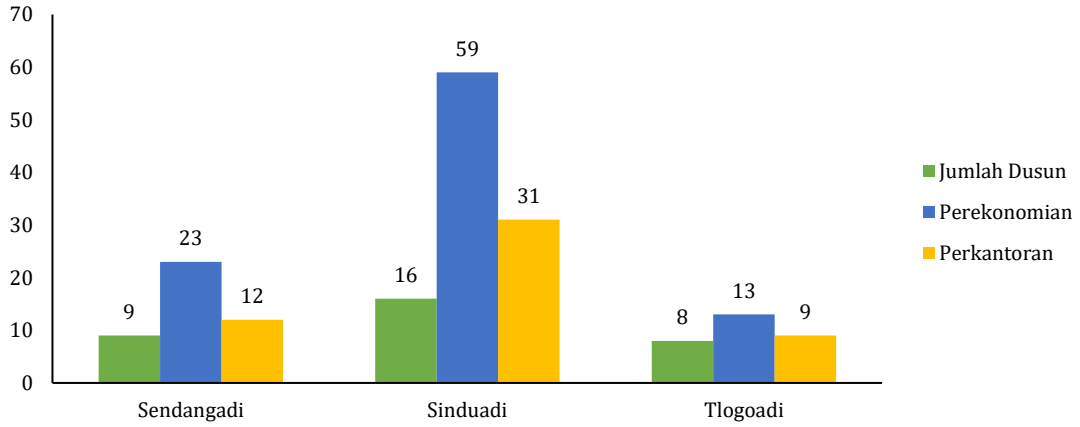
$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \quad \text{..... (1)}$$

Keterangan:

N = jumlah populasi

N = jumlah sampel minimal

E = *Error margin* (10%)



Gambar 3. Jumlah responden penelitian.

2.2.2. Analisis data primer

Data – data tersebut di dapatkan dari kuesioner dan observasi lapangan. Setelah didapatkan data primer seperti yang telah dijelaskan pada paragraf sebelumnya (data primer), kemudian dilakukan penghimpunan data. Data akan dikelompokkan sesuai jenis sumber. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan dan penyajian data dalam bentuk tabel maupun grafik dengan menggunakan *software* pengolah data numerik. Sebagian data disajikan dalam bentuk grafik.

2.2.3. Analisis rumusan strategi

Analisis strategi pengelolaan sampah berbasis masyarakat dilakukan dengan memperhatikan hasil analisis dari tujuan pertama hingga ketiga dengan metode analisis SWOT model kualitatif. Keluaran dari analisis SWOT ialah berupa matriks SWOT yang dapat menghasilkan empat sel atau tipe dimana kemungkinan alternatif strategi yaitu strategi S-O, strategi W-O, strategi W-T dan strategi S-T (Muta'ali 2015).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jenis dan sumber timbulan sampah

Sumber timbulan sampah dikelompokkan menjadi tiga jenis yakni dari aktivitas permukiman, aktivitas perekonomian dan aktivitas perkantoran. Aktivitas permukiman berbasis pada dusun. Berdasarkan hasil penghimpunan kuesioner di tiap dusun, sampah yang timbul dari aktivitas permukiman antara lain sisa makanan dan kayu ranting daun untuk kategori organik; plastik, kertas, karet, kaca, kain, logam dan jenis lain untuk kategori anorganik. Jenis lain yang dimaksud antara lain kardus, tisu, dan sebagainya. Sampah yang paling banyak ditemui adalah sampah sisa makanan untuk kategori organik serta sampah plastik untuk kategori anorganik.

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, terdapat berbagai jenis timbulan sampah dari aktivitas perekonomian dan perkantoran. Timbulan sampah dari aktivitas perekonomian berasal dari berbagai jenis sub aktivitas seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 1** dan timbulan sampah dari aktivitas perkantoran dapat dilihat pada **Tabel 2.**

Tabel 1. Jenis timbulan sampah pada aktivitas perekonomian.

Jenis usaha /jenis sampah	Sisa makanan	Kayu ranting	Plastik	Kertas	Karet	Kaca	Kain	Logam	Lain-lain
Warung kelontong	55	12	55	44	16	0	0	10	55
Kedai makanan	34	9	34	31	14	0	0	15	30
Minimarket	2	2	2	2	0	2	2	2	2
Kelompok pertokoan	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Restoran	1	1	1	1	1	0	0	1	1
Pasar	1	1	1	1	1	0	0	1	1
Penginapan dan hotel	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Rekreasi	1	1	1	1	0	1	0	1	1

Tabel 2. Jenis timbulan sampah pada aktivitas perkantoran.

Jenis kantor/jenis sampah	Sisa makanan	Kayu ranting	Plastik	Kertas	Karet	Kaca	Logam	Lain-lain
TK	18	15	18	18	0	0	0	13
SD/MI	4	4	4	4	4	0	4	4
SMP/MTs	4	4	4	4	4	0	4	4
SMA/SMK/MA	5	5	5	5	5	0	5	5
Perguruan Tinggi	2	2	2	2	2	0	2	2
Bank	18	8	18	18	0	0	0	15
Perkantoran	3	3	3	3	1	1	1	3

Jenis aktivitas perekonomian dan perkantoran mengacu pada pendataan yang termuat dalam Kabupaten Sleman Dalam Angka Tahun 2022 (BPS Sleman 2022). Berdasarkan **Tabel 1**, dapat dilihat bahwa jenis sampah yang muncul di seluruh jenis sub aktivitas perekonomian adalah sisa makanan untuk kategori organik dan plastik untuk kategori anorganik. Beberapa jenis sampah lain untuk kategori anorganik adalah kertas, karet, logam, kain dan jenis lain seperti kardus, tisu, *styrofoam* untuk sub aktivitas kelontong dan warung makan.

Berdasarkan **Tabel 2**, dapat dilihat bahwa jenis sampah yang muncul di seluruh jenis sub aktivitas perkantoran adalah sisa makanan untuk kategori organik, plastik dan kertas untuk kategori anorganik. Beberapa jenis sampah lain untuk kategori anorganik adalah karet, logam dan jenis lain seperti kardus, tisu. Tidak seluruh perkantoran memiliki tanaman sehingga timbulan sampah kayu ranting daun tidak berada di seluruh lokasi responden. Sebagai pembanding di negara Mesir, sampah yang paling banyak dihasilkan di aktivitas perkantoran dan pelayanan umum mayoritas adalah sampah organik dengan persentase 70 – 80% disusul kategori sampah anorganik yaitu plastik dan kertas (Emara 2022).

3.2. Cara pembuangan sampah

Pembuangan sampah dimulai dari pewadahan dan pembuangan pasca pewadahan atau cara membuang sampah itu sendiri. Cara pembuangan sampah dari setiap responden aktivitas permukiman dapat dilihat pada **Tabel 3.**

Tabel 3. Cara pembuangan sampah pada aktivitas permukiman.

Jenis tindakan	Cara	Kalurahan			Jumlah
		Sendangadi	Sinduadi	Tlogoadi	
Cara pewadahan sampah	Langsung	9	15	8	32
	Komunal	1	1	0	2
	Cara lain	0	0	0	0
Wadah sampah	Plastik	0	1	1	2
	Tempat sampah	3	6	3	12
	Kombinasi	5	9	4	18
Cara membuang sampah	Angkut	9	16	8	33
	Buang ke tanah	2	3	4	9
	Buang ke air	0	1	4	5
	Dibakar	4	4	3	11
	Cara lain	1	6	3	10

Berdasarkan **Tabel 3** dapat dilihat bahwa mayoritas responden melakukan pewadahan secara langsung, artinya pewadahan dilakukan di lokasi responden (rumah) (SNI 19-2454-2002). Wadah sampah yang digunakan oleh responden di rumah adalah tempat sampah dan plastik. Cara pembuangan sampah dari responden mayoritas adalah dengan pengangkutan sedangkan cara lain yang dimaksud adalah menyetorkan ke lembaga pengelola sampah, dijual ke pengepul dan sebagainya.

Tabel 4 menunjukkan cara responden di aktivitas perekonomian melakukan pewadahan dan pembuangan sampah di lokasi usaha. Pewadahan yang dilakukan mayoritas dengan pewadahan langsung di lokasi yang mayoritas menggunakan tempat sampah. Terdapat kegiatan usaha yang melakukan pewadahan secara komunal yakni pewadahan yang dilakukan di suatu tempat dalam satu sub wilayah (SNI 19-2454-2002). Mayoritas responden melakukan pengangkutan untuk sampah yang dihasilkan dengan kondisi tidak terpilah.

Tabel 5 menunjukkan cara responden di aktivitas perkantoran melakukan pewadahan dan pembuangan sampah dikantor. Pewadahan yang dilakukan mayoritas dengan pewadahan langsung di lokasi yang mayoritas menggunakan tempat sampah. Sub aktivitas TK dan sekolah mayoritas melakukan pemilahan di lokasi, sedangkan bank mayoritas tidak melakukan pemilahan.

Tabel 4. Cara pembuangan sampah pada aktivitas perekonomian.

Jenis tindakan	Cara	Jenis aktivitas					
		Kelontong	Kedai makan, restoran	Pasar	Pertokoan & minimarket	Hotel penginapan	Rekreasi
Cara pewadahan sampah	Langsung	53	35	0	3	3	0
	Komunal	2	0	1	0	0	1
	Cara lain	0	0	0	0	0	0
Wadah sampah	Plastik	6	7	0	0	0	0
	Tempat sampah	41	28	1	3	3	1
	Kombinasi	7	9	0	0	0	0
Cara membuang sampah	Angkut	53	32	1	3	3	1
	Buang ke tanah	0	0	0	0	0	0
	Buang ke air	0	0	0	0	0	0
	Dibakar	2	3	0	0	0	0
	Cara lain	5	5	0	0	0	0
Pemilahan	Terpilah	3	4	0	0	0	1
	Tidak terpilah	52	31	1	3	3	0

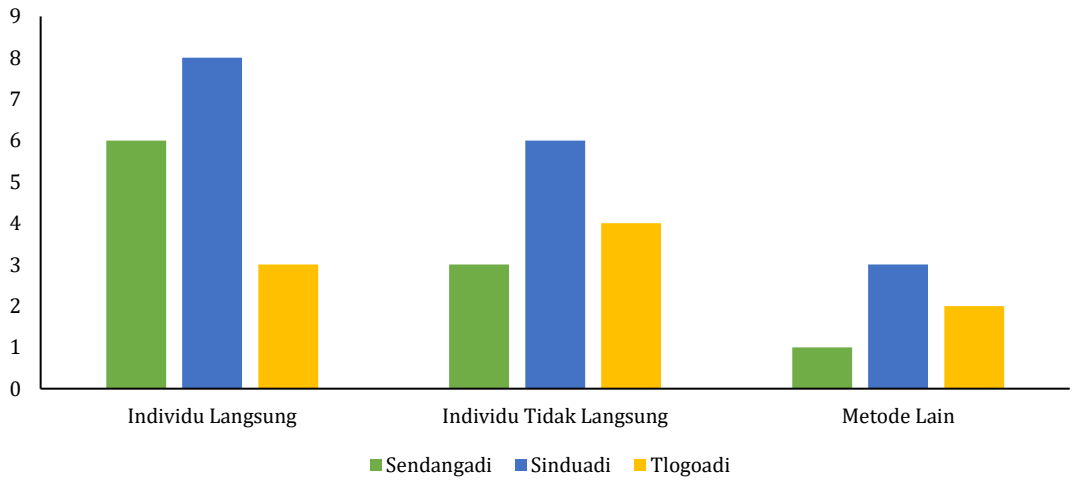
Tabel 5. Cara pembuangan sampah pada aktivitas perkantoran.

Jenis tindakan	Cara	Jenis aktivitas				
		TK	SD - SMA	PT	Bank	Perkantoran
Cara pewadahan sampah	Langsung	18	12	2	17	3
	Komunal	0	0	0	1	0
	Cara lain	0	0	0	0	0
Wadah sampah	Plastik	0	0	0	0	0
	Tempat sampah	13	9	2	12	3
	Kombinasi	5	3	0	6	0
Cara membuang sampah	Angkut	16	12	1	15	3
	Buang ke tanah	0	0	0	0	0
	Buang ke air	0	0	0	0	0
	Dibakar	1	0	1	0	0
	Cara lain	1	0	0	3	0
Pemilahan	Terpilah	16	10	0	2	1
	Tidak Terpilah	3	2	2	16	2

Berdasarkan **Tabel 3**, **Tabel 4** dan **Tabel 5** masih terdapat responden yang melakukan pembakaran sampah. Penelitian yang dilakukan oleh Bestar (2012) terkait studi kuantifikasi pencemaran udara akibat pembakaran sampah secara terbuka menunjukkan hasil bahwa gas CO dan CH_4 merupakan emisi yang paling banyak dihasilkan dimana kedua jenis gas tersebut berdampak pada pemanasan global.

3.3. Cara pengelolaan sampah

Pengelolaan sampah dalam pembahasan ini kembal dibagi ke dalam tiga jenis aktivitas. Terkait dengan cara pewadahan telah dijelaskan pada sub – bab sebelumnya. Pengelolaan sampah pada tahap pengumpulan di aktivitas permukiman lebih banyak menggunakan cara individu langsung yaitu pengumpulan yang dilakukan di lokasi penghasil sampah untuk selanjutnya dibuang di tempat pembuangan akhir (Damanhuri dan Padmi 2010). Selengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 4.** Terdapat juga responden yang menggunakan cara individu tidak langsung yakni pemindahan yang melalui lokasi khusus sebelum dibuang ke tempat pembuangan akhir (SNI 19-2454-2002). Metode lain yang dimaksud pada **Gambar 4** adalah bagi responden yang melakukan pembuangan sampah dengan cara ilegal seperti dibakar, dibuang ke sungai maupun permukaan tanah.

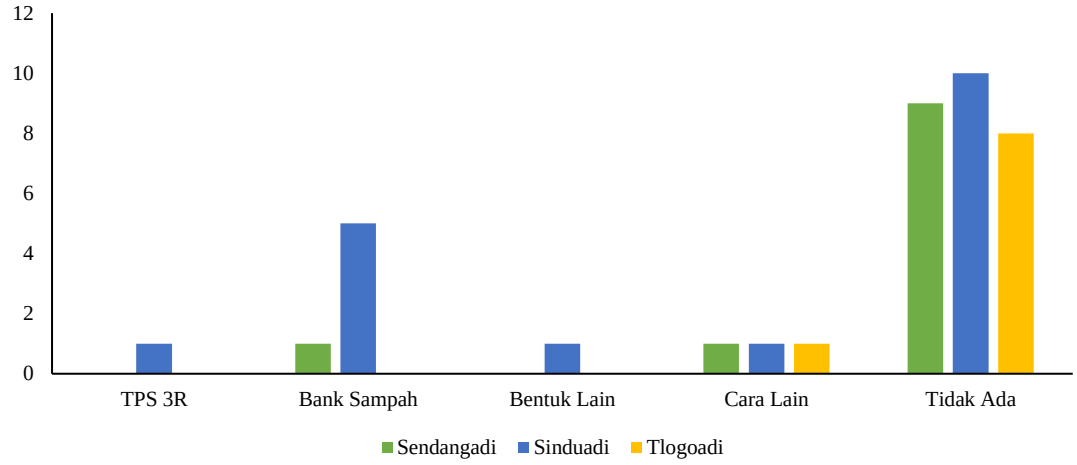


Gambar 4. Cara pengumpulan sampah di permukiman.

Banyaknya responden yang menggunakan metode pengumpulan individu langsung dan tidak langsung kemudian berpengaruh pada pola pengangkutan sampah dimana mayoritas menggunakan pola individu langsung dan depo (SNI 19-2454-2002).

Pola individu langsung yakni dari sumber kemudian diangkut menggunakan truk kemudian dibawa ke TPA sedangkan pola depo yakni dari sumber sampah menuju ke tempat transfer depo dengan kendaraan yang lebih kecil dari truk kemudian dari transfer depo dibawa ke TPA (Damanhuri dan Padmi 2010). Pengangkutan sampah dari responden mayoritas adalah 1 - 2 hari sekali (19 responden) disusul intensitas 3 – 5 hari sekali (13 responden). Biaya pengangkutan yang dibebankan kepada responden mayoritas berkisar antara Rp 10.000 hingga Rp 50.000.

Terkait dengan keberadaan lembaga pengelola sampah seperti yang tertera pada **Gambar 5**, mayoritas dusun belum memiliki lembaga pengelola sampah. Lembaga pengelola yang paling banyak ditemui adalah bank sampah yaitu tempat pemilahan dan pengumpulan sampah yang dapat didaur ulang dan/atau diguna ulang yang memiliki konsep menabung, dimana masyarakat menabung dalam bentuk sampah yang sudah dikelompokkan sesuai dengan jenisnya (Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 13 Tahun 2012). TPS 3R adalah tempat dilaksanakannya kegiatan pengumpulan, pemilahan, penggunaan ulang, daur ulang, dan pengolahan skala kawasan (PerMenPUPR Nomor 3/PRT/M/2013 Tahun 2013).



Gambar 5. Cara pengumpulan sampah di permukiman.

Berdasarkan hasil survei yang termuat dalam Kutanegara *et al.* (2018), perilaku rumah tangga dalam mengelola sampah mayoritas adalah dengan menyerahkan kepada pihak ketiga untuk mengangkut sampah dengan kondisi mayoritas tidak terpilah. Survei tersebut dilakukan hampir di semua wilayah di Indonesia. Artinya, kecenderungan pengelolaan sampah oleh masyarakat Kapanewon Mlati sama dengan kebanyakan masyarakat di skala nasional.

Beberapa negara di Eropa seperti Lithuania, Polandia, Latvia, Slovenia, Yunani Italia, Spanyol, Norwegia dan Inggris tidak hanya sekedar mengelola sampah. Selain dari sistem pengelolaan sampah sedemikian rupa yang dimiliki, negara – negara tersebut juga telah menerapkan konsep "*waste to energy*" (Malinauskaite *et al.* 2017). Negara seperti India melalui Pemerintah juga memiliki konsen terhadap pengelolaan sampah. Berbagai upaya pengelolaan telah dilakukan baik sampah organik maupun anorganik. Sampah organik melalui usaha pengomposan hingga *landfilling* untuk kemudian diteruskan pada metode *bio methanation* (Meena *et al.* 2023).

Cara pengelolaan sampah pada aktivitas perekonomian dan perkantoran dijelaskan pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara pada responden aktivitas perekonomian (**Tabel 6**), dapat dilihat bahwa mayoritas responden menggunakan pola pengumpulan sampah individu langsung dan individu tidak langsung. Pola pengangkutan mayoritas sejalan dengan pola pengumpulan yakni individu langsung dan depo (SNI 19-2454-2002).Hampir seluruh pelaku ekonomi membuang sampahnya setiap 1 – 2 hari sekali karena berpengaruh pada estetika tempat usaha. Karena volume sampah yang lebih besar dari aktivitas permukiman, mayoritas membayar biaya pengangkutan sebesar Rp 30.000 – Rp 50.000 untuk warung kelontong dan Rp 50.000 – Rp 100.000 untuk kedai makanan, pasar, hotel, penginapan serta rekreasi. Dikarenakan jumlah lembaga pengelola sampah yang masih minim (**Gambar 5**), maka sangat jarang responden melakukan kemitraan dengan lembaga pengelola sampah.

Tabel 7 menunjukkan cara pengelolaan sampah dari responden aktivitas perkantoran yang tidak jauh berbeda dengan aktivitas perekonomian mulai dari pola pengumpulan sampah, pola pengangkutan serta intensitas pengambilan sampah. Namun demikian dari segi biaya pengangkutan hampir semua perkantoran membayar sebesar Rp 30.000 – Rp 50.000 (lebih rendah dibandingkan kebanyakan responden di aktivitas perekonomian). Kemitraan terhadap lembaga pengelola sampah juga masih jarang seperti aktivitas perekonomian. Untuk sekolah terdapat satu sekolah yang memiliki gerakan pengelolaan sampah (SMA).

Berdasarkan **Tabel 6** dan **Tabel 7** dapat dilihat juga bahwa masih terdapat responden baik pelaku usaha maupun pengelola kantor yang melakukan pembakaran sampah. Pembakaran sampah dapat berdampak pencemaran udara (Bestar 2012).

Tabel 6. Cara pengelolaan sampah pada aktivitas pengelolaan perekonomian.

Jenis pengelolaan	Cara	Jenis aktivitas					
		Kelontong	Kedai makan & restoran	Pasar	Pertokoan dan minimarket	Hotel penginapan	Rekreasi
Pengumpulan akhir	Individu langsung	27	18	0	3	3	1
	Individu tidak langsung	16	12	0	0	0	0
	Komunal langsung	5	0	1	0	0	0
	Metode lain	9	6	0	0	0	0
Pola pengangkutan	Individu langsung	31	18	1	3	3	1
	Depo	17	12	0	0	0	0
	Pola lain	9	6	0	0	0	0
Intensitas pengangkutan	1 s.d. 2 hari sekali	39	27	1	3	3	1
	3 s.d. 5 hari sekali	10	5	0	0	0	0
	>5 hari sekali	4	4	0	0	0	0
Biaya pengangkutan	Rp 30.000 s.d. Rp 50.000	39	7	0	0	0	0
	Rp 50.001 s.d. Rp 100.000	7	18	0	1	2	0
	> Rp 100.000		3	1	2	1	1
	Jumlah lain		1	0	0	0	0
	Tidak ada	3	1	0	0	0	0
	Tidak tahu	7	1	0	0	0	0
Kelembagaan pengelola sampah di sekitar lokasi	TPS 3R	3	1	0	0	0	0
	Bank sampah	13	6	0	0	0	0
	Rumah kompos	0	0	0	0	0	0
	Bentuk lain	3	2	0	0	0	0
	Cara lain	5	2	0	0	0	0
	Tidak ada	38	26	0	0	0	0

 DOI: https://doi.org/10.36813/jplb.8.1.99-117

Tabel 7. Cara pengelolaan sampah pada aktivitas perkantoran.

Jenis pengelolaan	Cara	Jenis aktivitas				
		TK	**SD - SMA**	**PT**	**Bank**	**Perkantoran**
Pengumpulan akhir	Individu langsung	12	11	0	13	3
	Individu tidak langsung	5	1	1	3	0
	Komunal langsung	1	0	0	3	0
	Metode lain	1	0	1	0	0
Pola pengangkutan	Individu langsung	13	11	0	16	2
	Depo	4	1	1	3	1
	Pola lain	1	0	1	3	0
Intensitas pengangkutan	1 s.d. 2 hari sekali	13	12	2	13	1
	3 s.d. 5 hari sekali	5	0	0	6	0
	>5 hari sekali	3	0	0	0	0
Biaya pengangkutan	Rp 30.000 s.d. Rp 50.000	13	2	0	3	1
	Rp 50.001 s.d. Rp 100.000	1	6	0	9	2
	> Rp 100.000	0	0	1	0	0
	Jumlah lain	1	1	0	0	0
	Tidak ada	3	0	1	3	0
	Tidak tahu	0	3	0	2	0
Kelembagaan pengelola sampah di sekitar lokasi	TPS 3R	0	0	0	0	0
	Bank sampah	1	0	0	2	0
	Rumah kompos	0	0	0	0	0
	Bentuk lain	1	0	0	1	0
	Cara lain	0	1	0	0	0
	Tidak ada	16	11	0	15	0

3.4. Strategi pengelolaan sampah

Rumusan strategi pengelolaan sampah dilakukan dengan melihat berbagai fakta yang ada di lapangan dan kajian yang telah dilakukan untuk menjawab tujuan pertama hingga ketiga. Strategi pengelolaan sampah merupakan tujuan penelitian yang dapat menjadi alternatif penyelesaian dari permasalahan pengelolaan sampah yang ada di lokasi penelitian untuk tiga jenis aktivitas.

3.4.1. Strategi aktivitas permukiman

Strategi pengelolaan sampah di aktivitas permukiman dibagi menjadi 2 kategori berdasarkan keberadaan lembaga pengelola sampah, yakni kategori belum ada (**Tabel 8**) dan sudah ada (**Tabel 9**) lembaga pengelola sampah.

Tabel 8. Strategi pengelolaan sampah di lokasi yang belum memiliki lembaga pengelola sampah.

Internal / Eksternal	S (*Strength*)	W (*Weakness*)
	Strategi S – O	**Strategi W – O**
O (*Opportunity*)	1. Membentuk gerakan dan atau lembaga pengelola sampah 2. Mencari dan menentukan figur tokoh pengelola sampah	1. Sosialisasi pengenalan lembaga pengelola sampah 2. Menjalin komunikasi dan kerja sama dengan pihak ketiga
	Strategi S – T	**Strategi W - T**
T (*Threat*)	1. Kerja sama dengan pihak ketiga yang kredibel	1. Sosialisasi urgensi pengelolaan sampah

Tabel 9. Strategi pengelolaan sampah di lokasi yang telah memiliki lembaga pengelola sampah.

Internal / Eksternal	S (*Strength*)	W (*Weakness*)
	Strategi S – O	**Strategi W – O**
O (*Opportunity*)	1. Optimalisasi kinerja dan kapasitas lembaga pengelola sampah 2. Melakukan kerja sama dengan perusahaan pengelola sampah sebagai mitra	1. Promosi gerakan pengelolaan sampah yang telah dilakukan 2. Program regenerasi lembaga pengelola sampah
	Strategi S – T	**Strategi W - T**
T (*Threat*)	1. Perluasan kerja sama lembaga pengelola sampah dengan pelaku usaha 2. Pemilihan dan evaluasi terhadap pengepul yang akan dan telah bekerja sama	1. Sosialisasi benefit pengelolaan sampah

 DOI: https://doi.org/10.36813/jplb.8.1.99-117

Berdasarkan **Tabel 8**, strategi pengelolaan sampah banyak mengarah kepada pembangkitan kesadaran masyarakat akan pentingnya pengelolaan sampah. Strategi juga diarahkan agar masyarakat dapat membentuk lembaga pengelola sampah. Strategi pengelolaan sampah pada **Tabel 9** mengarah pada optimalisasi lembaga dan peningkatan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pengelolaan sampah. Peran dari pihak ketiga sangat penting dalam upaya pengelolaan sampah di aktivitas permukiman karena masyarakat memerlukan pihak ketiga sebagai pengangkut dan pengelola sampah lebih lanjut setelah dilakukan pengelolaan di skala masyarakat.

Berdasarkan hasil observasi lapangan, lembaga pengelola sampah banyak digerakkan oleh perempuan. Studi yang dilakukan di Ghana oleh Amoah *et al.* (2023) menunjukkan bahwa perempuan menegang peran penting dalam organisasi pengelola sampah. Apabila pemimpinnya seorang laki – laki, maka perempuan menjadi aktor utama karena memegang tugas yang penting di lembaga tersebut.

3.4.2. Strategi aktivitas perekonomian

Strategi pengelolaan sampah di aktivitas perekonomian dibagi menjadi 2 kategori berdasarkan jenis usaha, yakni kategori usaha masyarakat (warung kelontong dan kedai makanan) dan usaha korporasi (minimarket, hotel, penginapan, pasar, kelompok pertokoan).Perbedaan kedua kategori ada di cara pengelolaan usaha. Selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 10** dan **Tabel 11.**

Berdasarkan **Tabel 10**, strategi pengelolaan sampah pada pelaku usaha masyarakat lebih diarahkan pada cara – cara sederhana yang memberikan dampak positif bagi pengelolaan sampah di lokasi usaha. Usaha masyarakat biasanya berada di permukiman (hasil observasi) sehingga manajemen pengelolaan sampah bersamaan dengan masyarakat. Strategi bagi usaha korporasi seperti yang tertera pada **Tabel 11** (yang memiliki badan usaha) biasanya memiliki sakal yang lebih besar (hasil observasi) dan dari segi *cash flow* dimungkinkan lebih besar daripada usaha masyarakat sehingga strategi yang disarankan lebih daripada usaha masyarakat. Peran daripada pihak – pihak ketiga cukup penting dalam upaya pengelolaan sampah.

Tabel 10. Strategi pengelolaan sampah di usaha masyarakat.

Internal / Eksternal	S (*Strength*)	W (*Weakness*)
	Strategi S – O	**Strategi W – O**
O (*Opportunity*)	1. Kerja sama dengan lembaga pengelola sampah berbasis masyarakat 2. Melakukan pemilahan sederhana dan menyerahkan sampah anorganik pada pihak ketiga	1. Kerja sama dengan perusahaan pengolah sampah dan atau pengepul 2. Kerja sama dengan lembaga pendidikan tinggi untuk edukasi pengelolaan sampah di lokasi usaha
	Strategi S – T	**Strategi W - T**
T (*Threat*)	1. Melakukan manajemen sampah dengan lebih baik (tidak hanya kumpulkan lalu buang)	1. Melakukan pengangkutan sampah secara rutin

Tabel 11. Strategi pengelolaan sampah di usaha korporasi.

Internal / Eksternal	S (*Strength*)	W (*Weakness*)
	Strategi S – O	**Strategi W – O**
O (*Opportunity*)	1. Kerja sama dengan lembaga pengolah sampah atau pengepul 2. Melakukan pemilahan sampah menjadi beberapa kategori	1. Melakukan Kerja sama dengan lembaga pendidikan tinggi untuk edukasi pengelolaan sampah
	Strategi S – T	**Strategi W - T**
T (*Threat*)	1. Melakukan manajemen sampah yang lebih baik 2. Kerja sama dengan pihak ketiga yang kredibel	1. Melakukan pengangkutan sampah secara rutin

 DOI: https://doi.org/10.36813/jplb.8.1.99-117

3.4.3. Strategi aktivitas perkantoran

Strategi pengelolaan sampah di aktivitas perkantoran mencakup seluruh aktivitas perkantoran baik bank, sekolah maupun instansi pemerintah. Strategi diarahkan pada optimalisasi pengelolaan sampah di lingkungan perkantoran mulai dari pembentukan gerakan pengelolaan sampah serta menjalin kerja sama dengan berbagai pihak yang dapat membantu pengelolaan sampah di perkantoran. Selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 12.**

Tabel 12. Strategi pengelolaan sampah aktivitas perkantoran.

Internal / Eksternal	S (*Strength*)	W (*Weakness*)
	Strategi S – O	**Strategi W – O**
O (*Opportunity*)	1. Membuat lembaga dan atau gerakan pengelolaan sampah skala perkantoran 2. Adanya pemilahan sampah di seluruh aktivitas perkantoran	1. Kerja sama dengan pihak ketiga
	Strategi S – T	**Strategi W - T**
T (*Threat*)	1. Pembuatan regulasi dan sanksi terkait pembuangan sampah 2. Seleksi Pemilihan jasa pengangkut / pengepul	1. Melakukan pembuangan secara terpilah dan mengusahakan adanya pengolahan sampah

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Timbulan sampah yang dihasilkan dari aktivitas masyarakat di permukiman, perkantoran dan perekonomian beragam. Sampah organik jenis sisa makanan dan sampah anorganik jenis plastik dan kertas menjadi yang paling banyak. Pembuangan sampah masih mengandalkan jasa pengangkut. Jumlah lembaga pengelola sampah masih minim begitu juga dengan upaya pengelolaan sampah di sumber. Dengan kondisi semacam itu, maka dari sekitar 60,55 ton sampah per hari yang tereduksi di sumber sangat minim dan mayoritas akan masuk ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang sudah semakin penuh.

Untuk dapat meningkatkan kualitas pengelolaan sampah di Kapanewon Mlati perlu adanya upaya dari seluruh pihak dari rumah tangga, tokoh masyarakat, pelaku usaha, hingga pemerintah. Masing–masing dapat menjalankan perannya dalam upaya pengelolaan sampah.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman yang telah membantu dalam penyusunan kajian pengelolaan sampah di Kapanewon Mlati.

6. DAFTAR PUSTAKA

Amoah JO, Britwum AO, Essaw DW and Mensah J. 2023. Solid waste management and gender dynamics: evidence from rural Ghana. Research in Globalization 6 (2023):100111.

[BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Sleman. 2022. Kabupaten Sleman Dalam Angka 2022. Sleman: BPS Kabupaten Sleman.

Bestar N. 2012. Studi dan kuantifikasi emisi pencemar udara akibat pembakaran sampah rumah tangga secara terbuka di Kota Depok [Skripsi]. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.

Damanhuri E dan Padmi T. 2010. Diktat kuliah TL-3104: pengelolaan sampah. Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung. Bandung.

[DLH] Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman. 2022. Data timbulan sampah di Kabupaten Sleman. Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman. Kabupaten Sleman.

Emara K. 2022. Sustainable solid waste management in rural areas: a case study of Fayoum governorate, Egypt. Energy Nexus 9 (2023):100168.

[KemenPU] Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. Modul pengelolaan sampah berbasis 3R. Badan Penelitian dan Pengembangan dan Pengembangan Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman. Jakarta.

Kutanegara PM, Pituyo AJ, Kiswantoro E, Sumini dan Nugroho YP. 2018. Membangun masyarakat Indonesia peduli lingkungan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Malinauskaite J, Jouhara H, Czajczyńska D, Stanchev P, Katsou E, Rostkowski P, Thorne RJ, Colón J, Ponsá S, Al-Mansour F, Anguilano L, Krzyżyńska R, López IC, Vlasopoulos A and Spencer N. 2017. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. Energy 141 (2017):2013-2044.

Meena MD, Dotaniya ML, Meena BL, Rai PK, Antil RS, Meena HS, Meena LK, Dotaniya CK, Meena VS, Ghosh A, Meena KN, Singh AK, Meena VD, Moharana PC, Meena SK, Srinivasarao Ch, Meena AL, Chatterjee S, Meena DK, Prajapat M and Meena RB. 2023. Municipal solid waste: opportunities, challenges and management policies in india: a review. Waste Management Bulletin 1(1):4–18.

Muta'ali L. 2015. Teknik analisis regional: untuk perencanaan wilayah, tata ruang dan lingkungan. Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPFG) UGM. Yogyakarta.

Nalendra ARA, Rosalinah Y, Priadi A, Subroto I, Rahayuningsih R, Lestari R, Kusumandari S, Yuliasari R, Astuti D, Latumahina MW dan Zede VA. 2021. Statistika seri dasar dengan SPSS. Media Sains Indonesia. Bandung.

[PerMenLH] Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2012 tentang pedoman pelaksanaan reduce, reduce, recycle melalui bank sampah.

[PerMenPUPR] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 3/PRT/M/2013 Tahun 2013 tentang penyelenggaraan prasarana dan sarana persampahan dalam penanganan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga.

Purnomo CW. 2020. Solusi pengelolaan sampah kota. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Singarimbun M dan Efendi S. 1995. Metode penelitian survai. LP3ES Indonesia. Jakarta.

[SNI] Standar Nasional Indonesia Nomor 19-2454-2002 Tahun 2002 tentang tata cara teknik operasional pengelolaan sampah perkotaan.

[UU] Undang – Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang pengelolaan sampah.

Wang Z, Chen Z and An C. 2022. A review on solid waste management in Canadian First Nations communities: policy, practices, and challenges. Cleaner Waste Systems 4:100074.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY MANAGEMENT

ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025

Vol. 8 No. 1, April 2024

Analisis kinerja boezem dalam penurunan parameter air limbah: studi kasus Morokrembangan, Surabaya, Indonesia (Agus Slamet, Putri Brikke Sukma Hartati, Ervin Nurhayati, Andriyan Yulikasari)	1-12
"SHARK": Mesin sederhana pengolah sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif kapal Slerek di Pantai Pengambengan, Bali (Fenny Crista Anastasia Panjaitan, Pinky Natalia Samanta)	13-25
Analisis permasalahan penerapan teknologi tangki septik komunal di RW 07 Tamansari, Kelurahan Lebak Siliwangi, Kota Bandung (Gena Gisela Kurnia, Dhafin Qinthara, Muhamad Firqi Ramadhan, Nur Asifah, Taufik Rizki Ramadhan, Mila Dirgawati)	26-37
Emisi gas rumah kaca (CO_2 dan CH_4) pada kawasan mangrove di Pesisir Desa Poka, Kota Ambon (Rahman, Irma Kesaulya, La Ikbal)	38-52
Penentuan ruang terbuka hijau (RTH) menggunakan drone dan analisis kesesuaian di Kecamatan Serang, Banten (Aditya Rahman, Rika Fitriani, Usman)	53-70
Pengaruh limbah cair industri kerupuk kulit terhadap kualitas air Sungai Pesing, Kelurahan Segoroyoso, Bantul (Miftahul Farhana Az-Zahro, Herwin Lukito, Titi Tiara Anasstasia)	71-86
Dampak pencemaran benzena terhadap lingkungan serta mekanismenya dalam memicu kanker: sebuah tinjauan literatur (Davit Aldi)	87-98
Studi perilaku pengelolaan sampah di Kapanewon Mlati, Kabupaten Sleman (Muhammad Eko Hardito, Agus Joko Pitoyo, Noorhadi Rahardjo)	99-117

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