

Volume 4 Nomor 3 Tahun 2020
D e s e m b e r 2 0 2 0

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 : <http://www.bkpsl.org/ojswp/index.php/jplb>

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

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

Penanggung Jawab

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

Dewan Editor

Lingkungan Geofisik dan Kimia

Prof. Tjandra Setiadi, Ph.D (ITB)

Dr. M. Pramono Hadi, M.Sc (UGM)

Lingkungan Sosial dan Humaniora

Prof. Dr.Ir. Emmy Sri Mahreda, M.P (ULM)

Andreas Pramudianto, S.H., M.Si (UI)

Lingkungan Biologi (Biodiversity)

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

Dr. Suwondo, M.Si (Unri)

Kesehatan Masyarakat dan Kesehatan Lingkungan

Dr. Drs. Suyud Warno Utomo, M.Si (UI)

Dr. Indang Dewata, M.Sc (UNP)

Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan

Dr. Ir. Agus Slamet, DiplSE, M.Sc (ITS)

Dr. Ir. Sri Utami, M.T (UB)

Ketua Editor Pelaksana

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

Asisten Editor

Dr. Melati Ferianita Fachrul, M.Si (Usakti)

Gatot Prayoga, 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 : <http://www.bkpsl.org/ojswp/index.php/jplb>

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

Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL) se-Indonesia bekerjasama dengan Pusat Penelitian Lingkungan Hidup – Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor (PPLH-LPPM, 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.

Life cycle assessment (LCA) kegiatan bank sampah di pedesaan (Bank Sampah Asoka Berseri, Desa Sokosari, Tuban)

T. T. Anasstasia^{1*}, M. M. Azis²

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

²Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Abstrak.

Life Cycle Assessment (LCA) adalah salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengevaluasi sistem pengelolaan sampah berdasarkan nilai potensi dampak yang dihasilkan. Bank Sampah Asoka Berseri di Kabupaten Tuban merupakan salah satu contoh unit pengolahan sampah yang bertujuan untuk mengurangi potensi dampak dari timbulan sampah secara kualitas maupun kuantitas di wilayah pedesaan. Tujuan studi ini adalah menghitung dan mengevaluasi potensi dampak lingkungan yang dihasilkan dari program bank sampah, kemudian dibandingkan dengan penanganan sampah konvensional yang dilakukan oleh masyarakat. Metode yang digunakan berdasarkan CML *Baseline v4.4* dan 14000 standar ISO, meliputi *goal and scope*, *life cycle inventory (LCI)*, *life cycle impact assessment (LCIA)* dan interpretasi. Simulasi LCA dilakukan dengan *Software OpenLCA* untuk menghitung nilai potensi dampak dari setiap kilogram sampah yang dihasilkan. Berdasarkan hasil simulasi, setiap 1 kg sampah yang dikelola oleh bank sampah menghasilkan potensi dampak pemanasan global lebih rendah (6,395 kg CO₂ eq.) dibandingkan dengan penimbunan (13,057 kg CO₂ eq.) dan pembakaran (10,850 kg CO₂ eq.). Pengolahan sampah lebih lanjut menjadi RDF dan kompos di bank sampah berpotensi menghasilkan dampak lingkungan lebih rendah dan menambah pendapatan masyarakat.

Kata kunci: LCA, bank sampah, pedesaan

Abstract.

Life Cycle Assessment (LCA) is a method that can be used to evaluate the waste management system based on the potential impact produced. The Asoka Berseri Waste Bank in Tuban Regency is an example of a waste processing unit that aims to reduce the possible effects of waste generation both in quality and quantity in rural areas. This study aimed to calculate and evaluate the potential environmental impacts from the waste bank, then compared it with conventional waste management carried out by the community. The method used was based on CML *Baseline v4.4* and ISO 14000 standards, including *goal and scope*, *life cycle inventory (LCI)*, *life cycle impact assessment (LCIA)* and interpretation. The LCA simulation was carried out with the *OpenLCA* software to calculate the value of the potential impact of each kilogram of waste produced. Based on the simulation results, every 1 kg of waste managed by the waste bank produced a lower potential global warming impact (6.395 kg CO₂ eq.) than open dumping (13.057 kg CO₂ eq.) and open burning (10.850 kg CO₂ eq.). Further processing of solid waste into RDF and compost at the Waste Bank present a lower potential environmental impact and increase community income.

Keywords: LCA, waste bank, rural area

1. PENDAHULUAN

Keterbatasan pengelolaan sampah di Kabupaten Tuban khususnya di wilayah pedesaan menjadikan sistem pengelolaan sampah menjadi tidak terkendali. Kesadaran dan pengetahuan masyarakat dalam memilah dan mengelola sampah yang rendah menyebabkan penimbunan sampah secara terbuka (*open dumping*) menjadi tumpuan sistem pengelolaan sampah. Menurut Luong *et al.* (2013) dan Abbas *et al.* (2017), *open dumping* terjadi akibat rendahnya tingkat pengumpulan, pemilahan, pendanaan dan kualitas sumber daya manusia dalam pengelolaan sampah. Pengelolaan sampah di Kabupaten Tuban masih bertumpu pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Gunung

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

Panggung. Total timbulan sampah yang dibuang ke TPA Gunung Panggung mencapai 50 ton/hari dengan komposisi berupa sampah makanan (55,58%), sampah kebun (19,11%), sampah plastik (9,68%), sampah kertas (5,02%), sampah kayu (0,06%), sampah kain/tekstil (1,55%), sampah logam (0,08%), sampah kaca/gelas (3,61%) dan sampah *diapers* (5,30%) (Ummatin *et al.* 2019).

Desa Sokosari merupakan salah satu wilayah di Kabupaten Tuban yang memiliki jumlah penduduk sebanyak 7.794 jiwa (2.445 KK) dan tergolong sebagai wilayah pedesaan (BPS Kabupaten Tuban 2019). Penanganan sampah di Desa Sokosari masih didominasi oleh penimbunan sampah secara terbuka (**Gambar 1**). Pemerintah desa telah menyediakan lahan untuk tempat pembuangan sampah, hanya saja masih digunakan secara terbatas untuk penampungan sampah dari pasar, sapuan jalan dan beberapa rumah penduduk. Masyarakat pedesaan umumnya hanya menumpuk dan membakar sampah di lahan kosong atau pekarangan rumah, bahkan beberapa memanfaatkan sampah organik dari sisa dapur dan sisa makanan untuk pakan ternak seperti sapi, kambing, ayam, bebek, dsb. Selain itu, masih banyak sampah yang teronggok di sungai, saluran irigasi dan dibakar begitu saja. Sampah yang ditimbun secara terbuka berpotensi menghasilkan gas-gas hasil dekomposisi seperti CH_4 , H_2S dan CO_2 yang dapat terlepas ke atmosfer (Bailie *et al.* 1999; Tchobanoglous and Kreith 2019). Sampah yang dibakar secara terbuka berpotensi melepaskan gas-gas seperti CO_2 , CH_4 , CO , SO_x , *particulate matter* (PM), dsb. (EPA 2001).



Gambar 1. Tempat penimbunan sampah terbuka di Desa Sokosari.

Sistem pengelolaan sampah yang terbatas menggambarkan rendahnya perhatian pemerintah terhadap kondisi lingkungan dan sanitasi masyarakat. Pemerintah perlu menyediakan fasilitas/infrastruktur yang memadai dan melakukan pendekatan simultan dari berbagai aspek untuk menentukan sistem pengelolaan yang berkelanjutan. Bank sampah merupakan salah satu solusi yang dapat diterapkan dalam sistem pengelolaan sampah. Bank sampah memiliki konsep *social engineering* atau berbasiskan pada masyarakat untuk tujuan mengelola dan mengurangi sampah (Wijayanti and Suryani 2015). Bank sampah dapat meningkatkan kesadaran masyarakat dalam memilah sampah (Wulandari *et al.* 2017; Pambudi *et al.* 2020) dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui hasil penjualan sampah yang telah dipilah (Suardi *et al.* 2018). Beberapa penelitian mengklaim bahwa keberadaan bank sampah dapat mereduksi sekitar 0,13% sampah yang dibuang ke TPA (Budihardjo *et al.* 2019; Warmadewanthi and Haqq 2019). Hal ini berpotensi untuk menurunkan lindi sampah yang dihasilkan dari kandungan air pada sampah dan presipitasi yang melewati sampah yang ditimbun (Komilis and Athinotou 2014). Lindi sampah biasanya berbau tidak sedap dan mengandung konstituen pencemar (COD, BOD, TOC dan nitrat) dalam konsentrasi tinggi (Tchobanoglous and Kreith 2019).

Desa Sokosari merupakan salah satu wilayah di Kabupaten Tuban yang telah menerapkan bank sampah. Bank sampah di desa ini diberi nama Bank Sampah Asoka Berseri yang telah ada sejak tahun 2016. Pada studi ini, Bank Sampah Asoka Berseri dijadikan sebagai percontohan dalam proses penelitian. Penelitian ini menunjukkan *Life Cycle Assessment* (LCA) sebagai salah satu *tool* yang dapat digunakan untuk menghitung dan menganalisis potensi dampak lingkungan dari pengelolaan sampah, khususnya untuk mengetahui nilai potensi pemanasan global apabila bank sampah diterapkan di lingkungan pedesaan. LCA sudah diterapkan untuk menghitung potensi dampak pada beberapa sistem pengelolaan sampah dan untuk pemilihan sistem pengelolaan sampah yang paling ramah lingkungan (Liamsanguan and Gheewala 2008; Abeliotis 2011; Bernstad *et al.* 2011). Hasil interpretasi dan rekomendasi dari simulasi LCA diharapkan mampu memberikan gambaran dan masukkan dalam meningkatkan tata kelola sampah yang berkelanjutan di wilayah pedesaan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Lokasi penelitian adalah rumah warga pelanggan bank sampah (7°6'57,97"LS; 111°56'46,03"BT) dan kantor Bank Sampah Asoka Berseri (7°6'47,31"LS; 111°56'53,26"BT) yang terletak di Desa Sokosari, Kecamatan Soko, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur. Inventarisasi data sampah dilakukan pada Januari-Maret 2020.

2.2. Prosedur analisis data

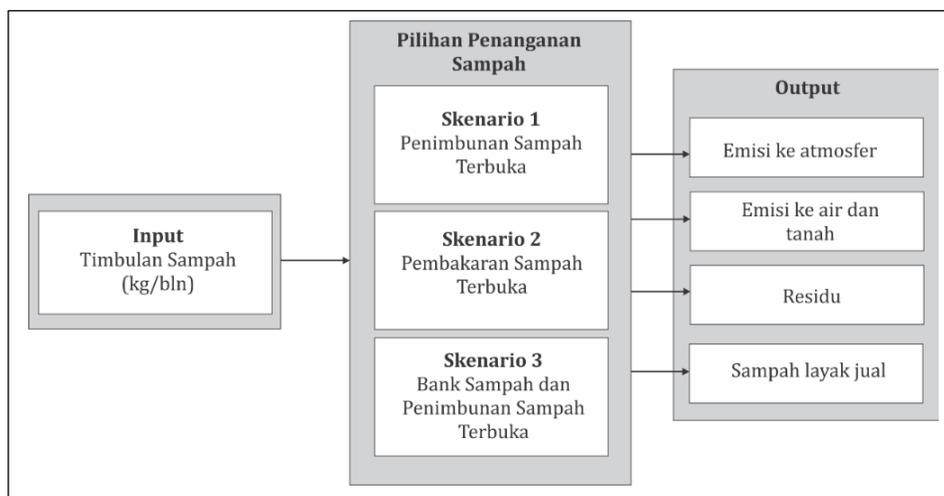
Studi ini dilaksanakan dengan tahapan observasi, studi literatur, analisis data dan penarikan kesimpulan. Metode analisis data dilaksanakan berdasarkan CML *Baseline* v4.4 dan standar seri ISO 14000 tentang analisis *Life Cycle Assessment* yang meliputi *goal and scope definition*, *life cycle inventory* (LCI), *life cycle impact assessment* (LCIA) dan interpretasi. Perhitungan LCA dilakukan dengan *software* OpenLCA menggunakan *data inventory* yang diperoleh dari hasil observasi dan perhitungan.

2.2.1. *Goal and scope definition*

Goal dari penelitian ini adalah menilai dan membandingkan potensi dampak lingkungan dari pengelolaan sampah sebelum dan sesudah diterapkannya Bank Sampah Asoka Berseri. Terdapat beberapa skenario yang dibandingkan yaitu:

- Skenario 1 : Penimbunan seluruh sampah di lahan penampungan sampah secara terbuka. Luas lahan penampungan sampah 484,84 m².
- Skenario 2 : Pembakaran seluruh sampah secara terbuka.
- Skenario 3 : Sampah layak jual (kantong plastik, plastik keras, kertas, karet, logam) dikelola oleh bank sampah dan sampah tidak layak jual (sisa dapur, sapuan jalan dan sampah taman/pekarangan) ditimbun di lahan penampungan secara terbuka.

Scope dari penelitian yaitu *gate to gate*, mulai dari sampah dihasilkan sampai akhir perlakuan sampah. Unit fungsi sebagai basis perhitungan dalam studi LCA ini adalah setiap 1 kg sampah domestik yang dikelola. *System Boundary* atau batasan sistem penelitian ini sesuai pada **Gambar 2**.



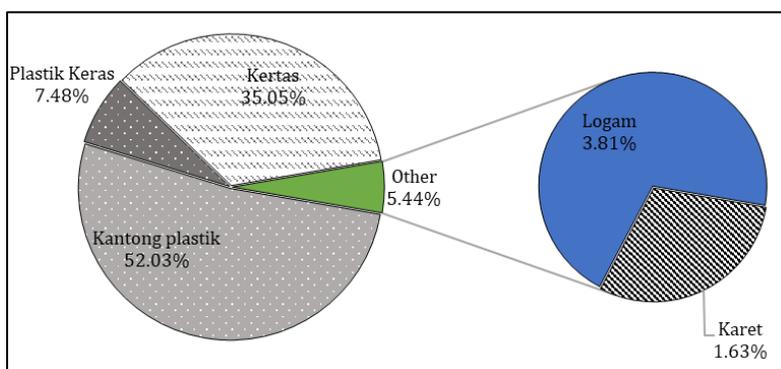
Gambar 2. Batasan sistem penelitian.

2.2.2. Life cycle inventory (LCI)

Tahap LCI ditujukan untuk membangun model sistem yang berupa model aliran dari sistem teknis dengan jenis batas sistem tertentu. Data yang digunakan terdiri dari data primer dan sekunder. Pemodelan sistem menggunakan *software* OpenLCA dan *database* Ecoinvent.

a. Data input

Estimasi jumlah timbunan sampah dan komposisi sampah ditentukan berdasarkan SNI 19-3964-1994 dengan metode *purposive sampling*. Potensi timbunan sampah di Desa Sokosari rata-rata sebesar 1,52-1,68 kg/hari/KK dengan estimasi total timbunan sampah adalah 3,27 ton/hari. Komposisi sampah terdiri dari dua jenis yaitu sampah tidak layak jual atau STJ (74,7%) dan sampah layak jual atau SLJ (25,3%). Sampah layak jual mencakup kantong plastik, gelas dan botol plastik, ember plastik, kertas, kardus, buku, glangsing, kaleng, besi, karet dan kain bekas. Sampah tidak layak jual meliputi sampah sisa makanan, sampah sisa dapur dan sampah pekarangan. Data komposisi sampah selama tahun 2018-2019 di Bank Sampah Asoka Berseri disajikan pada **Gambar 3**, sedangkan karakteristik sampah di Desa Sokosari beserta nilai *ultimate* sampah yang diperoleh dari Phyllis2 (2020) disampaikan melalui **Tabel 1**.



Gambar 3. Komposisi sampah di Bank Sampah Asoka Berseri.

Tabel 1. Karakteristik sampah di Desa Sokosari, Kabupaten Tuban.

Jenis sampah	Berat basah (kg)	Berat kering (kg)	<i>Ultimate composition-dry basis (kg)*</i>					
			C	H	N	O	S	Ash
Organik	926,58	426,22	179,40	23,14	8,01	133,15	1,75	80,77
Kantong plastik	163,29	132,10	102,25	17,04	0,13	2,25	0,13	10,30
Botol plastik	23,46	22,61	15,49	1,81	0,04	4,95	0,02	0,31
Kertas	109,98	78,42	33,13	4,99	0,20	31,85	0,08	8,17
Karet	5,13	5,10	1,29	0,13	0,01	1,27	0,01	2,40
Logam	11,96	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total	1.235,27	692,98	364,35	50,02	8,37	168,37	2,00	94,26

b. Data output

Neraca massa proses pembakaran sampah mengikuti **Persamaan 1**. MSW_b (kg) adalah jumlah sampah yang dibakar. Estimasi jumlah emisi yang dilepaskan ke atmosfer ditentukan dengan **Persamaan 2** dan **Persamaan 3**, serta faktor emisi menggunakan standar *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2006) dan *CML Baseline*. Residu sisa pembakaran diperoleh dari kadar abu (kg) dalam sampah.

$$MSW_b = Emission_{i,j} + Residue \dots \dots \dots (1)$$

$$Emission = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

IW_i = Jumlah sampah yang dibakar (Gg/th)

EF_i = Faktor emisi untuk setiap jenis sampah (kg/Gg sampah)

10^{-6} = Konversi dari kilogram ke gigagram

i = Kategori atau jenis sampah yang dibakar

$$CO_2 \text{ Emission} = MSW \times \sum_j (WF_j \times dm_j \times CF_j \times FCF_j \times OF_j) \times 44/12 \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

$CO_2 \text{ Emission}$ = Emisi karbon dioksida (Gg/tahun)

WF_j = Fraksi jenis sampah (dalam berat basah)

dm_j = Kandungan bahan kering di dalam komponen

CF_j = Fraksi karbon dalam bahan kering

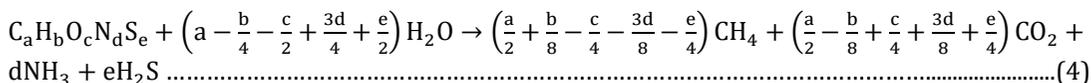
FCF_j = Fraksi karbon fosil dalam total komponen karbon

OF_j = Faktor oksidasi

$44/12$ = Faktor konversi dari C ke CO_2

J = Komponen sampah

Berdasarkan **Gambar 2** dan **Tabel 1**, diketahui bahwa sampah kertas dan organik merupakan sampah yang cepat terurai apabila ditimbun di lahan terbuka. Gas dari proses dekomposisi sampah Skenario 1 ditentukan berdasarkan formula $C_{485,39}H_{792,44}O_{192,28}N_{8,37}S$. Untuk Skenario 3, penimbunan sampah organik menggunakan formula $C_{274,04}H_{420,40}O_{174,36}N_{9,19}S$. Estimasi gas yang dihasilkan ditentukan dengan **Persamaan 4** (Achinas and Euverink 2016).



2.2.3. Asumsi-asumsi

Beberapa asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Lindi yang dihasilkan dari Skenario 1 ditentukan berdasarkan 25% *moisture content* dan 15% air hujan yang masuk ke dalam timbunan sampah.

- Data transportasi dari sumber ke bank sampah dan penggunaan bahan bakar untuk pembakaran sampah tidak masuk dalam perhitungan karena pengangkutan sampah menggunakan gerobak.

Data *inventory* (input maupun *output*) dari tiga skenario yang digunakan disajikan secara lengkap pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 2. *Data inventory* (input).

Skenario	Data input (kg/bulan)
Penimbunan sampah keseluruhan	Sampah layak jual (SLJ):
Pembakaran sampah terbuka (<i>open burning</i>)	Kantong plastik = 163.29
Bank sampah dan penimbunan sampah organik terbuka	Botol plastik = 23.45
	Kertas = 109.98
	Karet = 5,125
	Logam = 11.96
	Organik = 926.58

Tabel 3. *Data inventory* (output).

Skenario	Data output	
Penimbunan sampah keseluruhan	CH ₄	199,77 kg/bulan
	CO ₂	335,66 kg/bulan
	NH ₃	6,84 kg/bulan
	H ₂ S	1,46 kg/bulan
	Lindi	230,10 liter/bulan
Pembakaran sampah terbuka (<i>open burning</i>)	CH ₄	7,89 kg/bulan
	CO ₂	597,81 kg/bulan
	N ₂ O	0,1 kg/bulan
	LHV	
	Residu	99,86 kg/bulan
	Logam	11,96 kg/bulan
Bank sampah dan penimbunan sampah organik terbuka	<u>Timbunan sampah:</u>	
	CH ₄	73,45 kg/bulan
	CO ₂	170,04 kg/bulan
	NH ₃	5,63 kg/bulan
	H ₂ S	1,10 kg/bulan
	Lindi	207,54 liter/bulan
	- BOD ₅ *	10.000 mg/l
	- COD*	18.000 mg/l
	- TOC*	6.000 mg/l
	- Nitrat*	25 mg/l
	<u>Bank sampah:</u>	
Kantong plastik	Rp 500/kg	
Gelas plastik	Rp 3.000/kg	
Ember plastik	Rp 2.000/kg	
Kertas kecil	Rp 1.500/kg	
Kertas kardus	Rp 600/kg	
Buku bekas	Rp 1.500/kg	
Karet	Rp 700/kg	

Skenario	Data output
	Logam kaleng Rp 1.500/kg
	Aluminium Rp 10.000/kg
	Besi Rp 3.000/kg

*Sumber: Tchobanoglous and Kreith (2019).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fase terakhir dalam studi *Life Cycle Assessment* adalah *Impact Assessment* menggunakan metode CML *Baseline* v.v4. Potensi dampak yang dibahas adalah pemanasan global (dalam satuan kg CO₂ ekuivalen).

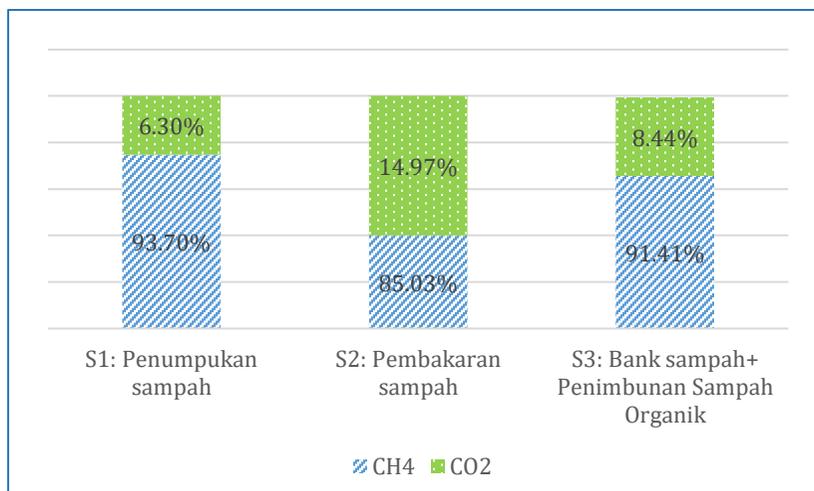
3.1. *Life cycle impact assessment* dan interpretasi

Berdasarkan **Tabel 4**, Skenario 3 menghasilkan potensi pemanasan global lebih rendah dari pada Skenario 1 dan 2 ($S3 < S2 < S1$). Kegiatan bank sampah yang didahului dengan pemilahan sampah oleh masyarakat menjadi SLJ (25,30%) dan STJ (74,70%) dapat mengurangi potensi dampak pemanasan global. Optimalisasi pemilahan sampah juga dapat menurunkan potensi asidifikasi dan pembentukan ozon lebih dari dua kali lipat (Bernstad *et al.* 2011). Pemilahan sampah dapat menurunkan timbulan sampah yang ditimbun di lahan terbuka. Skenario 3 sudah diterapkan di 105 KK atau sekitar 4,3% dari total 2445 KK. Apabila diterapkan di seluruh masyarakat dengan asumsi komposisi sampah yang dihasilkan sama, maka reduksi timbulan sampah mencapai 24,8 ton/bulan. Total pendapatan dari bank sampah mencapai Rp 27.241.979 setiap bulannya.

Tabel 4. Potensi dampak pemanasan global.

LCIA	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Potensi pemanasan global	13,057 kg CO ₂ eq.	10,850 kg CO ₂ eq.	6,395 kg CO ₂ eq.

Skenario 1 yang merupakan penimbunan sampah secara terbuka menghasilkan potensi dampak pemanasan global paling tinggi. Potensi dampak tidak terjadi secara cepat, melainkan berlangsung lama akibat masih tercampurnya sampah yang mudah dan sulit terdekomposisi. Sampah organik akan terdekomposisi kurang dari 5 tahun, sedangkan sampah karet, plastik dan logam akan lebih lama, bahkan tidak dapat terdekomposisi (Tchobanoglous and Kreith 2019). Pada Skenario 3, hanya sampah organik saja yang ditimbun secara terbuka karena didahului oleh pemilahan sampah, sedangkan untuk sampah yang sulit terdegradasi dikelola oleh bank sampah. Potensi dampak pemanasan global dari Skenario 3 lebih rendah 87,6% daripada Skenario 1. Berdasarkan **Gambar 4**, kontributor potensi dampak pada Skenario 1 dan Skenario 3 adalah metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan dari proses dekomposisi sampah. Di samping itu, hidrogen sulfida (H₂S) dan amonia (NH₃) juga dihasilkan, tetapi tidak berkontribusi besar.



Gambar 4. Kontributor dampak potensi pemanasan global.

Penelitian lain menunjukkan bahwa *open dumping* merupakan bentuk penanganan sampah yang paling tinggi menimbulkan pemanasan global karena tidak adanya penanganan gas (Saheri *et al.* 2012; Babu *et al.* 2014). Gas hasil dekomposisi seperti CO₂, CH₄, H₂S dan NH₃ yang terlepas ke atmosfer tanpa penanganan berpotensi meningkatkan potensi pemanasan global. Disamping itu, *open dumping* juga menghasilkan lindi yang mengandung polutan seperti BOD₅, COD, nitrat, dsb. yang berpotensi mencemari lingkungan sekitar. Potensi dampak yang dapat ditimbulkan dari lindi tersebut adalah eutrofikasi. Dampak lain yang ditimbulkan dari dekomposisi sampah yaitu potensi asidifikasi karena terlepasnya emisi NH₃ ke atmosfer (**Tabel 5**).

Tabel 5. Potensi dampak lingkungan lainnya.

Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Eutrofikasi 0,0078 kg PO ₄ eq. Kontributor: NH ₃ : 74,87% COD: 25,12%	<i>Human toxicity</i> 0,00240 kg 1,4-dichlorobenzene Kontributor: SO ₂ : 100%	Eutrofikasi 0,01385 kg PO ₄ eq. Kontributor: COD: 54,29% NH ₃ : 45,70%
Asidifikasi 0,026 kg SO ₂ eq. Kontributor: NH ₃ : 100%	Asidifikasi 0,0225 kg SO ₂ eq. Kontributor: SO ₂ : 100%	Asidifikasi 0,02870 kg SO ₂ eq. Kontributor: NH ₃ : 100%

Skenario 2 yang merupakan pembakaran sampah secara terbuka juga menghasilkan gas seperti CO₂, CH₄ dan N₂O yang dapat terlepas ke atmosfer. Di samping itu, ada potensi dampak asidifikasi dan *human toxicity* akibat pelepasan emisi sulfur dioksida (SO₂). Menurut Magazzino *et al.* (2020), sampah plastik dan karet mengandung senyawa beracun seperti logam berat dan *Polychlorinated*

Biphenyls (PCB) apabila dibakar secara terbuka dan tanpa pengendalian emisi. Pembakaran tidak sempurna dari plastik menghasilkan senyawa karsinogenik yang berbahaya saat terhirup (Verma *et al.* 2016). Pembakaran sampah di Desa Sokosari terjadi secara sporadis oleh masyarakat di banyak tempat.

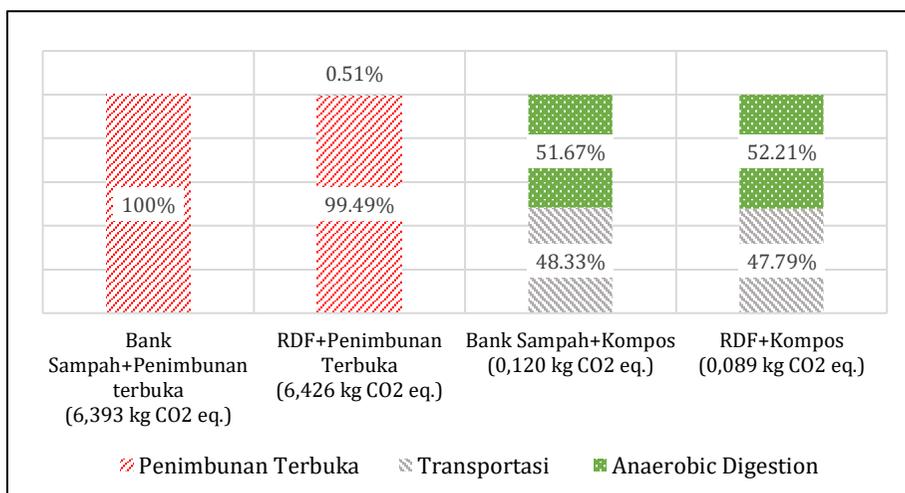
Merujuk pada Faaij (2004), sampah di Desa Sokosari berpotensi menghasilkan energi apabila dimanfaatkan sebagai sumber energi panas *lower heating value* (LHV) sebesar 18,35 MJ/kg. Nilai ini sesuai untuk bahan bakar substitusi batu bara yang biasanya berkisar >2.500 kkal/kg atau 10,46 MJ/kg. Pemanfaatan sampah menjadi bahan bakar *refuse derived fuel* (RDF) yang sejalan dengan program *waste to energy* (WTE) di Kabupaten Tuban dapat menambah nilai ekonomi sampah hingga Rp 30.000/kg. Perlu penanganan tambahan untuk dapat menghasilkan RDF yang sesuai dengan kebutuhan industri semen, misalnya kandungan air harus <50% (Xin *et al.* 2020). Komposisi sampah yang didominasi oleh sampah sisa makanan, sampah dapur dan sampah pekarangan atau kebun berpotensi menghasilkan kandungan air yang tinggi. Pemilahan sampah dari sumber sampah atau setiap rumah penduduk dapat sangat membantu mengurangi kandungan air sampah.

3.2. Potensi pemrosesan lebih lanjut menjadi RDF dan kompos

Salah satu potensi yang dapat dilakukan adalah dengan mengolah sampah lebih lanjut menjadi produk lain seperti RDF dan kompos. Berbeda dengan pra studi kelayakan pembangunan RDF *plant* di Kabupaten Tuban yang direncanakan mengolah sampah tercampur yang ada di TPA sampah, konversi sampah ini berasal dari sumber sampah yang tidak tercampur antara sampah organik (STJ) dan non-organik (SLJ), sehingga kandungan air pada sampah non organik menjadi lebih rendah, tidak tercampur dengan tanah dan prosesnya lebih sederhana tanpa pemilahan pendahuluan.

Secara umum, RDF dihasilkan dengan melakukan pengolahan sampah menggunakan alat *magnetic separator*, *trammel screen*, *shredder* dan *mill* (Caputo and Pelagagge 2002). Kondisi sampah pada nyatanya sudah terpilah ketika masuk ke bank sampah, sehingga dalam pembuatan RDF hanya diperlukan *shredder* untuk mencacah sampah non organik sampai ukuran <50 mm menjadi RDF jenis *fluff*. Jenis *shredder* yang dapat digunakan yaitu *shredder machine V600 single shaft* (PT Power Machine International 2020). Berdasarkan data karakteristik sampah (**Tabel 1**), kandungan air sampah memenuhi syarat untuk diolah menjadi kompos (44-64%) (Kadir *et al.* 2016). Pengomposan dapat dilakukan secara mesofilik dalam *anaerobic digestion* (AD). Teknologi AD merupakan teknologi paling ramah lingkungan, memiliki keandalan operasional, berpotensi menghasilkan biogas dan prosesnya berlangsung secara tertutup (Al-Rumaihi *et al.* 2020).

Pengelolaan sampah Skenario 3 yang menghasilkan potensi dampak pemanasan global paling rendah adalah pengolahan SLJ menjadi RDF dan STJ menjadi kompos dengan nilai 0,089 kg CO₂ eq. dari setiap 1 kg sampah yang dikelola (**Gambar 5**). Data *inventory* (input dan *output*) untuk dua pilihan pengolahan dengan potensi dampak paling rendah tersebut tersaji pada **Tabel 6**. Produk biogas yang dihasilkan berpotensi dimanfaatkan lebih lanjut sebagai sumber energi pengganti listrik. Namun, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui kecocokan penggunaan biogas sebagai pengganti listrik.



Gambar 5. Potensi dampak pemanasan global (kg CO₂ eq.) dari skenario pengelolaan sampah lanjutan dan kontributor dampak.

Tabel 6. Data *inventory* pengolahan SLJ menjadi RDF dan STJ menjadi kompos.

Pilihan pengolahan	Input	Jumlah	Unit	Output	Jumlah	Unit
SLJ menjadi RDF	SLJ	313,82	kg	RDF	30.000	Rp/kg
	Listrik	48,30	kWh	**Emisi listrik: CO ₂	0,862	ton/MWh
	Transportasi ke pabrik semen	313,82*44,10	kg*km	***Emisi solar: *CO ₂	2,22	kg/l
	STJ	926,58	kg	Kompos	15.000	Rp/kg
*STJ menjadi kompos				Emisi produksi kompos:		
				CH ₄	776,28	g
				N ₂ O	90,79	g
				NH ₃	263,15	g
	Listrik	40,02	kWh	Emisi Listrik: **CO ₂	0,862	ton/MWh
	Air	0,5	ton	Biogas	138,99	m ³

Sumber: *Al-Rumaihi *et al.* (2020); ** Kementerian ESDM (2016); ***IPCC (1998); Ummatin *et al.* (2019); dan hasil analisis.

3.3. Rekomendasi

Rekomendasi untuk meminimalkan potensi dampak lingkungan adalah dengan meningkatkan nilai jual sampah hasil bank sampah dengan cara konversi sampah menjadi RDF dan meningkatkan upaya pemilahan sampah dari sumbernya. Produk RDF berpotensi sebagai bahan bakar alternatif industri semen di Kabupaten Tuban. Peningkatan nilai jual sampah juga berpotensi meningkatkan antusiasme masyarakat dalam memilah sampah karena keuntungan menjual sampah lebih tinggi. Upaya pemilahan sampah dari sumbernya harus disertai dengan edukasi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pemilahan sampah. Masyarakat pedesaan masih terbatas dalam hal informasi penanganan sampah. Pemilahan sampah dari sumber yang dilakukan masyarakat akan membantu meringankan proses konversi sampah menjadi RDF dan kompos.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Life Cycle Assessment (LCA) dapat digunakan untuk menghitung dan membandingkan potensi dampak lingkungan dari tiga jenis penanganan sampah di lingkungan pedesaan. Meskipun baru diterapkan pada sebagian kecil kepala keluarga, bank sampah mampu berkontribusi dalam mengurangi potensi dampak pemanasan global. Setiap 1 kg sampah yang dikelola oleh bank sampah menghasilkan potensi dampak pemanasan global lebih rendah dibandingkan dengan sistem penimbunan dan pembakaran sampah yakni sebesar 6,395 kg CO₂ eq. Pengelolaan sampah lebih lanjut oleh bank sampah dapat dilakukan dengan *material recovery* dan peningkatan nilai ekonomi sampah. Konversi sampah layak jual menjadi RDF dan sampah tidak layak jual menjadi kompos dapat menurunkan lagi potensi dampak menjadi 0,089 kg CO₂ eq. untuk setiap 1 kg sampah yang dikelola.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bank Sampah Asoka Berseri, Kepala Dusun dan warga RT 01 RW 02 Desa Sokosari yang telah membantu dan bekerja sama dalam pengambilan data penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abbas II, Chaaban JK, Shaar AA and Al-Rabaa AR. 2017. Solid waste management in Lebanon : challenges and recommendations. *Journal of Environment and Waste Management* 4(2):53-63.
- Abeliotis K. 2011. Life cycle assessment in municipal solid waste management. In: Kumar S. *Integrated Waste Management Vol. I*. IntechOpen. London.

<https://doi.org/10.5772/698>.

- Achinas S and Euverink GJW. 2016. Theoretical analysis of biogas potential prediction from agricultural waste. *Resource-Efficient Technologies* 2(3):143–147. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.08.001>.
- Al-Rumaihi A, McKay G, Mackey HR and Al-Ansari T. 2020. Environmental impact assessment of food waste management using two composting techniques. *Sustainability* 12(4):1-23. <https://doi.org/10.3390/su12041595>.
- Babu GLS, Lakshmikanthan P and Santhosh LG. 2014. Life cycle analysis of municipal solid waste (MSW) land disposal options in Bangalore City [Proceeding]. *International Conference on Sustainable Infrastructure 2014* 795-806. <https://doi.org/10.1061/9780784478745.075>.
- Bailie RC, Everett JW, Liptak BG, Liu DHF, Rugg FM and Switzenbaum MS. 1999. *Solid Waste*. CRC Press. Boca Raton.
- Bernstad A, Jansen JLC and Aspegren H. 2011. Life cycle assessment of a household solid waste source separation programme: a Swedish case study. *Waste Management & Research* 29(10):1027-1042. <https://doi.org/10.1177/0734242X11406170>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Tuban. 2019. Kecamatan Soko dalam angka 2019. BPS Kabupaten Tuban. Tuban.
- Budihardjo MA, Wahyuningrum IFS, Muhammad FI and Pardede R. 2019. The role of waste banks in the reduction of solid waste sent to landfill in Semarang, Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 337 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/337/1/012028>.
- Caputo AC and Pelagagge PM. 2002. RDF production plants: I design and costs. *Applied Thermal Engineering* 22(4):423-437. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(01\)00100-4](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(01)00100-4).
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2001. Emission inventory improvement program [internet]. Tersedia di: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/i01.pdf>.
- Faaij APC. 2004. Biomass combustion. *Encyclopedia of Energy* 1:175-191. <https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00355-7>.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 1998. Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. IGES. Hayama.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories volume 5 waste. Eds. National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T and Tanabe K. IGES. Hayama.
- Kadir AA, Azhari NW and Jamaludin SN. 2016. An overview of organic waste in

- composting. MATEC Web of Conferences 47 05025: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20164705025>.
- [Kementerian ESDM] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016. Faktor emisi GRK sistem interkoneksi tenaga listrik tahun 2016 [internet]. Tersedia di: http://jcm.ekon.go.id/en/uploads/files/DocumentJCM/Rules&Guidelines/Emission_Factor_DJK_ESDM_2016.pdf.
- Komilis D and Athiniotou A. 2014. A water budget model for operating landfills: an application in Greece. *Waste Management & Research* 32(8):717-725. <https://doi.org/10.1177/0734242X14545505>.
- Liamsanguan C and Gheewala SH. 2008. LCA: a decision support tool for environmental assessment of MSW management systems. *Journal of Environmental Management* 87(1):132-138. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.003>.
- Luong ND, Giang HM, Thanh BX and Hung NT. 2013. Challenges for municipal solid waste management practices in Vietnam. *Waste Technology* 1(1):17-21. <https://doi.org/10.12777/wastech.1.1.2013.17-21>.
- Magazzino C, Mele M and Schneider N. 2020. The relationship between municipal solid waste and greenhouse gas emissions: evidence from Switzerland. *Waste Management* 113:508-520. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.033>.
- Pambudi YS, Purnama Y, Dwijendra NKA, Kholifah S and Caniago A. 2020. The effect of internal factors on the improvement of the role of the community and quality of waste bank management "Mekar Asri" in RT. 5 RW. XVI, Mojosongo Sub-District, Surakarta City, Indonesia. *Test Engineering and Management* 82:14695-14703.
- Phyllis2. 2020. Database for the physico-chemical composition of (treated) lignocellulosic biomass, micro- and macroalgae, various feedstocks for biogas production and biochar [internet]. Tersedia di: <https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis>.
- PT Power Machine International. 2020. Shredder machine V600 single shaft [internet]. Tersedia di: <https://www.powermachineint.com/mesin-shredder-plastik>.
- Saheri S, Mir MA, Basri NEA, Mahmood NZB and Begum RA. 2012. Life cycle assessment for solid waste disposal options in Malaysia. *Polish Journal of Environmental Studies* 21(5):1377-1382.
- Suardi LR, Gunawan B, Arifin M and Iskandar J. 2018. A review of solid waste management in waste bank activity problems. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology* 3(4):1518-1526. <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.4.49>.

- Tchobanoglous G and Kreith F. 2019. Handbook of solid waste management 2nd Ed. McGraw-Hill Companies. New York.
- Ummatin KK, Wiratno SE, Nurminasih S, Rahmat A and Faria N. 2019. Prastudi kelayakan pembangunan RDF Plant di Kabupaten Tuban [internet]. Tersedia di: http://sippa.ciptakarya.pu.go.id/sippa_online/ws_file/dokumen_usulan/ded/ded_d39173d85b99ec13bd3b325d33103f03117c25ad.pdf.
- Verma R, Vinoda KS, Papireddy M and Gowda ANS. 2016. Toxic pollutants from plastic waste- a review. *Procedia Environmental Sciences* 35:701-708. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.069>.
- Warmadewanthi and Haqq M. 2019. Implementation of waste banks for reduction of solid waste in South Surabaya. *MATEC Web of Conferences* 276 06021. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927606021>.
- Wijayanti DR and Suryani S. 2015. Waste bank as community-based environmental governance: a lesson learned from Surabaya. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 184:171-179. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.05.077>.
- Wulandari D, Utomo SH and Narmaditya BS. 2017. Waste bank: waste management model in improving local economy. *International Journal of Energy Economics and Policy* 7(3):36-41.
- Xin C, Zhang T, Tsai SB, Zhai YM and Wang J. 2020. An empirical study on greenhouse gas emission calculations under different municipal solid waste management strategies. *Applied Sciences* 10(5):1-23. <https://doi.org/10.3390/app10051673>.

Pengelolaan limbah elektronika di DKI Jakarta menggunakan pendekatan *Soft System Methodology*

D. Rimantho^{1*}

¹Departemen Teknik Industri, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

Abstrak.

Pada beberapa dekade terakhir, pertumbuhan produk listrik dan elektronika mengalami peningkatan yang signifikan, ditandai dengan peningkatan permintaan dan penjualan produknya secara global. Hal ini mempengaruhi masa pakai produk menjadi lebih pendek, yang tentunya berakhir lebih cepat menjadi limbah. Beberapa faktor penyebab kompleksnya permasalahan pengelolaan limbah elektronika adalah peranan dan fungsi para *stakeholder* seperti pemerintah, sektor informal dan industri manufaktur, serta dinas kebersihan. Artikel ini bertujuan menganalisis permasalahan pengelolaan limbah elektronik dan alternatif pemecahannya melalui model pengelolaan limbah dengan pendekatan *Soft System Methodology* (SSM). Data dan informasi sistem pengelolaan limbah elektronika diperoleh melalui studi literatur dan diskusi mendalam dengan beberapa pakar. Hasil studi menunjukkan bahwa pengaplikasian metode SSM menghasilkan model konseptual yang mengilustrasikan aktivitas antar sub elemen guna memperbaiki pengelolaan limbah elektronika. Model ini dibangun untuk meningkatkan pengelolaan limbah dan mengurangi potensi dampak negatifnya. Relevansi peran dan sinergi para pelaku seperti pemerintah pusat, pemerintah daerah, pelaku usaha (usaha limbah, termasuk pemulung) menentukan keberhasilan tujuan. Sebagai pemangku kepentingan utama, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan berperan dalam merancang kebijakan dan program. Hal ini dapat didukung oleh Kementerian Perindustrian, Dinas Kebersihan DKI Jakarta dan instansi terkait lainnya.

Kata kunci: limbah elektronika, SSM, manajemen, *stakeholder*

Abstract.

In the last few decades, the growth of electrical and electronic products has significantly increased, marked by an increase in demand and sales of its products globally. It affects the product's service life to be shorter, which ends up becoming waste faster. Some factors causing the complexity of electronic waste management problems are the roles and functions of stakeholders (government, informal sector, manufacturing industry and sanitation office). This article analyzed the electronic waste management problems and alternative solution through the waste management model using the Soft System Methodology (SSM) approach. Data and information were obtained through literature studies and in-depth discussions with several experts. The study results show that applying the SSM method produces a conceptual model illustrating the activities between sub-elements to improve electronic waste management. The SSM model was built to improve waste management and reduce its negative impacts. The role relevance and synergy of actors such as the central government, local governments, and business actors (waste businesses, including scavengers) determine the objectives' success. As a major stakeholder, Ministry of Environment and Forestry plays a role in designing policies and programs, supported by Ministry of Industry, DKI Jakarta Sanitation Service and other related agencies.

Keywords: e-waste, SSM, management, stakeholder

1. PENDAHULUAN

Peralatan listrik dan elektronik memberikan pengaruh signifikan pada kehidupan manusia dalam beberapa dekade terakhir. Peningkatan inovasi teknologi peralatan elektronika membuat kehidupan manusia menjadi lebih mudah, baik di rumah maupun di kantor. Hal ini menjadikan kehidupan masyarakat tidak dapat dipisahkan dari peralatan elektronika. Kemajuan yang sangat cepat dalam inovasi teknologi membuat masa penggunaan perlengkapan listrik dan elektronika menjadi lebih singkat dan berakhir lebih cepat menjadi

* Korespondensi Penulis
Email : dino.rimantho@univpancasila.ac.id

limbah. Dengan demikian, peningkatan pembuatan produk elektronika akan memberikan dampak penting terhadap laju timbulan limbah elektronika.

Limbah elektronika adalah seluruh produk elektrikal dan elektronika yang telah melalui batas usia pakainya (Sthiannopkao and Wong 2013). Perangkat elektrikal dan elektronika dapat terdiri dari berbagai macam bentuk atau jenis tergantung dari penggunaannya. Uni Eropa membagi perangkat elektronika ke dalam sepuluh jenis yaitu perlengkapan rumah tangga besar, alat-alat rumah tangga kecil, teknologi informasi dan peralatan telekomunikasi, peralatan konsumen, peralatan pencahayaan, alat-alat listrik dan elektronik, mainan, sistem peralatan medis, pemantauan instrumen kontrol dan dispenser otomatis (European Commission-WEEE Directive 2003).

Produksi peralatan listrik dan elektronika di negara-negara maju mengalami pertumbuhan yang sangat signifikan dibandingkan dengan produk lainnya (Hilty 2005). Menurut Pariatamby and Victor (2013), limbah elektronika di Uni Eropa mengalami peningkatan sekitar 3-5% per tahun atau tiga kali lebih cepat dibandingkan laju timbulan limbah padat rumah tangga. UNEP (2006) juga menyatakan bahwa peningkatan laju timbulan elektronika sekitar 3-5% tiap tahunnya. Hal ini membentuk perkembangan aliran limbah tercepat di dunia. Schluep *et al.* (2009) meramalkan bahwa laju timbulan elektronika secara garis besar adalah 40 juta ton per tahun. Sementara itu, beberapa peneliti juga melaporkan bahwa peningkatan laju timbulan elektronika terjadi di beberapa Negara di Asia seperti Taiwan, China, Filipina, Korea dan India (Peralta and Fontanos 2006; Terazono *et al.* 2006). Penelitian yang dilakukan oleh Rimantho *et al.* (2019) melaporkan bahwa timbulan limbah elektronika di DKI Jakarta sebesar 7.713,42 kg/tahun atau 4,04 kg/orang/tahun. Studi tersebut dilakukan pada 400 rumah tangga dan 54 sektor informal.

Limbah elektronika memberikan dampak negatif pada semua aspek kehidupan baik pada lingkungan maupun perekonomian masyarakat. Namun demikian, limbah elektronika juga masih memiliki potensi ekonomi yang tidak kecil. Potensi ekonomi yang diperoleh dari daur ulang limbah elektronika adalah logam mulia seperti emas, perak, paladium, tembaga, aluminium, besi dan plastik (Hosoda 2007; Kahhat *et al.* 2008; Prakash and Manhart 2010).

Limbah memiliki ancaman serius terhadap lingkungan dan kesehatan manusia karena belum ada teknologi ramah lingkungan pada proses daur ulangnya. Permasalahan ini semakin dipersulit dengan belum adanya tempat pembuangan khusus untuk limbah elektronika. Terdapat dua hal yang menjadi penyebab munculnya masalah lingkungan dan ekonomi dari pengelolaan limbah elektronika. Pertama, adanya kandungan senyawa berbahaya dalam limbah elektronika yang memiliki dampak negatif pada alam. Kedua, adanya faktor keterbatasan dalam menyerap residu limbah elektronika di lingkungan. Jika

terjadi perbedaan kapasitas, maka akan mendorong munculnya risiko serius pada stabilitas dan batas toleransi ekosistem. Misalnya, efek proporsional dari merkuri pada pencemaran air yang kecil dalam standar pencemaran yang masih rendah. Di sisi lain, pada tingkatan konsentrasi yang tinggi maka pengaruhnya juga akan sangat tinggi. Menurut Perman *et al.* (2003) pencemaran senyawa merkuri akan membuat perubahan fungsi dari ekosistem dan menurunkan kapasitas penyerapan dari lingkungan.

Proses daur ulang limbah elektronika banyak dilakukan di sektor informal, sehingga memunculkan potensi kerusakan lingkungan dan penurunan kualitas kesehatan masyarakat (Wang *et al.* 2012). Secara umum, munculnya risiko dan ancaman serius bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat diakibatkan dari penggunaan peralatan dan metode yang sangat sederhana dalam proses daur ulang limbah elektronika, umumnya terjadi di negara-negara berkembang (Prakash and Manhart 2010; Ongondo *et al.* 2011). Contoh metode sederhana tersebut adalah pembongkaran fisik menggunakan peralatan sederhana seperti palu, obeng dan pahat (Wen *et al.* 2006; Amoyaw-Osei *et al.* 2011), pelepasan komponen dari papan sirkuit dengan metode pemanasan (Puckett *et al.* 2002), pelepasan logam mulia menggunakan larutan asam (Wong *et al.* 2007), pemecahan dan pendaur-ulangan plastik (Wong *et al.* 2007), pembakaran kabel untuk mengambil tembaga (Wong *et al.* 2007) dan pengisian ulang *kartrid toner* (Puckett *et al.* 2002).

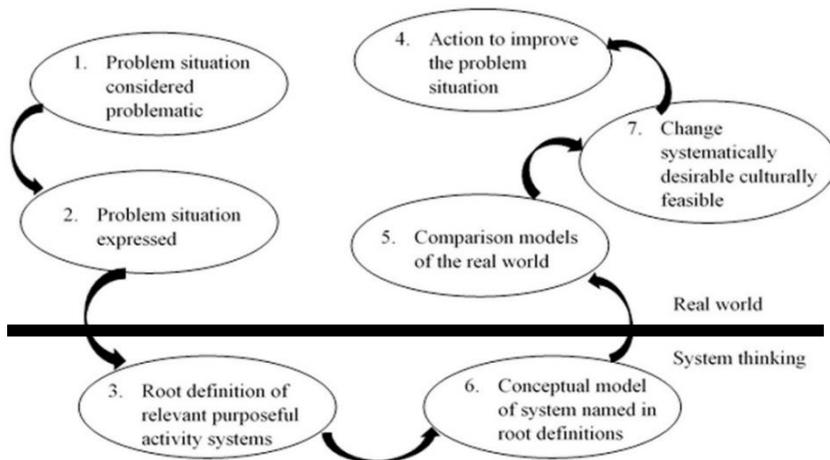
Penelitian yang dilakukan oleh Sudarmaji *et al.* (2006) menggarisbawahi penurunan kualitas kesehatan manusia disebabkan adanya senyawa berbahaya dari limbah elektronika. Robinson (2009) juga melaporkan bahwa senyawa Arsenik (As) berpotensi menyebabkan penurunan kesehatan seperti gangguan mata, kulit, darah dan lever. Selain itu, jalur masuknya zat pencemar limbah elektronika pada manusia adalah melalui makanan, udara, dll. Sebuah penelitian di daerah pembongkaran printer di Provinsi Guiyu, China menunjukkan bahwa para pekerja membongkar *kartrid toner* dengan peralatan sederhana tanpa alat pelindung diri yang sesuai. Pembongkaran toner tersebut berpotensi mengganggu sistem pernafasan manusia dan menyebabkan kanker (Huo *et al.* 2007). Lebih lanjut, hasil penelitian Rimantho *et al.* (2020) menunjukkan beberapa nilai RPN tertinggi antara lain teknologi manual (729), jumlah teknologi (729), kepatuhan hukum (729) dan biaya daur ulang (729).

Kompleksitas masalah pengelolaan limbah elektronik memerlukan pendekatan yang berbeda. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan merancang model pengelolaan limbah elektronik berkelanjutan dengan pendekatan *soft system methodology* yang terkait dengan peran institusi, pelaku dan *rules of the game* pengelolaan limbah elektronik di Provinsi DKI Jakarta, Indonesia.

2. METODOLOGI

Sebuah pendekatan berpikir sistematis (*system thinking*) dapat diaplikasikan dalam menjawab suatu permasalahan yang belum terstruktur. Pendekatan ini dapat memberikan gambaran keterkaitan antar faktor dan kegiatan yang dilakukan, serta aktor-aktor yang berkepentingan sejak dari input hingga munculnya *output*. Melalui pendekatan ini, dapat diketahui pula interaksi dari unsur, komponen dan sub sistem yang menyusun sebuah sistem. Pendekatan berpikir sistem meliputi beberapa hal seperti proses berpikir, hasil akhir dan target yang ada (Eriyatno 2012).

Dalam artikel ini, *soft system methodology* (SSM) diaplikasikan sebagai sebuah metode sistem yang memberikan ilustrasi tentang kondisi permasalahan yang sedang dihadapi. Metode SSM adalah suatu teknik *soft system thinking* yang dikenalkan oleh Checkland (1999). Metode SSM memiliki perbedaan dengan pendekatan *hard system methodology*. Metode ini lahir karena adanya cara pandang bahwa dasar pembuatan suatu sistem lebih mengarah pada permasalahan yang memiliki karakteristik sangat abstrak atau tidak jelas (Purnomo 2012). Lebih jauh, Checkland (1999) menggunakan tujuh tahapan dalam mengaplikasikan metode SSM seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Checkland protokol.

Penyusunan model pengelolaan limbah elektronika yang berkelanjutan di DKI Jakarta pada artikel ini dilakukan melalui tujuh tahapan yang mengacu pada Checkland Protokol dengan uraian sebagai berikut:

- 1) Analisis yang menguraikan kondisi/situasi yang tepat dalam perspektif pengelolaan limbah elektronika. Langkah awal adalah menanyakan *problem* yang harus dijawab terkait pengelolaan limbah elektronika yang juga diarahkan pada dampak lingkungan, sosial dan ekonomi.

- 2) Pemahaman terhadap *problem* apa saja yang dihadapi oleh seluruh *stakeholder*. Pemahaman ini meliputi keperluan apa saja yang menjadi kebutuhan pihak *stakeholder*. Selain itu, pemahaman juga didasarkan pada kapasitas dan responsibilitas para *stakeholder*. *Output* dari pemahaman ini adalah ilustrasi keterlibatan rangkaian dari masing-masing *stakeholder* atau secara umum disebut *rich picture*.
- 3) Membuat pengertian posisi masing-masing *stakeholder* dengan mengaplikasikan suatu metode yang disebut CATWOE (*Client or Customers, Actors, Transformations, Weltanschauung, Owner* dan *Environment constrain*).
- 4) Membuat desain maya atau konseptual yang akan memberikan uraian ketergantungan antar kegiatan atau operasi. Desain maya ini mengilustrasikan korelasi dari input-proses-output dari satu kegiatan dengan kegiatan lainnya.
- 5) Membuat susunan program aktivitas yang akan diterjemahkan dalam aksi dan secara umum membuat komparasi antara kondisi aktual dengan desain transdental yang telah didesain.
- 6) Membuat interpretasi perbedaan yang berpotensi untuk dilakukan. Kontroversi antar ahli berpotensi terjadi pada fase ini. Kemungkinan modifikasi pada beberapa hal berpotensi terjadi seperti berubahnya strategi kebijakan, peralihan komposisi dan kemungkinan peralihan prinsip dan budaya dalam wujud peralihan kaidah berasumsi.
- 7) Membuat pelaksanaan aksi pembaruan pada desain yang telah dibuat.

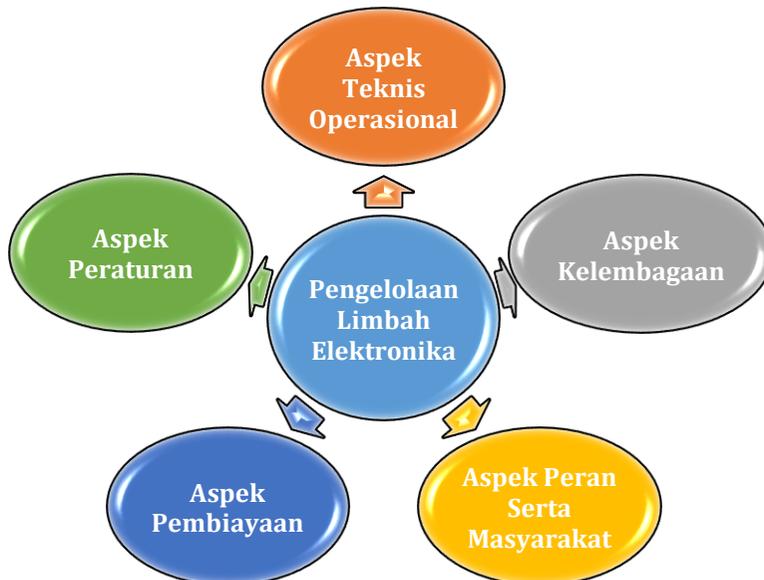
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis situasional

Pengelolaan limbah elektronika di Indonesia saat ini belum memiliki peraturan atau regulasi yang spesifik, sehingga berpotensi memunculkan permasalahan yang sangat rumit. Lebih lanjut, peningkatan laju limbah elektronika ditentukan oleh banyak faktor seperti tingkat pendidikan, kultur, tingkat pendapatan, daya beli masyarakat, dll. Dalam rangka meningkatkan pengelolaan limbah elektronika, diperlukan proses rekognisi dan pengenalan karakter limbah elektronika secara detail. Dengan mengetahui karakteristik limbah elektronika akan memberikan suatu kerangka mengenai jenis limbah elektronika, komposisi limbah serta sifat-sifat limbah. Selain itu, akan memberikan dukungan informasi kepada para *stakeholder* terkait mengenai siapa saja yang berpotensi memunculkan limbah elektronika. Karakterisasi juga dapat memunculkan perkiraan konsekuensi pada lingkungan dan untuk membuat keseimbangan efektivitas strategi pengendaliannya.

Belum ada teknologi yang ramah lingkungan pada proses daur ulang yang dapat mencemari lingkungan seperti air, tanah dan udara. Permasalahan ini semakin dipersulit dengan belum adanya tempat pembuangan khusus limbah elektronika. Permasalahan pada pengelolaan limbah elektronika juga berpotensi semakin kompleks karena pemerintah belum memberikan perhatian secara khusus dan serius. Pengelolaan limbah elektronika saat ini masih menyatu dengan penanganan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Penyebab lainnya adalah belum optimalnya pemerintah dan *stakeholder* dalam mengimplementasikan setiap kebijakan dan strategi yang terkait dengan pengelolaan dan penanganan limbah berwawasan lingkungan.

Pengelolaan limbah elektronika mempunyai tujuan memperkecil atau menghilangkan risiko-risiko terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Pengelolaan limbah elektronika dapat dikatakan baik apabila proses pengelolaannya tidak menyebabkan penurunan kualitas kesehatan manusia dan tidak merusak lingkungan sekitar. Dalam rangka meminimalisasi terjadinya risiko-risiko tersebut, perlu diciptakan suatu model manajemen risiko pada pengelolaan limbah elektronika yang berkelanjutan di DKI Jakarta. Mengacu pada deskripsi yang telah diuraikan sebelumnya, dapat diperoleh konklusi dari pengelolaan limbah elektronika sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Aspek-aspek dalam pengelolaan limbah elektronika.

Aspek hukum/peraturan belum mengatur secara spesifik pengelolaan limbah elektronika, sehingga masih perlu adanya regulasi pemerintah pusat maupun pemerintah Provinsi DKI Jakarta. Pada aspek kelembagaan, belum ada

struktur organisasi kelembagaan untuk pengelolaan limbah elektronika. Berkaitan dengan aspek teknik dan operasional, belum ada tempat pembuangan khusus atau pusat daur ulang limbah elektronika yang menggunakan teknologi bersih dan diawasi oleh pemerintah, serta belum ada standar operasional dan prosedur pengelolaan limbah elektronika. Mengenai aspek pembiayaan, belum ada alokasi anggaran dan retribusi untuk limbah elektronika. Aspek keterlibatan penduduk dan sektor swasta menyangkut pemahaman publik dan investasi swasta dalam penyelenggaraan dan pengendalian limbah.

3.2. *Root definition* permasalahan

Munculnya persoalan manajemen limbah elektronika dari sudut pandang lingkungan, sosial dan ekonomi secara garis besar disebabkan oleh efek yang ditimbulkannya. Efek ini berpotensi memberikan pengaruh serius terhadap penurunan kualitas lingkungan dan kesehatan manusia, serta potensi konflik dan diskoordinasi antar lembaga. Berdasarkan hal tersebut, akan dijelaskan keterkaitan problematika yang dihadapi dari tingkat relevansi antar *stakeholder*. Dengan mengaplikasikan pendekatan CATWOE dapat diketahui dan dijelaskan relevansi tiap *stakeholder* dalam pengelolaan limbah elektronika, yang penjelasannya disampaikan secara rinci pada bagian berikut ini:

- **Client** atau konsumen adalah masyarakat dan pemulung yang berperan dalam menghasilkan laju timbulan limbah elektronika, serta konsumen akhir yang menggunakan produk elektronika. Masyarakat dan pemulung adalah sekumpulan masyarakat yang terdampak oleh luaran manajemen limbah yang dilaksanakan sektor informal daur ulang limbah elektronika.
- **Actors** adalah bagian yang mempunyai fungsi penting dalam memberikan efek baik secara ekonomi, lingkungan dan sosial. Komponen ini terdiri dari sektor informal daur ulang, instansi/organisasi yang terlibat dalam pengelolaan limbah elektronika, serta LSM pemerhati lingkungan. Kelompok ini memiliki kepekaan atas potensi perselisihan yang didasarkan pada perbedaan keinginan dari setiap *stakeholder*.
- **Transformation process** membutuhkan sebuah konsensus pada manajemen limbah elektronika yang mengacu pada hal-hal yang berkaitan dengan keberlanjutan lingkungan, sosial dan ekonomi.
- **Weltanschauung** merupakan bahasa Jerman yang berarti interpretasi yang harus menjadi dasar dalam pembuatan definisi yang memiliki arti dan sesuai dengan situasi kondisinya. Pada kasus perselisihan kepentingan dari faktor energi, pangan dan lingkungan, pada dasarnya belum ditemukan kesamaan persepsi yang dapat memberikan keseimbangan dari setiap *stakeholder*. Dengan demikian, perlu suatu ordinasasi dan peraturan yang dapat menyalurkan tingkat kebutuhan setiap pemangku kepentingan.

- **Owner** merupakan seluruh komponen pengelola negara seperti Kementerian Lingkungan Hidup, Perindustrian dan Perdagangan. Pada tingkat daerah atau provinsi, komponen pengelola dalam konteks manajemen limbah elektronika antara lain Dinas Kebersihan dan Pertamanan dan BPLHD. Fungsi penting kelompok ini adalah menghasilkan suatu peraturan dan tahapan pelaksanaan dalam rangka manajemen limbah elektronika yang mengacu pada faktor-faktor keberlanjutan.
- **Environment constrain** adalah faktor yang berpotensi menghambat pelaksanaan kegiatan setiap pemangku kepentingan. Hambatan paling utama adalah tingkat pemahaman. Minimnya sosialisasi dari pemerintah membuat pemahaman tiap pemangku kepentingan menjadi berbeda. Sebagai hasilnya, peraturan yang telah dibuat tidak berjalan dengan optimal.

3.3. Model konseptual

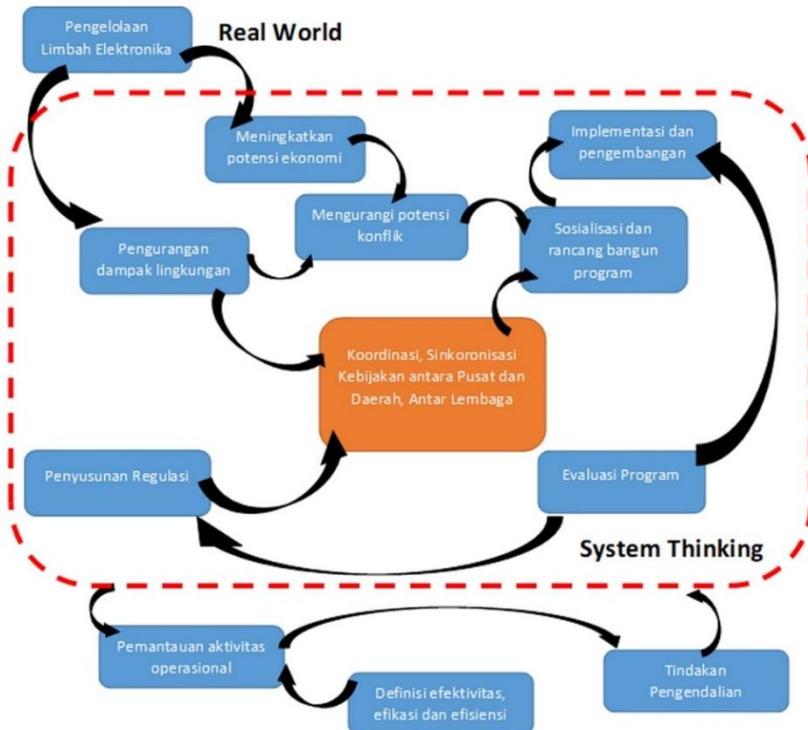
Model konseptual merupakan ilustrasi keterkaitan dari masing-masing kegiatan dan fungsi setiap pemangku kepentingan dalam rangka pencapaian tujuan. Setiap fungsi mempunyai keterkaitan yang saling mengisi kekurangan masing-masing. Ilustrasi keterkaitan dari masing-masing *stakeholder (rich picture)* dan model konseptual dalam pengelolaan limbah elektronika ditunjukkan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.

Pada pengelolaan limbah elektronika masih ditemukan adanya keadaan dependensi dan tingginya keinginan yang justru menjadi titik awal terjadinya perselisihan. Terjadinya perselisihan ini pada hakikatnya merupakan gambaran belum adanya beberapa faktor dalam pengelolaan limbah elektronika seperti sistem pengumpulan, transfer, daur ulang dan pembuangan. Pengawasan terhadap kegiatan daur ulang oleh pemerintah juga belum ada. Di sisi lain, tingkat penggunaan produk elektronika cenderung meningkat seiring dengan penemuan teknologi baru dan peningkatan populasi.

Kontribusi nyata dari setiap pemangku kepentingan harus dilaksanakan dengan optimal. Pemerintah mempunyai fungsi penting dalam merumuskan dan membuat strategi dan regulasi yang mengutamakan semua komponen masyarakat dan didasarkan pada keberlanjutan lingkungan, ekonomi dan sosial. Hal tersebut akan menjadi panduan atau pedoman bagi seluruh pemangku kepentingan dalam pengendalian lingkungan dan manajemen limbah elektronika. Para aktor dalam hal ini sektor informal daur ulang dan sektor industri produk elektronika mempunyai fungsi dalam mengimplementasikan kebijakan. Pemantauan/pengendalian dapat dilakukan secara sinergi dengan pemangku kepentingan lainnya seperti wakil dari pemerintahan bidang lingkungan hidup, LSM, akademisi atau pemerhati lingkungan hidup.



Gambar 3. Rich picture pengelolaan limbah elektronik.



Gambar 4. Model konseptual pengelolaan limbah elektronik.

Seluruh pemangku kepentingan perlu melaksanakan prosedur pengawasan pelaksanaan regulasi dan aksi nyata dari implementasi manajemen limbah elektronika. Oleh karena itu, perlu adanya parameter tingkat pemenuhan atas implementasi fungsi setiap pemangku kepentingan yang mengacu pada tiga aspek manajemen yaitu efisiensi, efikasi dan efektivitas. Parameter ini yang akan menjadi pedoman dalam pelaksanaan peningkatan proses yang dilaksanakan secara berkesinambungan. Lebih lanjut, pengelolaan limbah elektronika harus mengacu pada lima aspek yaitu aspek teknis operasional, peraturan dan regulasi, kelembagaan, pembiayaan dan peran serta masyarakat. Penerapan lima aspek ini akan mampu menjawab permasalahan yang berpotensi muncul baik dari sudut pandang lingkungan, ekonomi dan sosial.

3.4. Perbandingan model dengan realita

Dalam rangka mendeteksi implementasi dari desain sistem yang telah dibuat, dibutuhkan tahapan yang lebih rinci mengenai kajian komparasi antara tujuan yang diharapkan pada sistem dan kondisi riil di dunia nyata. Terdapat beberapa pendekatan yang dapat digunakan seperti:

1. Melaksanakan pencatatan secara informal dari temuan komparasi yang dilaksanakan.
2. Membuat penetapan dari kriteria komparasi secara formal yang selanjutnya diikuti oleh kegiatan *assessment* dan kajian dari terjadinya perbedaan target.
3. Melaksanakan simulasi sistem. Membuat suatu skema yang telah terlaksana di periode sebelumnya, selanjutnya melakukan skema berdasarkan desain yang telah dirancang yang kemudian membuat kajian dari desain tersebut.
4. Mengawasi apakah desain yang telah dirancang dapat berkontribusi pada solusi yang diinginkan.

3.5. Perbaikan model

Perubahan pada desain ditujukan untuk membuat kesamaan antara desain dengan dunia nyata. Perubahan yang dilaksanakan mengacu pada tingkat perbedaan yang ada. Disamping itu, desain model juga harus disesuaikan dengan kondisi di dunia nyata. Lebih lanjut, tujuan perubahan atas desain yang dibuat adalah untuk mencapai *logically desirable* dan *cultural feasible*. Kedua hal ini memiliki makna bahwa sebuah desain harus dapat memberikan solusi secara logis dan mengandung nilai kepatutan dari kenyataan yang ada.

3.6. Implementasi model

Dengan terpenuhinya desain yang didasarkan pada kualifikasi logis dan kepatutan, tahap berikutnya adalah melakukan implementasi untuk menemukan jawaban terbaik guna menjawab setiap keinginan. Pelaksanaan implementasi kegiatan ini dapat dilakukan melalui perubahan persepsi dan pemberian

penafsiran dari setiap pemangku kepentingan dalam manajemen limbah elektronika terkait dengan makna penting dari efek pada lingkungan, ekonomi dan sosial. Selanjutnya, regulasi yang telah dibuat oleh pemerintah dijadikan pedoman dan panduan dalam implementasi oleh setiap pemangku kepentingan. Hal terakhir adalah penyusunan rancangan yang bersifat prediksi dan bayangan dari persoalan yang memunculkan variasi pemahaman yang berpotensi muncul saat pelaksanaan regulasi sebagai tahapan terakhir. Perselisihan ini berpotensi terjadi mengingat tingkat pemahaman yang berbeda dari setiap pemangku kepentingan. Dengan demikian, tahapan pemecahan masalah harus disetujui secara bersama saat terjadi perselisihan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Peningkatan laju timbulan limbah elektronika menunjukkan kecenderungan yang signifikan di Provinsi DKI Jakarta. Pendekatan *soft system methodology* diaplikasikan untuk dapat mengelola limbah elektronika secara berkelanjutan baik dari sudut pandang lingkungan, ekonomi dan sosial. Dari pembuatan desain manajemen limbah elektronika, diperoleh simpulan bahwa terdapat perbedaan pada fungsi dan keinginan dari para pemangku kepentingan. Peningkatan laju timbulan limbah elektronika, proses daur ulang yang belum ramah lingkungan, serta belum adanya regulasi dan kelembagaan yang mengatur berpotensi memicu terjadinya konflik kepentingan antara aktor dan *stakeholder*. Perlu adanya skenario program pengelolaan limbah elektronika yang setidaknya mengacu pada lima aspek antara lain teknis operasional, peraturan dan regulasi, kelembagaan, pembiayaan dan peran serta masyarakat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Amoyaw-Osei Y, Agyekum OO, Pwamang JA, Mueller E, Fasko R and Schlupe M. 2011. Ghana e-waste country assessment [internet]. Tersedia di: https://ewasteguide.info/Amoyaw-Osei_2011_GreenAd-Empa.
- Checkland P. 1999. An application of soft system methodology. In: Rosenhead J. Rational analysis for a problematical word. Wiley. Chichester.
- Eriyatno. 2012. Ilmu sistem: meningkatkan integrasi dan koordinasi manajemen. Guna Widya. Bogor.
- European Commission-WEEE Directive. 2003. Directive 2002/96/EC of the European parliament and of the council on waste electrical and electronic equipment (WEEE). European Commission. Brussels.
- Hilty LM. 2005. Electrical waste—an emerging risk?. Environmental Impact Assessment Review. 25(5):431-435. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2005.04.002>.

- Hosoda E. 2007. International aspects of recycling of electrical and electronic equipment: material circulation in the East Asian region. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 9(2):140-150.
- Huo X, Peng L, Xu X, Zheng L, Qiu B, Qi Z, Zhang B, Han D and Piao Z. 2007. Elevated blood lead levels of children in Guiyu, an electronic waste recycling town in China. *Environmental Health Perspectives* 115(7):1113-1117.
- Kahhat R, Kima J, Xua M, Allenby B, Williams E and Zhanga P. 2008. Exploring e-waste management systems in the United States. *Resources, Conservation and Recycling* 52(7):955-964.
- Ongondo FO, Williams ID and Cherrett TJ. 2011. How are WEEE doing? a global review of the management of electrical and electronic wastes. *Waste Management* 31(4):714-730.
- Pariatamby A and Victor D. 2013. Policy trends of e-waste management in Asia. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 15:411-419. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0136-7>.
- Peralta GL and Fontanos PM. 2006. E-waste issues and measures in the J. Mater. Cycles Waste Manag. 8:34-39. <https://doi.org/10.1007/s10163-005-0142-5>
- Perman R, Ma Y, McGilvray J and Common M. 2003. *Natural resource and environmental economics* 3rd Ed. Pearson Education Limited. Harlow.
- Prakash S and Manhart A. 2010. Socio-economic assessment and feasibility study on sustainable e-waste management in Ghana [internet]. Tersedia di: <https://www.oeko.de/oekodoc/1057/2010-105-en.pdf>.
- Puckett J, Byster L, Westervelt S, Gutierrez R, Davis S, Hussain A and Dutta M. 2002. *Exporting harm: the high-tech trashing of Asia*. The Basel Action Network (BAN) and Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC). Seattle.
- Purnomo H. 2012. *Pemodelan dan simulasi untuk pengelolaan adaptif sumber daya alam dan lingkungan*. IPB Press. Bogor.
- Rimantho D, Noor E, Eriyatno dan Effendi H. 2019. Penilaian aliran limbah elektronika di DKI Jakarta menggunakan material flow analysis (MFA). *Jurnal Ilmu Lingkungan* 17(1):120-129.
- Rimantho D, Noor E, Eriyatno and Effendi H. 2020. Risk assessment on failure factors of e-waste management process using FMEA method. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology* 10(6): 2504-2511. <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.10.6.7433>.
- Robinson BH. 2009. E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. *Sci. Total Environ.* 408(2):183-191.
- Schluep M, Hagelüken C, Kuehr R, Magalini F, Maurer C, Meskers C, Muellera E and Wang F. 2009. *Sustainable innovation & technology transfer industrial*

sector studies: recycling - from e-waste to resources. United Nations Environment Programme (UNEP) and United Nations University (UNU). Paris.

- Sthiannopkao S and Wong MH. 2013. Handling e-waste in developed and developing countries: initiatives, practices, and consequences. *Sci. Total Environ.* 463-464:1147-1153.
- Sudarmaji, Mukono J dan Corie IP. 2006. Toksikologi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan. *Jurnal kesehatan Lingkungan* 2(2):129-142.
- Terazono A, Murakami S, Abe N, Inanc B, Moriguchi Y, Sakai S, Kojima M, Yoshida A, Li J, Yang J, Wong MH, Jain A, Kim I, Peralta GL, Lin C, Mungcharoen T and Williams E. 2006. Current status and research on e-waste issues in Asia. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 8:1-12. <https://doi.org/10.1007/s10163-005-0147-0>
- [UNEP] United Nations Environment Programme. 2006. Overview: electrical and electronic equipment when becoming waste (e-waste) such as personal computers, printers, televisions, mobile phones, refrigerators and air-conditioning units is one of the fastest growing waste streams in the world today [internet]. Tersedia di: <http://www.basel.int>.
- Wang F, Huisman J, Meskers CEM, Schluep M, Stevels A and Hagelüken C. 2012. The best-of-2-worlds philosophy: developing local dismantling and global infrastructure network for sustainable e-waste treatment in emerging economies. *Waste Management* 32(11):2134-2146.
- Wen XF, Li JH, Hao L, Yin FF, Hu LX, Liu HP and Liu ZY. 2006. An agenda to move forward e-waste recycling and challenges in China [Proceeding]. *Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment* 315-320. <https://doi.org/10.1109/ISEE.2006.1650083>.
- Wong MH, Wu SC, Deng WJ, Yu XZ, Luo Q, Leung AO, Wong CS, Luksemburg WJ and Wong AS. 2007. Export of toxic chemicals - a review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling. *Environmental Pollution* 149(2):131-140.

Pengelolaan ekosistem *mangrove* di muara Sungai Musi sebagai upaya mitigasi emisi karbon

H. Farahisah^{1*}, F. Yulianda², H. Effendi^{2,3}

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

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

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

Abstrak.

Salah satu upaya dalam mendukung pengembangan wilayah pesisir adalah melalui pengelolaan ekosistem *mangrove*. Sumber daya *mangrove* selain berperan dalam pengembangan ekonomi masyarakat pesisir juga memiliki peranan dalam mitigasi emisi karbon. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran tentang persepsi dan partisipasi masyarakat dan posisi *stakeholder* dalam pengelolaan lingkungan *mangrove* di muara Sungai Musi. Penelitian dilakukan di muara Sungai Musi, Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Data persepsi dan identifikasi *stakeholder* didapatkan melalui wawancara responden. Hasil menunjukkan bahwa >90% masyarakat mengetahui keberadaan dan fungsi *mangrove* dan setuju berpartisipasi pada berbagai kebijakan pengelolaan *mangrove*. Diperlukan suatu upaya agar semua *stakeholder* menjadi *key player* dalam pengelolaan *mangrove* sebagai cadangan karbon di muara Sungai Musi. Rekomendasi pengelolaan untuk peningkatan cadangan karbon diantaranya adalah pemberdayaan dan peningkatan pengetahuan masyarakat sekitar, rehabilitasi hutan dan lahan, pengembangan teknik budidaya agroforestri, pengembangan hasil hutan non kayu dan konservasi tanah dan air.

Kata kunci: pengelolaan, *mangrove*, persepsi dan partisipasi, *stakeholder*

Abstract.

One of the efforts to support the development of coastal areas, is through mangrove management. Besides having a role in the economic development of coastal communities, mangrove also has role as mitigation of carbon emissions. This study aimed to provide an overview of the perceptions and participation of the community and order of stakeholders in the mangrove management at the mouth of Musi River. The research was conducted at Musi River estuary, Banyuasin Regency, South Sumatra Province. Meanwhile, the data of stakeholders perception were derived through respondents' interviews. The results showed that more than 90% of the community knew mangrove existence and function and agreed to participate in various mangrove management policies. An effort is needed so that all stakeholders become key players in mangrove management as carbon reserves at the mouth of the Musi River. Management recommendations for carbon reserves enhancement include empowerment and improvement of community knowledge, forest rehabilitation and land, development of agroforestry cultivation techniques, development of non-timber forests, also soil and water conservation.

Keywords: management, mangroves, perception and participation, stakeholders

1. PENDAHULUAN

Mangrove memiliki jasa ekosistem yang sangat penting sebagai penyangga kehidupan diantaranya sebagai habitat aneka biota, daerah penangkapan nelayan, mencegah abrasi air laut, pelindung garis pantai, pengatur iklim mikro dan penyerap karbon (Rachmawati *et al.* 2014; Suman 2018). Vegetasi *mangrove* dapat memberikan dampak positif dalam proses penyerapan karbon pada permukaan atmosfer. Hutan *mangrove* memiliki potensi paling tinggi menjadi cadangan karbon daripada hutan lainnya. Penyimpanan karbon oleh hutan *mangrove* mencapai 2-3 kali lebih tinggi daripada hutan terestrial (Donato *et al.* 2011; Kauffman *et al.* 2011; Adame *et al.* 2013; Tue *et al.* 2014). Oleh karena itu,

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

kerusakan pada ekosistem *mangrove* memiliki dampak yang jauh lebih besar. Rusaknya hutan *mangrove* sebesar 1 ha akan melepaskan cadangan karbon yang setara dengan rusaknya 3-5 ha hutan terestrial/konvensional.

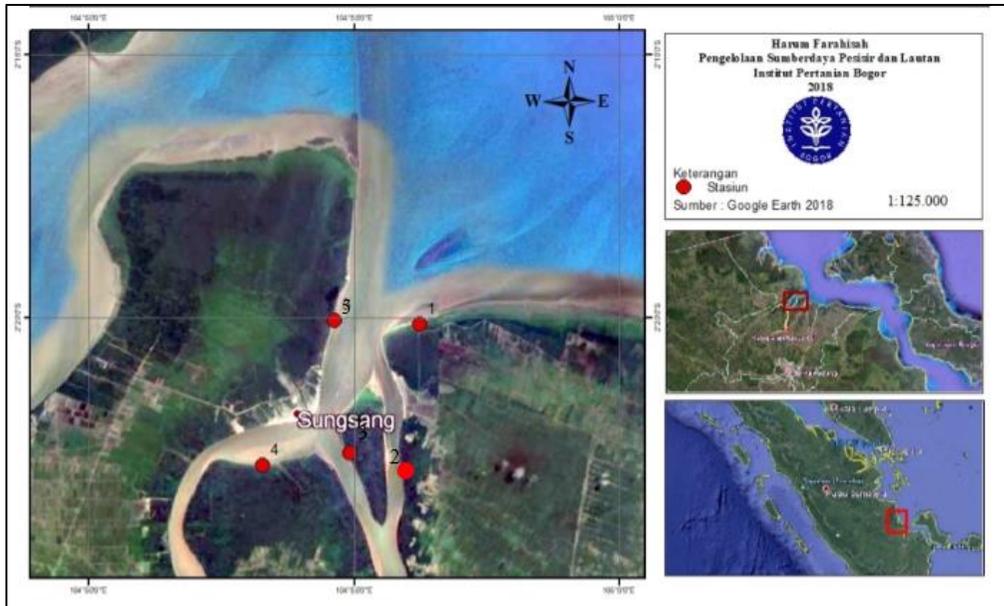
Penyumbang emisi karbon di Sumatera Selatan salah satunya berasal dari perubahan tutupan lahan. Penyebab perubahan tutupan lahan beberapa diantaranya adalah adanya kegiatan deforestasi di kawasan hutan primer seperti hutan kering, *mangrove* dan rawa. Deforestasi dapat berasal dari kebakaran hutan, *illegal logging* dan pembukaan lahan pertanian oleh masyarakat sekitar kawasan hutan. Salah satu estuari yang berada di Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan adalah muara Sungai Musi. Sungai Musi termasuk sungai terbesar dan terpanjang di Provinsi Sumatera Selatan. Aliran Sungai Musi berhulu dari Pegunungan Bukit Barisan di Provinsi Bengkulu dan bermuara ke perairan Selat Bangka di Desa Sungsang, Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan (BRPPU 2010).

Penelitian terkait stok karbon dilakukan oleh Melki and Isnaini (2014) di wilayah muara Sungai Musi dan Sungai Banyuasin dan diketahui bahwa ekosistem *mangrove* di wilayah ini dapat dijadikan sebagai mitigasi perubahan iklim. Purwiyanto and Agustriani (2016) menyatakan bahwa secara umum perairan di sekitar Pulau Payung berstatus sebagai penyerap karbon (*carbon sink*). Menurut data Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung (KPHL) yang bersumber dari citra Landsat dan SPOT 6 tahun 2014, luasan hutan *mangrove* di wilayah KPHL Banyuasin adalah 44.853 Ha (KPHL 2015). Ekosistem *mangrove* di muara Sungai Musi berperan sebagai penyangga kehidupan masyarakat di sekitarnya, diantaranya untuk aktivitas perikanan, pengambilan kayu bakar, bahan bangunan, dll. Untuk itu perlu diketahui persepsi dan partisipasi masyarakat terhadap ekosistem *mangrove* di muara Sungai Musi, serta dirumuskan upaya pengelolannya. Penelitian ini bertujuan menganalisis peranan pemerintah dan persepsi masyarakat dalam pengelolaan *mangrove*, sehingga diharapkan upaya pengelolaan ekosistem *mangrove* di muara Sungai Musi dapat ditingkatkan dalam rangka mitigasi pemanasan global.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan di wilayah muara Sungai Musi, Sumatera Selatan pada bulan April-Mei 2019 (**Gambar 1**).



Gambar 1. Lokasi penelitian di wilayah muara Sungai Musi, Sumatera Selatan.

2.2. Prosedur analisis data

Persepsi dan partisipasi masyarakat didapatkan dengan pengisian kuesioner wawancara oleh responden yang ditentukan dengan metode *purposive sampling* sebanyak 30 orang. Responden terpilih merupakan masyarakat atau pihak yang memiliki keterkaitan dengan kawasan *mangrove* seperti nelayan, tokoh masyarakat, pemerintah desa dan pihak lainnya. Setelah itu dilakukan analisis secara deskriptif dari hasil wawancara yang diperoleh.

Analisis *stakeholder* juga dilakukan untuk mengidentifikasi kelompok *stakeholder* penting, menilai hubungan antar *stakeholder* dan mengetahui arti penting dan kekuatan relatifnya (Mumtas and Wichien 2013). *Stakeholder* yang diwawancarai adalah Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) Provinsi Sumatera Selatan, Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan, Bappeda Provinsi Sumatera Selatan, Dinas Perikanan Kabupaten Banyuasin dan UPTD KPH Wilayah III Banyuasin. Menurut Suaedi (2013), dalam menentukan posisi *stakeholder* dapat dilihat dari kepentingan dan pengaruhnya dalam kerangka sistem keseluruhan. Selanjutnya, hasil wawancara *stakeholder* ditransformasikan menjadi data kuantitatif melalui *scoring* dengan membuat penilaian terhadap tingkat kepentingan dan pengaruh setiap *stakeholder*. Model indikator yang digunakan berdasarkan pada model yang dikembangkan oleh Abbas (2005) (**Tabel 1**).

Tabel 1. Ukuran kuantitatif terhadap identifikasi pemetaan *stakeholder*.

Variabel	Skor	Total skor	Kriteria	Keterangan
Pengaruh	1	5	Sangat rendah	Tidak mempengaruhi pengelolaan sumber daya
	2	6-10	Rendah	Kurang mempengaruhi pengelolaan sumber daya
	3	11-15	Cukup	Cukup mempengaruhi pengelolaan sumber daya
	4	16-20	Tinggi	Mempengaruhi pengelolaan sumber daya
	5	21-25	Sangat tinggi	Sangat mempengaruhi pengelolaan sumber daya
Kepentingan	1	5	Sangat rendah	Tidak bergantung pada keberadaan sumber daya
	2	6-10	Rendah	Kurang bergantung pada keberadaan sumber daya
	3	11-15	Cukup	Cukup bergantung pada keberadaan sumber daya
	4	16-20	Tinggi	Bergantung pada keberadaan sumber daya
	5	21-25	Sangat tinggi	Sangat bergantung pada keberadaan sumber daya

Nilai kepentingan dan pengaruh yang dimiliki setiap *stakeholder* berdasarkan hasil perhitungan kemudian dimasukkan ke dalam kuadran kepentingan dan pengaruh (**Gambar 2**).

KEPENTINGAN	KUADRAN I (kepentingan tinggi, pengaruh rendah)	KUADRAN II (kepentingan tinggi, pengaruh tinggi)
	KUADRAN III (kepentingan rendah, pengaruh rendah)	KUADRAN IV (kepentingan rendah, pengaruh tinggi)
	PENGARUH	

Gambar 2. Kuadran analisis kepentingan dan pengaruh pemangku kepentingan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kabupaten Banyuasin merupakan penyumbang emisi karbon terbesar kedua di Provinsi Sumatera Selatan yang berasal dari sektor berbasis lahan sebesar 1.087.147 TonCO₂eq/tahun (Pemprov Sumsel 2018). Sumber emisi dari sektor penggunaan lahan berasal dari deforestasi, degradasi dan penurunan tegakan hijau, sehingga mempengaruhi lepasnya cadangan karbon ke udara. Pada penggunaan lahan, terdapat dua kategori penyumbang emisi yaitu penggunaan lahan secara terencana seperti proyek perkebunan, infrastruktur jalan atau pembukaan kawasan industri dan penggunaan lahan tidak terencana yang biasanya akibat bencana alam atau paling umum adalah *illegal logging* di kawasan hutan. Selain itu, dekomposisi lahan gambut juga ikut menyumbang terjadinya emisi di lingkungan yang biasanya dipicu oleh proses drainase dan kebakaran di areal gambut (Pemprov Sumsel 2018).

Mangrove di muara Sungai Musi dimanfaatkan sebagai kayu bakar, pembuatan arang, bahan bangunan dan pembungkus masakan. Masyarakat memanfaatkan pesisir *mangrove* dengan menebarkan jaring untuk menangkap udang. Seiring dengan perkembangan zaman, pemanfaatan *mangrove* sebagai kayu bakar dan bahan bangunan sudah berkurang. Penebangan *mangrove* hanya terjadi saat masyarakat hendak membangun rumah atau mengadakan acara. Kawasan *mangrove* di muara Sungai Musi termasuk ke dalam wilayah pengelolaan hutan lindung berdasarkan KepMenHut Nomor 76 Tahun 2010 dan terjadi perubahan batas wilayah kawasan hutan lindung berdasarkan KepMenLHK Nomor 173 Tahun 2018.

3.1. Persepsi dan partisipasi masyarakat

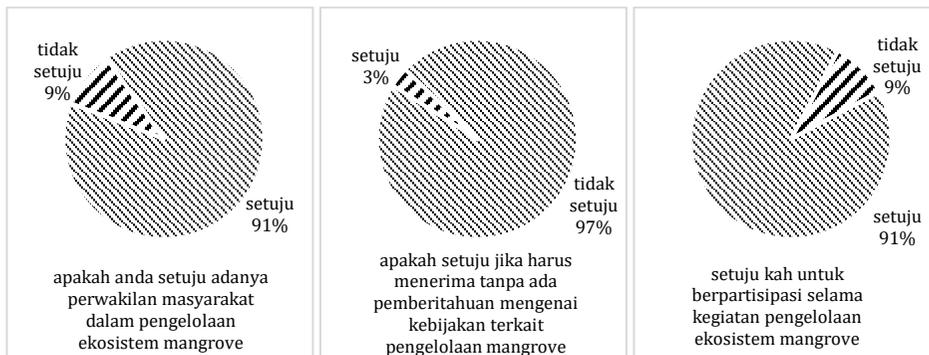
Secara umum persepsi atau tanggapan masyarakat Desa Sungsang mengenai keberadaan kawasan *mangrove* di wilayah mereka adalah 100% setuju. Sebanyak 90% masyarakat setuju akan fungsi *mangrove* sebagai penyuplai udara segar dan 94% masyarakat setuju bahwa *mangrove* berfungsi sebagai penyaring dan penahan air laut. Pengalaman masyarakat sendiri dan lingkungan tempat tinggalnya yang berada di sekitar ekosistem *mangrove* membuat mereka sadar akan fungsi dan peranan *mangrove*. Disamping itu, terdapat 16% masyarakat yang menganggap peranan *mangrove* dalam menurunkan emisi karbon kurang tepat (**Gambar 3**). Hal ini dapat disebabkan karena masyarakat masih belum paham akan fungsi ekologis *mangrove* dalam menyerap dan menyimpan karbon.



Gambar 3. Tanggapan masyarakat terhadap *mangrove*.

Partisipasi masyarakat dalam pengelolaan ekosistem *mangrove* dapat dilihat pada **Gambar 4**. Hasil analisis menunjukkan 91% masyarakat setuju dengan adanya perwakilan masyarakat dalam pengelolaan ekosistem *mangrove*. Sebanyak 97% masyarakat tidak setuju jika harus menerima tanpa ada pemberitahuan atau sosialisasi terlebih dahulu terkait pengelolaan *mangrove*. Lebih lanjut, 91% masyarakat setuju untuk berpartisipasi dalam kegiatan

pengelolaan *mangrove*. Selain itu, seluruh masyarakat setuju tentang kebijakan mengenai *mangrove* dikonsultasikan terlebih dahulu dengan masyarakat. Berdasarkan hal ini, dapat dilihat bahwa masyarakat ingin diikutsertakan dalam kebijakan mengenai ekosistem *mangrove*, baik dalam pemberitahuan atau konsultasi kebijakan maupun dalam partisipasi kegiatan pengelolaan *mangrove*. Akan tetapi, masyarakat secara umum juga tidak memiliki kapasitas untuk ikut merumuskan dan memutuskan kebijakan. Hal ini merupakan *gap* yang terjadi di masyarakat karena masyarakat merasa memiliki kewenangan untuk ekosistem *mangrove* di sekitarnya. Kondisi ini merupakan hal positif, karena dengan adanya rasa memiliki tersebut, masyarakat dapat lebih menjaga dan memperhatikan kondisi *mangrove* di lingkungan mereka. Partisipasi masyarakat dapat berupa kesadaran akan pentingnya ekosistem *mangrove* dengan tidak menebang pohon sembarangan, saling menegur, adanya hukuman bila terdapat sesama masyarakat yang melanggar, serta ikut serta dalam program pemerintah yang mengharuskan masyarakat berpartisipasi.

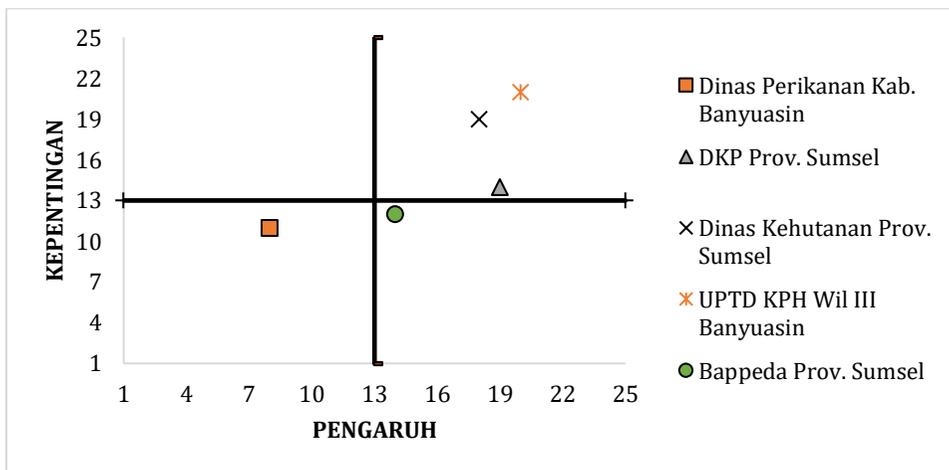


Gambar 4. Tingkat partisipasi masyarakat terhadap pengelolaan *mangrove*.

Persepsi dan partisipasi masyarakat terhadap pengelolaan *mangrove* di muara Sungai Musi cenderung tinggi. Hal yang serupa juga terjadi di kawasan hutan *mangrove* Tugurejo (KHMT), masyarakat di KHMT memiliki persepsi positif terhadap wilayah *mangrove*, sehingga berpengaruh positif pula terhadap partisipasi mereka dalam pengelolaan *mangrove*. Masyarakat di KHMT memiliki keinginan yang tinggi untuk melestarikan, menjaga dan berharap akan adanya upaya perlindungan dan perbaikan KHMT (Diarso *et al.* 2012). Menurut penelitian Hakim dan Darusman (2015), masyarakat di Wonorejo juga memiliki tingkat persepsi yang tinggi terhadap kawasan *mangrove*. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat mempunyai persepsi yang benar terhadap kawasan *mangrove*, serta mendukung keberadaan dan kelestariannya. Akan tetapi, partisipasi masyarakat dalam pengelolaan *mangrove* di Wonorejo cenderung rendah dimana masyarakat kurang terlibat atau dilibatkan.

3.2. Analisis stakeholder

Pemetaan *stakeholder* didapatkan dari hasil *interview* pengelolaan potensi sumber daya dalam ekosistem *mangrove* berdasarkan tingkat kepentingan dan pengaruh. UPTD KPH Wilayah III Banyuasin, Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan dan DKP Provinsi Sumatera Selatan memiliki kepentingan dan pengaruh yang tinggi (Kuadran II) (**Gambar 5**). *Stakeholder* yang berada pada Kuadran II merupakan *key player* yang perlu dilibatkan secara aktif dan penuh, termasuk pada saat evaluasi strategi baru (Oktavia dan Saharuddin 2013). UPTD KPH Wilayah III Banyuasin adalah *stakeholder* yang memiliki kepentingan dan pengaruh paling tinggi. UPTD ini adalah salah satu unit organisasi teknis pada Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan yang mengelola kawasan hutan dengan luas ± 70.290 ha (KPHL 2015).



Gambar 5. Kuadran analisis *stakeholder*.

Bappeda Provinsi Sumatera Selatan memiliki tingkat kepentingan rendah, namun memiliki pengaruh yang tinggi (Kuadran IV) yang disebut juga sebagai *context setter*. Menurut Oktavia dan Saharuddin (2013), *stakeholder* pada Kuadran IV harus dikelola dan dipantau dengan baik karena keberadaannya dapat mendatangkan risiko. Hubungan baik dengan *stakeholder* tersebut perlu terus dibina agar dapat terus berperan aktif dalam pencapaian tujuan, sehingga segala informasi yang dibutuhkan hendaknya tetap diberikan. Kegiatan pengelolaan atau pembangunan oleh Bappeda Provinsi Sumatera Selatan di Kabupaten Banyuasin berupa Pelabuhan Tanjung Api-api dan Tanjung Carat, serta kawasan ekonomi khusus. Meskipun tidak memiliki pengelolaan terkait *mangrove*, Bappeda Provinsi Sumatera Selatan memiliki pengaruh, berinteraksi dan bekerja sama dengan instansi lain yang berkaitan dengan wilayah muara Sungai Musi (Kabupaten Banyuasin) dan kegiatan pengelolaan ekosistem

mangrove. Kuadran III diisi oleh Dinas Perikanan Kabupaten Banyuasin yang memiliki pengaruh dan kepentingan rendah yang disebut juga sebagai *crowd/bystander*. Dinas Perikanan tidak memiliki pengelolaan terkait ekosistem *mangrove*/pesisir di muara Sungai Musi, akan tetapi masih tetap berpartisipasi dalam forum untuk membahas rencana pengelolaan dengan *stakeholder* lainnya.

Idealnya seluruh *stakeholder* hendaknya mempunyai kepentingan dan pengaruh yang tinggi (termasuk dalam *key players*). Sektor kehutanan dan perikanan/kelautan hendaknya saling berkolaborasi dalam pengelolaan ekosistem *mangrove* karena sama-sama memiliki kepentingan dan wewenang terkait *mangrove*. Kondisi *mangrove* yang baik akan meningkatkan produksi perikanan seperti udang dan kepiting, sehingga ekonomi masyarakat perikanan juga akan semakin meningkat. Dinas Perikanan Kabupaten Banyuasin hendaknya memiliki kepentingan dan pengaruh yang tinggi seperti DKP Provinsi Sumatera Selatan karena merupakan *stakeholder* paling dekat dan relatif lebih mengetahui kondisi wilayah pesisir muara Sungai Musi. Pembangunan di kawasan pesisir Sungai Musi seperti kawasan ekonomi khusus atau pelabuhan Tanjung Api-api juga dapat mempengaruhi kondisi ekosistem *mangrove* di muara Sungai Musi, sehingga Bappeda juga hendaknya memiliki kepentingan dan pengaruh yang tinggi untuk mengendalikan pembangunan dan melindungi ekosistem *mangrove*. Seperti halnya pada kajian di Kuala Langsa oleh Zurba (2017), *stakeholder* yang diklasifikasikan sebagai *key players* dan berperan aktif adalah Dinas Kelautan dan Perikanan, Dinas Pariwisata, Dinas Kehutanan dan Bappeda. Oleh karena itu, perlu ditingkatkan koordinasi tiap *stakeholder* melalui pertemuan rutin sebagai sarana komunikasi, koordinasi dan informasi dalam penyusunan rencana, pelaksanaan, hingga pemantauan dan evaluasi kegiatan.

3.3. Pengelolaan terkait emisi karbon

Upaya-upaya pengelolaan untuk mengurangi dampak perubahan iklim adalah dengan mengurangi emisi karbon dan meningkatkan penyerapannya. Pengelolaan ekosistem *mangrove* dalam menurunkan emisi karbon atau gas rumah kaca perlu dilakukan dengan membangun kerja sama dan koordinasi antar *stakeholder*, karena tidak cukup hanya satu *stakeholder* saja. Pertemuan berkala antar *stakeholder* dapat menjadi wadah diskusi terkait strategi pengelolaan penurunan emisi karbon dan dapat mempermudah koordinasi mulai dari perencanaan hingga pelaksanaan program kerja. Selain itu, upaya peningkatan kapasitas sumber daya manusia terkait emisi dan perubahan iklim akibat gas rumah kaca hingga kondisi lingkungan dapat mendorong masyarakat untuk ikut serta dalam pengelolaan *mangrove*. Daerah ekosistem *mangrove* merupakan sumber penghasilan masyarakat nelayan, sehingga semua *stakeholder* hingga masyarakat perlu memprioritaskan kegiatan konservasi.

Beberapa rekomendasi pengelolaan untuk peningkatan cadangan karbon diantaranya melalui:

- Penyediaan tenaga ahli dalam sosialisasi dan pengukuran data karbon.
- Pembuatan peraturan daerah mengenai pengelolaan dan harga karbon.
- Pemberdayaan dan peningkatan pengetahuan masyarakat sekitar mengenai karbon dan ekosistem *mangrove* melalui penyuluhan atau pelatihan terkait emisi karbon atau perubahan iklim seperti *global warming*. Masyarakat akan menjadi lebih paham tentang kondisi lingkungannya dan sadar pentingnya menjaga *mangrove* dan memanfaatkan secara bijak.
- Rehabilitasi hutan dan lahan, khususnya rehabilitasi *mangrove*.
- Pengembangan hasil hutan non kayu.
- Pengembangan teknik budidaya agroforestri dan konservasi tanah dan air.
- Pencegahan penurunan cadangan karbon, dapat berupa perlindungan dan konservasi sumber daya alam (khususnya hutan *mangrove*).
- Pencegahan dan pengendalian kebakaran hutan dan lahan.

Beberapa kawasan yang telah melakukan pengelolaan hutan untuk mengurangi emisi karbon adalah kawasan Hutan Adat Rumbio, Provinsi Riau dan Hutan Lindung Yapase, Papua. Masyarakat di daerah tersebut mendukung daerah mereka sebagai inisiator pengurangan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan (REDD+). Masyarakat Hutan Adat Rumbio telah memiliki lembaga khusus yakni badan pengelola hutan larangan adat Rumbio. Lembaga ini memiliki rencana pengelolaan selama 10 tahun, serta telah memasukkan pemanfaatan jasa lingkungan dan perdagangan karbon di dalam program kegiatannya. Masyarakat Desa Yapase juga membentuk kelompok kerja untuk menjaga kelestarian hutan dan sumber penghasilan masyarakat. Beberapa anggota kelompok kerja ini juga telah diberikan pelatihan tentang pengukuran karbon (Alviya *et al.* 2018).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Lebih dari 90% masyarakat mengetahui keberadaan dan fungsi *mangrove* dan setuju berpartisipasi terhadap berbagai kebijakan mengenai pengelolaan *mangrove*. Semua *stakeholder* hendaknya didorong menjadi *key player* dalam pengelolaan *mangrove* di muara Sungai Musi dan perlu keterpaduan antara *stakeholder* mulai dari perencanaan dan perumusan hingga pelaksanaan program. Disarankan untuk kedepannya agar menjaga dan melakukan rehabilitasi *mangrove* di muara Sungai Musi dan membentuk lembaga atau kelompok kerja yang melibatkan masyarakat untuk mendukung pengelolaan *mangrove* sebagai salah satu upaya mitigasi emisi karbon.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abbas R. 2005. Mekanisme perencanaan partisipasi pemangku kepentingan Taman Nasional Gunung Rinjani [Disertasi]. Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, IPB University. Bogor.
- Adame MF, Kauffman JB, Medina I, Gamboa JN, Torres O, Caamal JP, Reza M and Herrera-Silveira JA. 2013. Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the Mexican Caribbean. *PloS ONE* 8(2):1-13.
- Alviya I, Muttaqin MZ, Salminah M dan Hamdani FAU. 2018. Upaya penurunan karbon berbasis masyarakat di hutan berfungsi lindung. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan* 15(1):19-37.
- [BRPPU] Balai Riset Perikanan Perairan Umum. 2010. Perikanan perairan Sungai Musi Sumatera Selatan. BRPPU, Pusat Penelitian Pengelolaan Perikanan dan Konservasi Sumber Daya Ikan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Palembang.
- Diarto, Hendrarto B dan Suryoko S. 2012. Partisipasi masyarakat dalam pengelolaan lingkungan kawasan hutan mangrove Tugurejo di Kota Semarang. *Jurnal Ilmu Kelautan* 10 (1):1-7.
- Donato DC, Kauffman JB, Murdiyarso D, Kurnianto S, Stidham M and Kanninen M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience* 4:293-297.
- Hakim AM dan Darusman D. 2015. Persepsi, sikap, dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan hutan mangrove di Wonorejo, Surabaya, Jawa Timur. *Bonorowo Wetlands* 5(2):85-93.
- Kauffman J, Heider C, Cole T, Dwire K and Donato D. 2011. Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests. *Wetlands* 31:343-352.
- KepMenHut (Keputusan Menteri Kehutanan) Nomor 76 Tahun 2010 tentang penetapan KPHL dan KPHP di Provinsi Sumatera Selatan.
- KepMenLHK (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan) Nomor 173 Tahun 2018.
- [KPHL] Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung. 2015. Rencana pengelolaan hutan jangka panjang (RPHJP) kesatuan pengelolaan hutan lindung (KPHL) unit I Banyuasin. KPHL Unit I Banyuasin, Dinas Kehutanan dan Perkebunan Kabupaten Banyuasin. Banyuasin.
- Melki and Isnaini. 2014. Carbon stocks in mangrove ecosystems of Musi and Banyuasin Estuarine, South Sumatra Province. *Ilmu Kelautan* 19(3):131-138.
- Mumtas M and Wichien C. 2013. Stakeholder analysis for sustainable land marked management of Pak Phanang River Basin, Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Science* 91:349-356.

- Purwiyanto AIS and Agustriani F. 2016. Assessment of carbon status in marine protected area of Payung Island waters, South Sumatera Province, Indonesia. *Ilmu Kelautan* 22(1):1-6.
- Oktavia S dan Saharuddin. 2013. Hubungan peran stakeholders dengan partisipasi masyarakat dalam program agropolitan desa Karacak Kecamatan Leuwiliang Kabupaten Bogor. *Jurnal Sosiologi Pedesaan* 1(3):231-246.
- [Pemprov Sumsel] Pemerintah Provinsi Sumatera Selatan. 2018. Rencana aksi daerah (RAD) penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) Provinsi Sumatera Selatan tahun 2010-2030. Pemprov Sumsel. Palembang.
- Rachmawati D, Setyobudiandi I dan Hilmi E. 2014. Potensi estimasi karbon tersimpan pada vegetasi mangrove di wilayah pesisir Muara Gembong Kabupaten Bekasi. *Omni-Akuatika* 10(2):85-91.
- Suaedi. 2013. Metode kuantitatif untuk analisis kebijakan. IPB Press. Bogor.
- Suman DO. 2018. Mangrove management: challenges and guidelines. In: Perillo GME, Wolanski E, Cahoon DR and Hopkinson CS. *Coastal wetlands, second edition: an integrated and ecosystem approach*. Elsevier.
- Tue NT, Dung LV, Nhuan MT and Omori K. 2014. Carbon storage of a tropical mangrove forest in Mui Ca Mau National Park, Vietnam. *Catena* 121:119-126.
- Zurba N. 2017. Pengelolaan potensi sumberdaya ekosistem mangrove di Kuala Langsa, Aceh [Tesis]. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University. Bogor.

Kerentanan DAS Kali Bekasi ditinjau dari aspek sosial-ekonomi-kelembagaan

K. Prasetyo^{1*}, G. Prayoga¹, A. R. Azhar¹, T. Permadi¹, D. Pratiwi³

¹Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, IPB University, Bogor, Indonesia

²Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta, Indonesia

Abstrak.

Kelestarian sebuah DAS dipengaruhi oleh keadaan sosial-ekonomi, pola perilaku dan tingkat pengelolaan yang berkaitan erat dengan pengaturan kelembagaan. Permasalahan pengelolaan suatu DAS dapat diminimalkan dengan mengetahui kondisi sosial, ekonomi dan kelembagaan di wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi tingkat kerentanan sosial, ekonomi dan kelembagaan masyarakat, yang dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam pengelolaan DAS Kali Bekasi. Analisis kerentanan dilakukan pada tiga kriteria yaitu (1) kriteria sosial, meliputi parameter tekanan penduduk, budaya dan nilai tradisional (2) kriteria ekonomi, yaitu ketergantungan pada lahan dilihat dari sektor ekonomi dominan, serta (3) kriteria kelembagaan, yakni keberdayaan lembaga formal dan informal dalam kegiatan konservasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kerentanan DAS Kali Bekasi pada kriteria sosial (parameter kepadatan penduduk dan nilai tradisional) tergolong sangat tinggi, sedangkan untuk perilaku konservasi tergolong tidak rentan. Pada aspek ekonomi, mayoritas kecamatan pada DAS Kali Bekasi memiliki tingkat agak rentan, karena didominasi oleh sektor jasa sebagai sektor utama ekonomi. Aspek kelembagaan termasuk tidak rentan, karena kelembagaan formal dan informal berperan aktif dalam kegiatan konservasi DAS, seperti pengembangan wisata bambu dan program kampung iklim.

Kata kunci: Kali Bekasi, kerentanan, sosial ekonomi

Abstract.

Watershed sustainability is influenced by socio-economic conditions, behavior patterns and management levels closely related to institutional arrangements. Problems in watershed management can be minimized by knowing the social, economic and institutional conditions in the area. This study aimed to identify the level of social, economic and institutional vulnerability of the community, which can be considered in Bekasi River watershed management. Vulnerability analysis was carried out on three criteria: (1) Social criteria, including population pressure, culture and traditional values. (2) Economic criteria, namely dependence on land seen from the dominant economic sector, and (3) Institutional criteria, namely the empowerment of formal and informal institutions in conservation activities. The results showed that the Bekasi River watershed vulnerability level in social criteria (population density and traditional values parameters) was very high, while conservation behavior was not vulnerable. In the economic aspect, most sub-districts in the Bekasi River watershed had a moderate vulnerability level, as they were dominated by the service sector as the primary economic sector. The institutional aspect was not vulnerable because formal and informal institutions play an active role in the watershed conservation activities, such as bamboo tourism development and climate village program.

Keywords: Bekasi River, vulnerability, socio economic

1. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan satu kesatuan wilayah dengan sungai dan anak-anak sungainya. DAS memiliki fungsi menyimpan, menampung dan mengalirkan air secara alamiah dari curah hujan ke danau atau laut. Batas DAS di darat merupakan pemisah topografis, sedangkan batasnya di laut hingga daerah perairan yang masih terpengaruh oleh aktivitas daratan (UU Nomor 17 Tahun 2019).

* Korespondensi Penulis
Email : kunandarp@gmail.com

Berdasarkan hasil penelitian, kondisi DAS Kali Bekasi sudah tidak sehat lagi. Hal ini diindikasikan oleh terjadinya bencana banjir setiap tahun dan penurunan debit air yang cukup signifikan pada musim kemarau (Trihono *et al.* 2011). Lebih lanjut, DAS Kali Bekasi juga mengalami pencemaran yang cukup berat. Pada bulan September 2018, terjadi pencemaran di Kali Bekasi hingga airnya tampak berbusa, hitam dan berbau akibat peningkatan pencemaran yang terjadi selama seminggu terakhir (Republika.co.id 2018).

Kerusakan DAS disebabkan oleh pemanfaatan sumber daya alam yang berlebihan akibat dari tekanan jumlah penduduk dan kebijakan pemanfaatan yang tidak berkelanjutan (Mawardi 2010). Selain itu, kerusakan DAS juga dapat disebabkan oleh: (1) kemiskinan karena keterbatasan sumber daya manusia, mata pencaharian dan sumber daya alam; (2) pelayanan kelembagaan yang kurang bagi para petani di hulu/hutan; dan (3) kebijakan yang tidak membatasi kepemilikan atau penggunaan lahan. Peningkatan aktivitas pembangunan ekonomi, pertumbuhan penduduk dan perubahan tata guna lahan mengakibatkan tingginya tekanan pada lingkungan sungai (Widodo *et al.* 2010).

Kelestarian sebuah DAS dipengaruhi oleh keadaan sosial-ekonomi, pola perilaku dan tingkat pengelolaan yang berkaitan erat dengan pengaturan kelembagaan (Jariyah dan Pramono 2013). Berkaitan dengan hal itu, diperlukan sebuah sistem perencanaan pengelolaan DAS yang rasional dan objektif agar manfaat yang dapat diperoleh menjadi optimal dan berkelanjutan. Perencanaan pengelolaan DAS bersifat dinamis, karena proses-proses yang terjadi terus berkembang baik itu proses alam, sosial ekonomi kelembagaan, politik, maupun teknologi (Paimin *et al.* 2012).

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi tingkat kerentanan sosial, ekonomi dan kelembagaan masyarakat yang dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan pengelolaan DAS Kali Bekasi. Kerusakan DAS Kali Bekasi yang berakibat pada meningkatnya bencana hidrologi akan sangat berdampak pada sistem perekonomian dan sistem kehidupan masyarakat Bekasi sebagai daerah penyangga ibukota.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan di DAS Kali Bekasi pada November 2019. DAS Kali Bekasi mencakup wilayah Kabupaten Bekasi dan Kota Bekasi yang meliputi tujuh kecamatan (Jatiasih, Bekasi Timur, Babelan, Bekasi Utara, Bekasi Selatan, Tambun Utara dan Rawulumbu). Hulu DAS Kali Bekasi terletak di Kecamatan Jatiasih, Kota Bekasi yang merupakan lokasi pertemuan dua sungai (Sungai Cileungsi dan Cikeas), sedangkan bagian hilirnya bermuara di CBL (Cikarang Bekasi Laut) yang terletak di Kecamatan Babelan, Kabupaten Bekasi.

2.2. Jenis dan sumber data

Data primer berasal dari hasil pengamatan lapangan dan wawancara mendalam (*indepth interview*) kepada perangkat desa, tokoh masyarakat dan kelompok masyarakat yang terlibat aktif dalam kegiatan konservasi DAS. Data sekunder diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS), Dinas Lingkungan Hidup (DLH) dan Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Ciliwung Cisadane.

2.3. Analisis data

Luaran studi ini adalah pemetaan kondisi sosial berupa pemetaan tingkat kerentanan sosial, ekonomi dan kelembagaan. Penentuan tingkat kerentanan sosial, ekonomi dan kelembagaan masyarakat menggunakan metode yang dikembangkan oleh Paimin *et al.* (2012). Identifikasi masalah dilakukan terhadap karakterisasi DAS Kali Bekasi berdasarkan ketiga aspek tersebut.

a. Aspek sosial

Terdapat tiga parameter yaitu tekanan penduduk, budaya dan nilai tradisional. Tekanan penduduk dihitung dari tingkat kepadatan penduduk. Parameter budaya yaitu perilaku konservasi yang menunjukkan tingkat pengetahuan dan pelestarian konservasi di masyarakat. Nilai tradisional berkenaan dengan keberadaan nilai konservasi tanah dan air yang turun-temurun.

b. Aspek ekonomi

Mengacu pada parameter ketergantungan pada lahan yang dilihat dari sektor ekonomi dominan yaitu sektor pertanian, industri dan jasa. Kemudian, dibandingkan dengan tingkat kepadatan penduduk.

c. Aspek kelembagaan

Terdiri dari parameter keberdayaan lembaga formal dan informal dalam kegiatan konservasi.

Pengukuran kriteria sosial dan kelembagaan dilakukan dengan menggunakan **Tabel 1**, sedangkan untuk kriteria ekonomi menggunakan **Tabel 2**. Keseluruhan hasil pengukuran parameter pada aspek sosial, ekonomi dan kelembagaan diklasifikasikan ke dalam bentuk tingkat kerentanan berdasarkan klasifikasi pada **Tabel 3** yang mengacu pada Paimin *et al.* (2012).

Tabel 1. Kriteria dan parameter kerentanan sosial dan kelembagaan.

Kriteria	Parameter	Besaran	Skor
Sosial	Kepadatan penduduk	<250 jiwa/km ²	1
		250–400 jiwa/km ²	3
		>400 jiwa/km ²	5
	Budaya : Perilaku konservasi	- Konservasi telah melembaga dalam masyarakat (tahu manfaat, tahu teknik dan melaksanakan)	1

Kriteria	Parameter	Besaran	Skor	
Budaya : Hukum adat		- Masyarakat tahu, namun tidak melakukan	3	
		- Tidak tahu dan tidak melakukan	5	
		- Adat istiadat (<i>custom</i>), pelanggar dikucilkan	1	
		- Kebiasaan (<i>folkways</i>), pelanggar didenda secara adat	2	
		- Tata kelakuan (<i>mores</i>), pelanggar ditegur ketua adat/orang lain	3	
		- Cara (<i>usage</i>), pelanggar dicemooh	4	
		- Tidak ada hukuman	5	
		Nilai tradisional	Ada	1
			Tidak ada	5
		Kelembagaan	Keberdayaan kelembagaan informal pada konservasi	Ada dan berperan
Ada, namun tidak berperan	3			
Tidak berperan	5			
Keberdayaan kelembagaan formal pada konservasi	Sangat berperan		1	
	Cukup berperan		3	
	Tidak berperan		5	

Sumber: Paimin *et al.* (2012).

Tabel 2. Kriteria dan parameter kerentanan ekonomi menurut struktur ekonomi.

Kepadatan penduduk (orang/km ²)	Struktur ekonomi		
	Pertanian	Industri	Jasa
Jarang (<250)	3	2	1
Sedang (250–400)	4	3	2
Padat (>400)	5	4	3

Tabel 3. Klasifikasi tingkat kerentanan sosial, ekonomi dan kelembagaan.

Kategori	Nilai	Tingkat kerentanan/degradasi
Sangat tinggi	>4,3	Sangat rentan/Sangat terdegradasi
Tinggi	3,5–4,3	Rentan/Terdegradasi
Sedang	2,6–3,4	Agak rentan
Rendah	1,7–2,5	Sedikit rentan/Agak terdegradasi
Sangat rendah	<1,7	Tidak rentan/Tidak terdegradasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Gambaran umum DAS Kali Bekasi

DAS Kali Bekasi memiliki luasan sebesar 2.919,76 ha yang membentang dari daerah Jatiasih di Kota Bekasi (pertemuan Sungai Cileungsi dan Sungai Cikeas) hingga ke Babelan di Kabupaten Bekasi (sebelum pertemuan dengan Sungai CBL). Aktivitas antropogenik paling dominan di DAS Kali Bekasi adalah kegiatan ekonomi berupa industri dan jasa seperti pemukiman, pusat perbelanjaan, dll. Kali Bekasi memiliki lebar yang tidak terlalu besar dan arus yang cukup deras di bagian hulu, namun semakin tenang ke arah hilir.

Bagian hulu Kali Bekasi merupakan pertemuan antara Sungai Cileungsi dan Sungai Cikeas, sehingga karakteristiknya tidak seperti hulu sungai pada umumnya yang berupa kawasan pegunungan (**Gambar 1**). Kondisi sungai di bagian hulu memiliki arus relatif deras, lebar sungai besar dan warna air cokelat pekat. Tutupan lahan sekitar adalah semak dan lahan terbangun berupa perumahan dan industri. Kali Bekasi sering mengalami banjir saat musim penghujan dan terdampak pencemaran pada musim kemarau.



Gambar 1. Visualisasi kondisi DAS dan aliran Kali Bekasi di bagian hulu.

Bagian tengah DAS Kali Bekasi merupakan daerah perkotaan (pusat Kota Bekasi) dengan aktivitas antropogenik yang sangat padat meliputi pemukiman, pusat perbelanjaan, perdagangan, jasa, dll. Kali Bekasi pada bagian tengah memiliki arus air yang relatif tenang, lebar sungai tidak terlalu besar dan warna air cokelat meskipun tidak sepekat di bagian hulu. Tutupan lahan sekitar kebanyakan adalah pemukiman yang lokasinya cukup dekat dengan sungai. Namun, pada beberapa area masih cukup banyak ditumbuhi oleh vegetasi. Gambaran kondisi bagian tengah DAS Kali Bekasi tersaji pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Visualisasi kondisi DAS dan aliran Kali Bekasi di bagian tengah.

Bagian hilir dari aliran Kali Bekasi memiliki karakteristik arus yang sangat tenang dengan warna air cokelat dan lebar sungai yang tidak terlalu besar (**Gambar 3**). Tutupan lahan sekitar DAS pada bagian hilir didominasi oleh pemukiman dan lahan pertanian. Masyarakat sekitar memanfaatkan air kali untuk kegiatan pertanian dan air bersih. Pada kondisi pasang laut, aliran air Sungai CBL yang cenderung lebih tercemar dapat masuk ke aliran Kali Bekasi yang membuat air kali berubah menjadi kehitaman dan berbau tidak sedap.



Gambar 3. Visualisasi kondisi DAS dan aliran Kali Bekasi di bagian hilir.

3.2. Aspek sosial

3.2.1. Kepadatan penduduk

Jumlah penduduk rata-rata di kecamatan-kecamatan yang termasuk pada DAS Kali Bekasi adalah 252.398 jiwa dengan kepadatan penduduk rata-rata sebesar 9.848 jiwa/km² (**Tabel 4**). Kepadatan penduduk di DAS Kali Bekasi termasuk kategori sangat tinggi (>400 jiwa/km²). Kecamatan dengan jumlah penduduk tertinggi adalah Kecamatan Bekasi Utara (392.683) dengan kepadatan penduduk sebesar 16.489 jiwa/km².

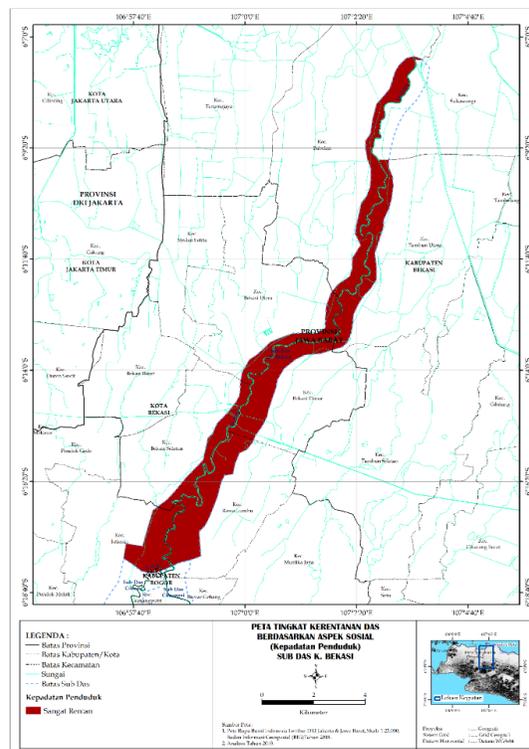
Tabel 4. Kepadatan penduduk menurut kecamatan di DAS Kali Bekasi tahun 2019.

Kecamatan	Jumlah penduduk (jiwa)	Luas wilayah (km ²)	Kepadatan penduduk (jiwa/km ²)	Skor	Kategori	Tingkat kerentanan
Jatiasih	258.451	24,27	8.458	5	Sangat tinggi	Sangat rentan
Bekasi Timur	260.377	14,63	17.801	5	Sangat tinggi	Sangat rentan
Babelan	308.454	59,41	5.193	5	Sangat tinggi	Sangat rentan
Bekasi Utara	392.683	19,75	16.489	5	Sangat tinggi	Sangat rentan
Bekasi Selatan	232.172	16,06	14.457	5	Sangat tinggi	Sangat rentan
Tambun Utara	229.231	29,67	7.660	5	Sangat tinggi	Sangat rentan
Rawalumbu	219.181	16,84	12.942	5	Sangat tinggi	Sangat rentan
Rata-rata	252.398	25,63	9.848	5	Sangat tinggi	Sangat rentan

Sumber: BPS Kabupaten Bekasi (2019) dan BPS Kota Bekasi (2019) (diolah).

Tingkat kerentanan DAS berdasarkan indikator kepadatan penduduk pada seluruh kecamatan di DAS Kali Bekasi termasuk dalam kategori sangat tinggi atau diklasifikasikan sangat rentan (**Gambar 4**). Kepadatan penduduk yang sangat tinggi dapat meningkatkan tekanan penduduk terhadap lahan di sekitar DAS. Tingginya kepadatan penduduk di DAS Kali Bekasi dikarenakan daerah tersebut merupakan pusat Kota Bekasi. Tingginya kepadatan penduduk dapat mengakibatkan beban polutan meningkat, kualitas air memburuk dan ekosistem menjadi terdegradasi. Peningkatan pertumbuhan dan kepadatan penduduk akan meningkatkan perubahan alih fungsi lahan yang berakibat pada kerusakan DAS (Hidayat 2017). Hasil penelitian Widodo *et al.* (2010) menunjukkan bahwa

pertumbuhan penduduk di kawasan Sungai Code meningkatkan permasalahan pada daerah sungai seperti pencemaran air, tingginya erosi dan sedimentasi, penyempitan pada badan sungai, hingga peningkatan intensitas dan frekuensi banjir. Lebih lanjut, hasil penelitian Liyanage and Yamada (2017) menunjukkan bahwa kepadatan penduduk merupakan faktor utama terjadinya degradasi dan kerusakan sungai. Semakin tinggi kepadatan penduduk di sekitar badan sungai, semakin tinggi pula tingkat degradasi sungai. Menurut Karpuzcu and Delipinar (2011), peningkatan pertumbuhan penduduk di sekitar DAS akan menyebabkan kelangkaan sumber daya alam dan percepatan terjadinya kerusakan lingkungan.



Gambar 4. Tingkat kerentanan DAS Kali Bekasi berdasarkan indikator kepadatan penduduk.

3.2.2. Budaya

Parameter budaya berupa perilaku konservasi dan hukum adat menunjukkan tingkat pengetahuan dan pelebagaan konservasi di masyarakat. Upaya konservasi sungai yang ditelaah mencakup kebiasaan membuang sampah rumah tangga. Hasil kajian menunjukkan bahwa perilaku konservasi telah berlangsung di masyarakat Kelurahan Bekasi Jaya dan Margahayu (**Tabel 5**). Berkaitan dengan tingkat kerentanan DAS, kedua desa ini mempunyai kategori tidak rentan (**Gambar 5**). Budaya konservasi yang baik ini dapat mengurangi tingkat kerusakan Kali Bekasi.

Mayoritas masyarakat di lokasi studi sudah mengetahui dampak negatif dan positif perilaku konservasi berupa pola pembuangan sampah. Masyarakat mengetahui bahwa membuang sampah ke Kali Bekasi dapat menyebabkan pencemaran air sungai. Kebijakan kelurahan tentang pembuatan bank sampah juga memberikan dampak positif terhadap upaya konservasi masyarakat. Namun demikian, upaya konservasi tidak berjalan dengan baik di pasar tradisional karena masih banyak pedagang yang membuang sampah ke sungai. Perilaku konservasi lingkungan yang dilakukan oleh masyarakat sangat ditentukan oleh kesadaran masyarakat terhadap kelestarian lingkungan. Adanya kesadaran tersebut akan menimbulkan rasa tanggung jawab terhadap lingkungan, sehingga muncul tindakan konservasi untuk menjaga keberlanjutan lingkungan (Du *et al.* 2018; Ardoina *et al.* 2019).

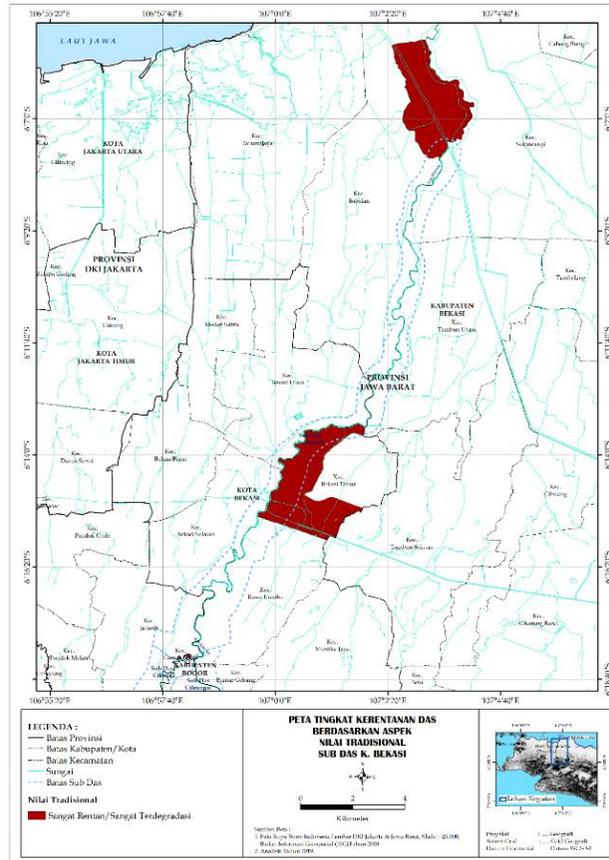
3.2.3. Nilai tradisional

Nilai tradisional atau kearifan lokal (*local wisdom*) pada dasarnya terkait dengan pengetahuan dan pemahaman praktik manusia dengan alam dan hubungan seluruh penghuni komunitas ekologi (Keraf 2010). Kearifan lokal sangat berharga dan memiliki manfaat dalam kehidupan masyarakat. Kearifan lokal banyak memberikan keberhasilan dalam mengonservasi atau mengelola sumber daya alam melalui pengetahuan, pemahaman dan kebiasaan yang dimiliki, sehingga mampu mencegah kerusakan fungsi lingkungan (Leo 2015).

Berdasarkan kajian, tidak ditemukan nilai tradisional yang diajarkan atau dilestarikan oleh masyarakat. Mengacu pada sidik cepat degradasi DAS (Paimin *et al.* 2012), diperoleh skor 5 untuk seluruh lokasi pengamatan yang berarti memiliki tingkat kerentanan yang sangat rentan/sangat terdegradasi (**Tabel 6** dan **Gambar 6**). Hal ini menandakan bahwa sudah tidak ada nilai tradisional atau kearifan lokal yang berkembang dalam kehidupan sehari-hari yang turun-temurun diajarkan, dilaksanakan dan dilestarikan. Ketiadaan nilai tersebut mengakibatkan masyarakat tidak lagi memiliki pengatur perilaku, sehingga masyarakat tidak merasa bersalah secara moral saat melakukan tindakan yang merusak. Perkembangan wilayah Kota Bekasi yang semakin pesat membuat nilai budaya berubah seiring dengan perkembangan masyarakatnya. Industrialisasi juga dapat merubah sistem nilai budaya yang ada. Kondisi tersebut membuat peran dari lembaga lokal dan adat semakin berkurang. Padahal keberadaan nilai tradisional sangat menguntungkan bagi lingkungan hidup, karena sangat membantu dalam mencegah terjadinya kerusakan lingkungan.

Tabel 6. Nilai tradisional di DAS Kali Bekasi.

Desa/Kelurahan	Nilai tradisional	Skor	Kategori	Tingkat kerentanan
Bekasi Jaya	Tidak ada	5	Sangat tinggi	Sangat rentan
Margahayu	Tidak ada	5	Sangat tinggi	Sangat rentan
Muara Bakti	Tidak ada	5	Sangat tinggi	Sangat rentan



Gambar 6. Tingkat kerentanan DAS Kali Bekasi berdasarkan indikator nilai tradisional.

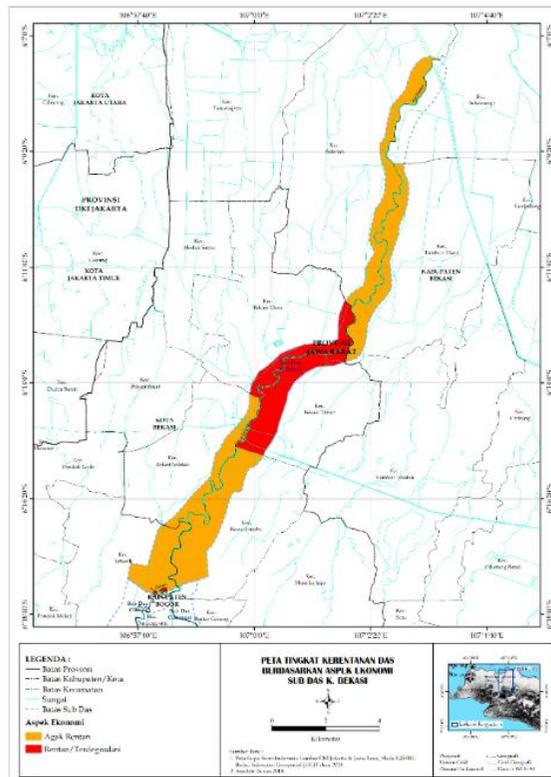
3.3. Aspek ekonomi

Struktur ekonomi di wilayah DAS Kali Bekasi didominasi oleh sektor ekonomi sekunder (industri) dan tersier (jasa) (BPS Kabupaten Bekasi 2019; BPS Kota Bekasi 2019). Kecamatan dengan perekonomian dominan industri adalah Kecamatan Bekasi Timur dan Bekasi Utara, sedangkan lima kecamatan lainnya dominan pada sektor jasa meliputi restoran/rumah makan, hotel, perumahan dan jasa kemasyarakatan lainnya (**Tabel 7**). DAS Kali Bekasi bersifat agak rentan ditinjau dari aspek ekonomi (**Gambar 7**). Kecamatan Bekasi Timur dan Bekasi Utara tergolong kategori rentan/terdegradasi karena struktur ekonomi yang dominan adalah industri. Keberadaan industri berpotensi memberikan dampak pencemaran pada air sungai. Namun demikian, Jariyah dan Pramono (2013) menyatakan bahwa tingkat kerentanan DAS lebih tinggi pada daerah dengan struktur ekonomi dominan pada sektor pertanian, karena praktik pertanian yang belum sesuai dengan kaidah konservasi dapat meningkatkan kerusakan DAS yang berujung pada bencana alam (banjir dan tanah longsor).

Tabel 7. Kerentanan penduduk terhadap lahan di DAS Kali Bekasi tahun 2019.

Kecamatan	Luas wilayah (km ²)	Kepadatan penduduk (jiwa/km ²)	Struktur ekonomi dominan	Skor	Tingkat kerentanan
Jatiasih	23,04	8.458	Jasa	3	Agak rentan
Bekasi Timur	14,63	17.801	Industri	4	Rentan/terdegradasi
Babelan	59,41	5.193	Jasa	3	Agak rentan
Bekasi Utara	19,75	16.489	Industri	4	Rentan/terdegradasi
Bekasi Selatan	16,06	14.457	Jasa	3	Agak rentan
Tambun Utara	29,67	7.660	Jasa	3	Agak rentan
Rawalumbu	16,84	12.942	Jasa	3	Agak rentan

Sumber: BPS Kabupaten Bekasi (2019) dan BPS Kota Bekasi (2019) (diolah).



Gambar 7. Tingkat kerentanan DAS Kali Bekasi berdasarkan indikator struktur ekonomi.

3.4. Aspek kelembagaan

Aspek kelembagaan berkaitan dengan keberdayaan kelembagaan informal dan formal. Kelembagaan informal diantaranya berupa kelompok arisan, pengajian, perkumpulan masyarakat, dll. Kelembagaan informal memiliki peranan yang cukup penting dalam konservasi tanah. Di sisi lain, dalam kelembagaan formal terdapat beberapa komponen seperti struktur organisasi, jenis, tujuan, dan fungsi lembaga, serta pembinaan dan pemeliharaan lembaga.

Seluruh lokasi pengamatan telah memiliki kelembagaan informal yang berperan aktif dalam konservasi dan pelestarian Kali Bekasi (**Tabel 8**). Kelembagaan informal di Kelurahan Margahayu telah mengembangkan objek wisata bambu di bantaran Kali Bekasi sebagai salah satu bentuk pelestarian dan peningkatan nilai tambah jasa lingkungan. Wisata bambu tersebut dikelola oleh Forum Masyarakat Pecinta Kali Bekasi (FMPKB). Kelurahan Margahayu juga telah mengembangkan program kampung iklim (Proklam) Merujuk pada PerMenLH Nomor 19 Tahun 2012, Proklam merupakan suatu upaya adaptasi dan mitigasi perubahan iklim.

Tabel 8. Kerentanan kelembagaan di DAS Kali Bekasi.

Desa/ Kelurahan	Keberdayaan kelembagaan informal	Skor	Kategori	Tingkat kerentanan
Bekasi Jaya	Karang taruna aktif berperan dalam konservasi	1	Sangat rendah	Tidak rentan
Margahayu	Kelompok masyarakat berperan aktif	1	Sangat rendah	Tidak rentan
Muara Bakti	Karang taruna aktif berperan dalam konservasi	1	Sangat rendah	Tidak rentan

Kelurahan Margahayu memiliki dua area sebagai lokasi pelaksanaan Proklam. Pada area-1 dengan luas sekitar 2.432 m² terdapat kegiatan lubang resapan, area tanaman bibit bunga dan pangan (mangga, jambu batu, lengkung, jeruk), pemilahan sampah organik dan non organik, serta pengolahan dan daur ulang limbah cair penduduk. Pada area-2 dengan luas lahan yang lebih kecil (860 m²) terdapat kegiatan pemanenan air hujan, pemanfaatan energi surya, pengolahan limbah cair penduduk (kolam ikan, serta pembibitan anggrek, tanaman untuk lanskap taman dan buah-buahan), pemilahan sampah kering yang dapat dipasarkan dan pembuatan kompos. Kegiatan Proklam yang dilakukan di Kelurahan Margahayu dapat dilihat pada **Gambar 8-12**.



Gambar 8. Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) RW 20 Kelurahan Margahayu.



Gambar 9. Kegiatan pemanenan air hujan dari atap rumah.



Gambar 10. Kolam budidaya ikan dari air hasil pengolahan IPAL.



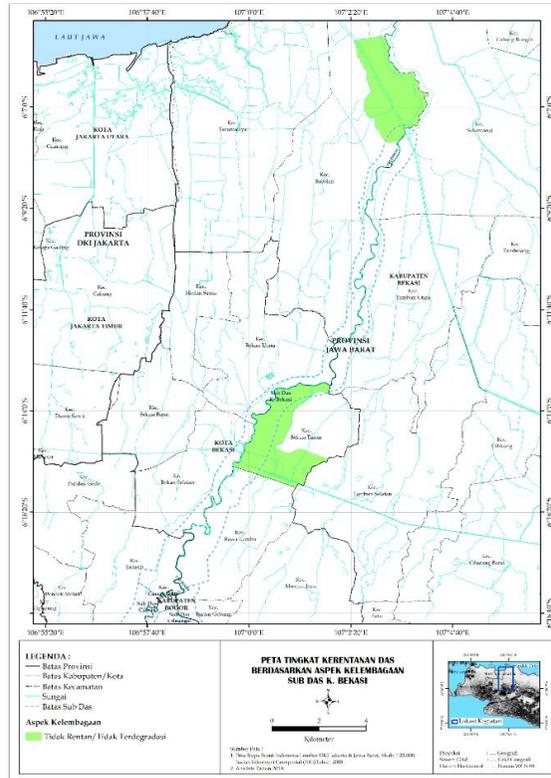
Gambar 11. Produksi kompos organik Kelurahan Margahayu.



Gambar 12. Penghargaan proklamasi Kelurahan Margahayu.

Berdasarkan hasil analisis, seluruh lokasi studi tergolong tidak rentan (**Gambar 13**). Keberdayaan kelompok informal dalam melakukan kegiatan konservasi mengindikasikan masyarakat telah memiliki kesadaran kolektif mengenai peran penting air dan upaya pelestarian sumber daya air bagi kehidupan. Namun demikian, perlu adanya program pemberdayaan bagi kelembagaan tersebut agar mampu melakukan kegiatan konservasi secara berkelanjutan. Menurut Bagherian *et al.* (2009), untuk menjaga keberlanjutan pengelolaan DAS sangat dibutuhkan kemitraan yang baik antara komunitas atau masyarakat dengan pemerintah dan pemangku kepentingan lainnya. Selain itu, upaya peningkatan kesadaran dan pengetahuan tentang pentingnya konservasi DAS juga perlu dilakukan secara berkelanjutan.

Wujud komitmen Pemerintah Kota Bekasi dalam menjaga kelestarian DAS Kali Bekasi tertuang dalam bentuk PerDa Kota Bekasi Nomor 20 Tahun 2019 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Regulasi tersebut menyatakan bahwa pengelolaan DAS harus meliputi pemberdayaan dengan tujuan meningkatkan kapasitas dan kapabilitas institusi pemerintah daerah, swasta dan masyarakat dalam perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, monitoring dan evaluasi. Peraturan daerah ini dapat menjadi acuan dan dasar dalam pengelolaan DAS Kali Bekasi agar dapat lestari dan memberikan manfaat kepada masyarakat sekitar.



Gambar 13. Tingkat kerentanan DAS Kali Bekasi berdasarkan indikator kelembagaan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kerentanan DAS Kali Bekasi berdasarkan pada aspek sosial (parameter kepadatan penduduk dan nilai tradisional) termasuk dalam kategori sangat tinggi, sedangkan untuk perilaku konservasi tergolong tidak rentan. Pada aspek ekonomi, mayoritas kecamatan di wilayah DAS Kali Bekasi tergolong agak rentan, karena sektor ekonomi dominannya berupa jasa. Berdasarkan aspek kelembagaan, DAS Kali Bekasi tergolong tidak rentan karena kelembagaan formal dan informal telah berperan aktif dalam kegiatan konservasi DAS Kali Bekasi, contohnya pengembangan wisata bambu dan program kampung iklim.

Banyaknya permasalahan pada DAS tidak lepas dari kebiasaan dan ketidakpedulian masyarakat dalam pengelolaan lingkungan. Oleh karena itu, pelibatan masyarakat pada proses perencanaan, perumusan kebijakan, pelaksanaan dan pemanfaatan DAS sangat dibutuhkan agar pengelolaan DAS dapat berkelanjutan. Selain itu, perlu adanya program pemberdayaan terhadap kelembagaan dan komunitas lokal agar dapat meningkatkan keberlanjutan pengelolaan DAS Kali Bekasi yang tentunya didukung dengan pengembangan kerja sama dari seluruh *stakeholder* terkait.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktorat Pengendalian Pencemaran Air, Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang telah memfasilitasi kajian ini dan atas kerja samanya dalam penyediaan data serta informasi, sehingga kajian ini dapat terselesaikan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ardoina NM, Bowersd AW and Gaillarde E. 2019. Environmental education outcomes for conservation: a systematic review. *Biological Conservation* 241.
- Bagherian R, Bahaman AS, Asnarulkhadi AS and Ahmad S. 2009. Community participation in watershed management programs. *Journal of Social Sciences* 5(3):251-256.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Bekasi. 2019. Kabupaten Bekasi dalam angka 2019. BPS Kabupaten Bekasi. Bekasi.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kota Bekasi. 2019. Kota Bekasi dalam angka 2019. BPS Kota Bekasi. Bekasi.
- Du Y, Wang X, Brombal D, Moriggi A, Sharpley A and Pang S. 2018. Changes in environmental awareness and its connection to local environmental management in water conservation zones: the case of Beijing, China. *Sustainability* 10(6):1-24.
- Hidayat MY. 2017. Pengaruh tekanan penduduk terhadap lahan pertanian di sub daerah aliran sungai yang dipulihkan (studi kasus pada sub daerah aliran Sungai Ciminyak). *Ecolab* 11(1):1-13.
- Jariyah NA dan Pramono IB. 2013. Kerentanan sosial ekonomi dan biofisik di DAS Serayu: collaborative management. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan* 10(3):141-156.
- Karpuzcu M and Delipinar S. 2011. Integrated watershed management: socioeconomic perspective. *TOJSAT* 1(3):1-7.
- Keraf AS. 2010. Etika lingkungan hidup. Kompas. Jakarta.
- Leo AS. 2015. The development of local wisdom-based social science learning model with Bengawan Solo as the learning source. *American International Journal of Social Science* 4(4):51-58.
- Liyanage CP and Yamada K. 2017. Impact of population growth on the water quality of natural water bodies. *Sustainability* 9(8):1-14.
- Mawardi I. 2010. Kerusakan daerah aliran sungai dan penurunan daya dukung sumberdaya air di Pulau Jawa serta penanganannya. *Jurnal Hidrosfir Indonesia* 5(2):1-11.

- Paimin, Pramono IB, Purwanto dan Indrawati DR. 2012. Sistem perencanaan pengelolaan daerah aliran sungai. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi. Bogor.
- PerDa (Peraturan Daerah) Kota Bekasi Nomor 20 Tahun 2019 tentang pengelolaan daerah aliran sungai.
- PerMenLH (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup) Nomor 19 Tahun 2012 tentang program kampung iklim.
- Republika.co.id. 2018. Kali Bekasi berbusa, DLH Kota Bekasi sidak dua pabrik [internet]. Tersedia di: <https://republika.co.id/berita/nasional/jabodeta-bek-nasional/18/09/05/pek2cf384-kali-bekasi-berbusa-dlh-kota-bekasi-sidak-dua-pabrik>.
- Trihono K, Sinukaban N, Pawitan H dan Tarigan SD. 2011. Analisis penanggulangan banjir Kota Bekasi dengan pengelolaan DAS. Forum Pascasarjana 34(1):1-11.
- UU (Undang-Undang) Nomor 17 Tahun 2019 tentang sumber daya air.
- Widodo B, Lupiyanto R dan Wijaya D. 2010. Pengelolaan kawasan Sungai Code berbasis masyarakat. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan 2(1):7-20.

Studi kasus evaluasi penerapan aspek pengolahan limbah cair industri farmasi

S. Meirdana^{1*}, S. W. Utomo^{1,2}

¹Departemen Kesehatan Lingkungan, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

²Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

Abstrak.

Industri farmasi merupakan salah satu industri yang tengah mengalami pertumbuhan di Indonesia. Salah satu perusahaan farmasi di Indonesia adalah PT X. Pada kegiatan produksinya, perusahaan menghasilkan empat kelompok limbah yaitu limbah cair, domestik, bahan berbahaya dan beracun (B3), serta gas. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas pengolahan limbah cair dan kepatuhan aspek pengolahan limbah cair berdasarkan ketentuan peraturan yang berlaku di Indonesia. Metode penelitian berupa pendekatan deskriptif kualitatif. Pengumpulan data mencakup dokumentasi, observasi dan wawancara tidak terstruktur. Pengolahan limbah kegiatan domestik, produksi dan penunjang menggunakan metode pengolahan limbah anaerob-aerob dengan proporsi 70:30. Hasil pengolahan limbah memperlihatkan kecenderungan bahwa parameter-parameter selalu memenuhi baku mutu selama 3 tahun terakhir, kecuali COD.

Kata kunci: pengolahan limbah cair, kepatuhan, regulasi

Abstract.

Pharmaceutical industry is one of the industries experiencing growth in Indonesia. One of the pharmaceutical companies in Indonesia is PT X. In its production activities, company produces four groups of waste, namely liquid, domestic, hazardous (B3) and gas waste. The aim of this research was to evaluate the effectivity of liquid waste management system and the compliance of liquid waste management towards regulatory provisions in Indonesia. The research method applied descriptive qualitative approach. Data collection including documentation, observation and unstructured interviews. Treatment of domestic, production and supporting activities waste using anaerobic-aerobic method with the proportion of 70:30. Waste treatment activities results revealed that the trend of parameters always met the existing quality standards for the last 3 years, except COD.

Keywords: liquid waste management, compliance, regulations

1. PENDAHULUAN

Industri farmasi adalah badan usaha yang mengantongi izin dari Menteri Kesehatan untuk memproduksi obat atau bahan obat (PerMenKes Nomor 1799 Tahun 2010). Industri ini merupakan salah satu industri yang tengah mengalami pertumbuhan di Indonesia, karena adanya peningkatan permintaan obat dari dalam dan luar negeri, serta pelaksanaan program layanan jaminan kesehatan oleh pemerintah. Berdasarkan berita resmi statistik, industri farmasi mengalami pertumbuhan produksi sebesar 18,58% pada triwulan IV (2019) dibandingkan dengan kondisi pada triwulan IV (2018) (BPS 2020). Salah satu perusahaan farmasi di Indonesia adalah PT X yang memiliki tiga fasilitas produksi. Satu dari tiga fasilitas produksi tersebut beroperasi sejak tahun 1974.

Menurut Kristanto (2004), limbah dapat dikelompokkan berdasarkan wujud (padat, cair, gas), sifat (berbahaya dan beracun, tidak berbahaya dan beracun), karakteristik (korosif, mudah menyala, beracun, reaktif) dan sumbernya (domestik, industrial). Limbah yang dihasilkan oleh perusahaan terdapat dalam wujud padat maupun cair, bersifat berbahaya dan beracun

* Korespondensi Penulis
Email : sasanti.meirdana@ui.ac.id

maupun tidak berbahaya dan beracun, serta bersumber dari kegiatan domestik maupun industri. Pada penelitian ini limbah yang diteliti adalah limbah cair.

Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pengolahan limbah cair dan ketaatan aspek pengolahan limbah cair berdasarkan ketentuan peraturan yang berlaku di Indonesia. Penelitian ini dapat bermanfaat sebagai referensi dan rekomendasi perbaikan pada sistem pengolahan limbah cair yang telah diimplementasikan oleh perusahaan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di fasilitas produksi PT X. Penelitian berlangsung selama enam minggu terhitung sejak tanggal 24 Agustus hingga 2 Oktober 2020. Subjek dalam penelitian adalah Departemen *Health, Safety and Environment* (HSE), khususnya pada area kerja pengolahan limbah cair.

2.2. Metode dan prosedur pengumpulan data

Penelitian menerapkan pendekatan deskriptif kualitatif. Menurut Hardani *et al.* (2020), penelitian kualitatif menitikberatkan pada penguraian (*describing*) dan pemahaman (*understanding*) terhadap permasalahan yang diamati. Data penelitian mencakup data primer dan sekunder. Data primer merupakan data yang didapatkan langsung dari subjek penelitian dengan menggunakan alat pengambil data atau alat ukur secara langsung, sedangkan data sekunder merupakan data yang didapat tidak langsung dari sumbernya seperti dari buku pedoman, profil, laporan, atau pustaka (Hardani *et al.* 2020). Pada penelitian ini, data primer yang digunakan adalah hasil pengukuran kualitas limbah cair yang dilakukan secara mandiri oleh penulis, sedangkan data sekundernya adalah data hasil pemantauan limbah cair yang dilakukan oleh perusahaan, dokumen *Standard Operating Procedure* (SOP) pengolahan limbah cair dan buku catatan (*logbook*) pengolahan limbah cair.

Pengumpulan data dilakukan melalui dokumentasi, observasi dan wawancara. Dokumentasi merupakan langkah dini yang dilakukan untuk mengkaji dokumen terkait pengolahan limbah cair. Dokumen tersebut adalah SOP dan *logbook* kegiatan pengolahan limbah cair, serta laporan hasil pengolahan limbah cair ke Dinas Lingkungan Hidup (DLH). Pengumpulan data berikutnya adalah melalui observasi yang meliputi kegiatan pengamatan dan pencatatan sistematis terhadap hal yang dikaji. Teknik berikutnya adalah wawancara yang merupakan diskusi yang dilakukan oleh beberapa orang dengan tujuan tertentu. Sugiyono (2010) menjelaskan bahwa wawancara terbagi menjadi wawancara terstruktur, semi terstruktur dan tidak terstruktur. Jenis wawancara pada studi ini adalah wawancara tidak terstruktur yakni

wawancara yang tidak memiliki pedoman wawancara yang sistematis dan lengkap. Namun demikian, terdapat *topic list* berisi garis besar hal-hal yang ingin ditanyakan sebagai penentu arah wawancara. Responden berjumlah lima orang yang terdiri dari *manager* dan *supervisor* Departemen HSE, petugas lingkungan (*environmental officer*), serta penanggung jawab dan teknisi instalasi pengolahan air limbah (IPAL).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sumber limbah cair

Limbah cair perusahaan bersumber dari kegiatan produksi dan penunjang maupun dari kegiatan domestik. Penjelasan mengenai limbah yang dihasilkan oleh perusahaan disampaikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Jenis dan sumber limbah cair perusahaan.

Jenis limbah	Sumber limbah
Limbah domestik	<u>Kegiatan domestik:</u> Kantin, kamar mandi dan toilet, ruang <i>laundry</i> dan mushola
Limbah industri	<u>Kegiatan produksi dan penunjang:</u> Ruang produksi, laboratorium, <i>cooling tower</i> dan <i>boiler</i>

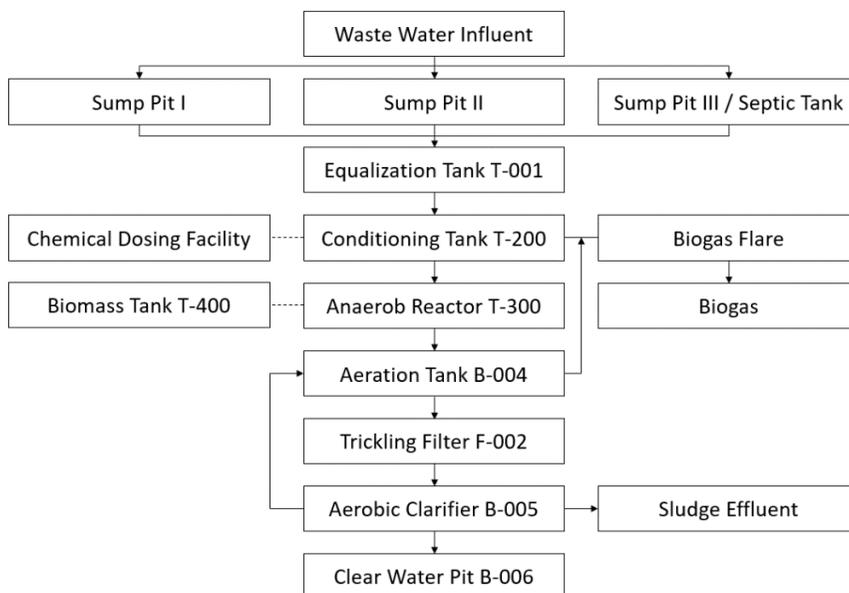
3.2. Proses dan metode pengolahan limbah cair

Perusahaan menggunakan IPAL untuk mengolah limbah cair yang dihasilkannya sebelum dibuang ke sungai. Pengolahan limbah cair dilakukan untuk memastikan air limbah yang akan dibuang sudah memenuhi baku mutu air limbah yang ditetapkan oleh KLHK. Saat ini, metode pengolahan limbah cair yang diterapkan adalah metode anaerob-aerob dengan proporsi pengolahan secara anaerob sebesar 70% dan pengolahan secara aerob sebesar 30%. Skema pengolahan limbah cair yang digunakan diuraikan pada **Gambar 1**.

Seluruh limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan domestik maupun penunjang produksi dialirkan melalui pipa *sump pit* menuju IPAL. Pipa *sump pit* berfungsi untuk menampung air sebelum dipompa ke *equalization tank*. Terdapat tiga pipa *sump pit* yang diletakkan di lokasi berbeda untuk mengalirkan limbah cair dari area kerja yang berbeda. Pipa *sump pit* I berasal dari laboratorium *quality*, *boiler* dan *production line*, pipa *sump pit* II berasal dari *production line* dan *cooling tower*, sedangkan pipa *sump pit* III atau *septic tank* berasal dari kantin, *warehouse*, *utility* dan toilet.

Setelah dialirkan melalui pipa *sump pit*, limbah cair masuk ke *equalization tank* untuk penyamaan debit dan kondisi limbah cair. Limbah yang telah diolah kemudian dipompa ke *conditioning tank* untuk penyamaan dan penyesuaian pH limbah. Pada *conditioning tank*, terdapat *chemical dosing facility* yang akan menginjeksikan bahan kimia penetral pH secara otomatis. Limbah yang sudah

dinetralkan pH-nya kemudian dipompa menuju *anaerob reactor* dan disirkulasikan di dalam tangki. Pada *anaerob reactor*, terdapat dua kelompok mikroorganisme yang akan membantu proses pengolahan limbah cair. Setelah itu, limbah dialirkan menuju *aeration tank* untuk memulai proses pengolahan limbah secara aerob. *Aeration tank* merupakan tempat untuk mengembangbiakkan bakteri pengurai. *Aeration tank* bekerja untuk memberikan udara kepada air limbah menggunakan sistem udara yang dihasilkan oleh pompa *blower*, sehingga oksigen dapat tersedia untuk kebutuhan bakteri pengurai agar tetap bisa hidup dan aktif bekerja. Limbah kemudian dialirkan ke *trickling filter* dan berakhir di *aerobic clarifier*. Proses yang terjadi dari *trickling filter* hingga *aerobic clarifier* adalah pemisahan antara padatan dan cairan, sehingga menghasilkan *sludge* pada dasar tangki. Limbah kemudian ditampung di *clear water pit* sebelum akhirnya dikembalikan ke sungai.



Gambar 1. Skema pengolahan limbah cair perusahaan.

3.3. Evaluasi baku mutu dalam pengolahan limbah cair

Perusahaan diketahui menghasilkan dua jenis air limbah yaitu air limbah domestik dan industri yang diolah secara bersamaan menggunakan IPAL. Mengacu Pasal 3 PerMenLHK Nomor P.68 Tahun 2016, pengolahan air limbah domestik yang digabung dengan limbah kegiatan lainnya ke dalam suatu sistem pengolahan air limbah harus dihitung secara terintegrasi. Perhitungan dilakukan untuk menyesuaikan baku mutu air limbah domestik yang relatif lebih rendah dibandingkan baku mutu air limbah industri. Perhitungan baku mutu air limbah domestik terintegrasi mempertimbangkan beberapa faktor berikut ini.

1) Debit air limbah tertinggi

Debit air limbah tertinggi adalah jumlah debit tertinggi air limbah domestik atau berdasarkan prakiraan dari setiap kegiatan, serta debit tertinggi air limbah dari kegiatan lainnya. Perhitungannya dinyatakan melalui **Persamaan 1**.

$$Q_{max} = \sum_i^n Q_i + \dots \cdot Q_m \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

Q_{max} = Debit air limbah tertinggi ($m^3/waktu$)

Q_i = Debit air limbah domestik tertinggi kegiatan i ($m^3/waktu$)

Q_m = Debit air limbah tertinggi kegiatan m ($m^3/waktu$)

2) Konsentrasi air limbah gabungan tertinggi

Konsentrasi tertinggi parameter yang sama dari setiap kegiatan dapat ditentukan melalui metode neraca massa. Perhitungannya disampaikan pada **Persamaan 2**.

$$C_{max} = \sum_i^n \frac{C_i Q_i + C_n Q_n}{Q_i + Q_n} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

C_{max} = Konsentrasi tertinggi setiap parameter (mg/l)

C_i = Konsentrasi tertinggi setiap parameter dalam baku mutu air limbah domestik kegiatan i (mg/l)

Q_i = Debit tertinggi air limbah domestik kegiatan i ($m^3/waktu$)

C_n = Konsentrasi tertinggi setiap parameter dalam baku mutu air limbah domestik kegiatan n (mg/l)

Q_n = Debit tertinggi air limbah domestik kegiatan n ($m^3/waktu$)

Berdasarkan penelusuran pada dokumen SOP pengolahan limbah cair, tidak ditemukan hasil perhitungan baku mutu air limbah domestik terintegrasi yang dilakukan oleh perusahaan. Namun, ditemukan fakta bahwa perusahaan menggunakan Lampiran XLVII PerMenLH Nomor 5 Tahun 2014 sebagai acuan baku mutu air limbah (**Tabel 2**). Hal tersebut tidak sejalan dengan Pasal 14 PerMenLH Nomor 5 Tahun 2014 yang menyatakan bahwa Lampiran XLVII hanya ditujukan untuk usaha yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan. Industri farmasi seharusnya menggunakan Lampiran XXXIX sebagai acuan baku mutu air limbah.

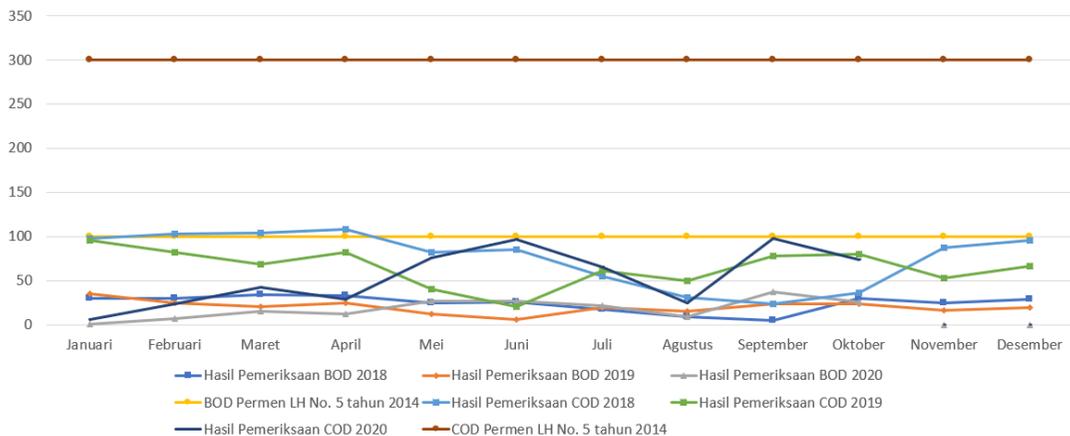
Tabel 2. Baku mutu air limbah yang digunakan oleh perusahaan.

Parameter	Satuan	Kadar maksimum
BOD	mg/L	100
COD	mg/L	300
TSS	mg/L	100
pH	-	6,0-9,0
<i>Total coliform</i>	MPN/100mL	3000

3.4. Evaluasi hasil pengolahan limbah cair

3.4.1. Parameter BOD dan COD

Merujuk pada Lampiran XXXIX PerMenLH Nomor 5 Tahun 2014, hasil pemeriksaan parameter BOD dan COD pada Januari 2018-Oktober 2020 selalu memenuhi baku mutu air limbah (**Gambar 2**). BOD diartikan sebagai kebutuhan oksigen dari bakteri dalam menguraikan bahan organik menjadi lebih sederhana di dalam air. Pemeriksaan BOD mengacu pada reaksi oksidasi bahan organik dengan oksigen yang berlangsung karena keberadaan bakteri (Kencanawati 2016). COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan zat-zat organik dan anorganik seperti halnya pada BOD. Pemeriksaan parameter COD menekankan kepada kebutuhan oksigen kimiawi dan senyawa yang diukur merupakan bahan organik yang tidak dirombak secara biokimia. Kadar COD pada limbah dapat dijadikan indikator bagi pencemaran zat anorganik pada air.



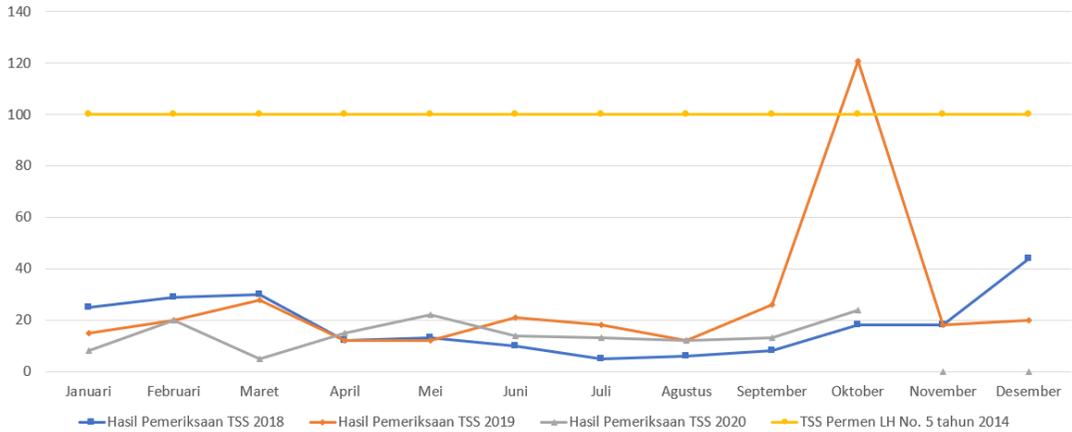
Gambar 2. Kecenderungan parameter BOD dan COD.

Perhitungan rasio BOD/COD dapat digunakan untuk mengetahui tingkat keoptimalan pengolahan limbah cair. Rasio BOD/COD merupakan indikator dampak dari zat organik, sehingga diperlukan untuk gambaran hasil suatu pengolahan limbah (Samudro and Mangkoedihardjo 2010). Rasio BOD/COD didapatkan dengan membagi antara konsentrasi BOD dengan COD dan rasio yang optimal adalah 0,1 (Putri *et al.* 2013). Berdasarkan hasil pengukuran, limbah cair perusahaan memiliki rasio BOD/COD sebesar 0,3, sehingga pengolahan limbah cair dapat dikatakan masih belum optimal.

3.4.2. Parameter TSS

Berdasarkan hasil pemeriksaan pada Januari 2018-Oktober 2020, parameter TSS pernah satu kali melampaui baku mutu air limbah yaitu pada Oktober 2019 (121 mg/L) (**Gambar 3**). Hal tersebut disebabkan oleh kerusakan

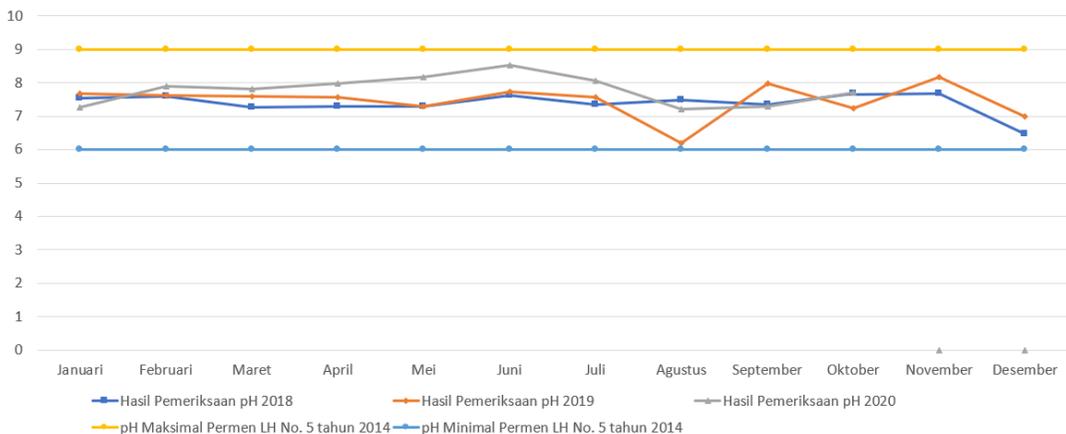
pada *trickling filter*, sehingga padatan tersuspensi yang seharusnya menempel pada permukaan media penyangga, terbawa keluar dan mengakibatkan peningkatan TSS. Setelah dilakukan perbaikan pada *trickling filter*, kadar TSS kembali rendah. Tingginya kadar TSS biasanya disebabkan oleh pembuangan partikel individu yang tidak akan mengendap dan selimut lumpur (*sludge blanket*) pada *aerobic clarifier* yang ikut tercuci keluar (Maine Department of Environmental Protection 2020). Tingginya kadar TSS di perusahaan disebabkan oleh pembuangan partikel individu yang tidak akan mengendap.



Gambar 3. Kecenderungan parameter TSS.

3.4.3. Parameter pH

Berdasarkan pemeriksaan pada Januari 2018-Oktober 2020, nilai pH selalu berada pada rentang 6,0–9,0 atau memenuhi baku mutu air limbah (Gambar 4). Namun, nilai pH pada Agustus 2019 hampir menyentuh baku mutu terendah (6,21) dan pada Juni 2020 hampir mencapai baku mutu tertinggi (8,52).



Gambar 4. Kecenderungan parameter pH.

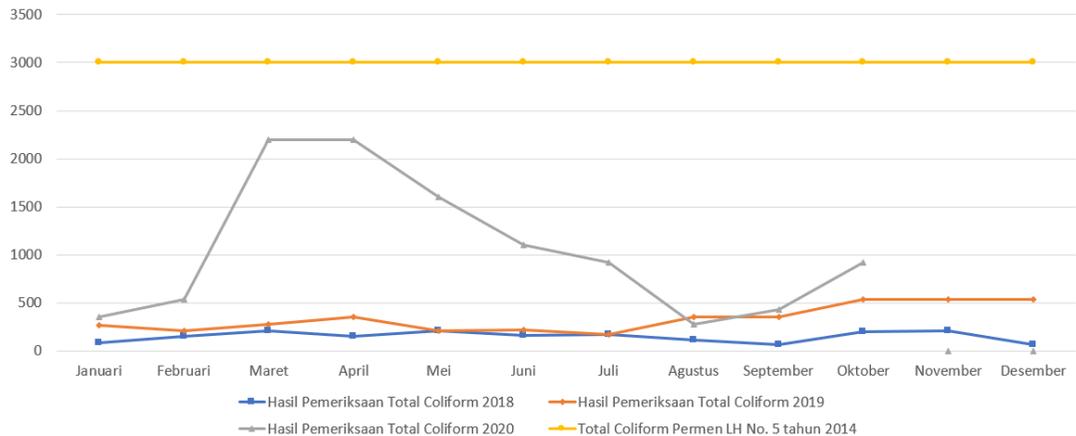
Pada Juni 2020, perusahaan mendapatkan bahan baku obat-obatan baru yang harus dianalisis di laboratorium, sehingga terjadi peningkatan penggunaan *coverall* harian, *inner clothing* dan jas lab. Perusahaan selalu menyediakan pakaian-pakaian khusus tersebut bagi para pekerja. Seluruh pakaian khusus ini dicuci setiap hari di ruang *laundry* perusahaan. Peningkatan penggunaan pakaian khusus menyebabkan aktivitas pencucian di ruang *laundry* juga turut mengalami peningkatan. Detergen yang digunakan untuk mencuci pakaian memiliki sifat basa, sehingga berkontribusi dalam meningkatkan nilai pH limbah cair yang hampir mencapai baku mutu tertinggi (8,52).

Nilai pH yang rendah pada hasil pengolahan air limbah dapat disebabkan oleh dua kondisi yaitu pH sudah rendah sejak sebelum dilakukan pengolahan air limbah dan terjadinya nitrifikasi yang dikombinasikan dengan rendahnya alkalinitas alami pada air limbah (Maine Department of Environmental Protection 2020). Kadar pH yang hampir menyentuh baku mutu terendah (6,21) disebabkan oleh nilai pH yang sudah rendah sejak sebelum dilakukan pengolahan air limbah. Bahan baku obat-obatan yang digunakan oleh perusahaan mayoritas bersifat asam seperti asam askorbat dan asam sitrat.

Tangki ekualisasi (*equalization tank*) memiliki peran penting dalam memastikan nilai pH pada air limbah hasil pengolahan IPAL. Agar nilai pH selalu memenuhi baku mutu, tangki ekualisasi harus selalu beroperasi dengan baik karena memiliki fungsi untuk menghomogenkan air limbah sebelum dilakukan pengolahan lebih lanjut, baik secara anaerob maupun aerob. Suasana homogen yang diciptakan oleh tangki ekualisasi akan membuat air limbah mudah diolah, karena sudah dipersiapkan untuk menghadapi bakteri pengurai yang dikondisikan bekerja pada pH 7,0–9,0.

3.4.4. Parameter *total coliform*

Berdasarkan hasil pemeriksaan pada Januari 2018–Oktober 2020, *total coliform* selalu memenuhi baku mutu air limbah (**Gambar 5**). Pemeriksaan *total coliform* dilakukan untuk mengetahui indikasi umum tentang kondisi sanitasi air limbah yang dihasilkan dan mengetahui keberadaan bakteri patogen lainnya (New York State Department of Health 2017). Bakteri patogen yang dapat ditemukan pada air limbah adalah *E. coli* dan *Salmonella*. Kedua jenis bakteri ini dapat menyebabkan diare dan khusus untuk *Salmonella* dapat menyebabkan penyakit lainnya seperti demam tifoid dan gastroenteritis (Mayo Clinic 2019).



Gambar 5. Kecenderungan parameter *total coliform*.

Evaluasi secara keseluruhan terhadap hasil pengolahan limbah cair yang dilakukan oleh perusahaan dirangkum dalam bentuk tabulasi pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Evaluasi hasil pengolahan limbah cair perusahaan.

Komponen	Parameter	Satuan	Baku mutu		Evaluasi
			PerMenLH 5/2014	PerMenLHK P.68/2016	
Fisik	TSS	mg/L	100	30	Baku mutu TSS pernah terlampaui satu kali (Oktober 2019)
Kimia	BOD	mg/L	300	100	Seluruh komponen kimia air limbah hasil olahan IPAL memenuhi baku mutu
	COD	mg/L	100	30	
	pH	-	6,0–9,0	6,0–9,0	
Biologis	<i>Total coliform</i>	MPN/100mL	-	3000	Komponen biologis air limbah hasil olahan IPAL memenuhi baku mutu

3.5. Evaluasi penaatan terhadap ketentuan peraturan dan izin

Berdasarkan hasil evaluasi penaatan aspek-aspek dalam pengolahan limbah cair, diketahui bahwa perusahaan telah mengimplementasikan beberapa ketentuan peraturan dan perizinan yang berlaku di Indonesia. **Tabel 4** menjelaskan aspek-aspek mana saja yang sudah ditaati dan yang masih memerlukan perbaikan oleh perusahaan. Terdapat tujuh aspek penaatan yang dievaluasi pelaksanaannya dan lima diantaranya telah ditaati oleh perusahaan. Dua aspek yang belum ditaati perusahaan adalah aspek ketaatan terhadap baku mutu dan aspek ketaatan terhadap parameter pemantauan.

Tabel 4. Evaluasi penaatan pengolahan limbah cair.

No	Aspek penaatan	Evaluasi	Status penaatan	Peraturan yang diacu
1	Ketaatan terhadap kepemilikan Izin Lingkungan	Telah memiliki Izin Lingkungan yang diterbitkan oleh Walikota	Taat	PP Nomor 27 Tahun 2012
2	Ketaatan terhadap kepemilikan Izin Pembuangan Air Limbah	Telah memiliki Izin Pembuangan Air Limbah pada 2019 dan berlaku hingga 2024 yang diterbitkan oleh Kepala Dinas Lingkungan Hidup	Taat	-
3	Ketaatan terhadap baku mutu	Belum melakukan perhitungan baku mutu air limbah domestik terintegrasi (Lampiran II PerMenLHK Nomor P.68 Tahun 2016) dan tidak menggunakan Lampiran XXXIX PerMenLH Nomor 5 Tahun 2014 sebagai acuan baku mutu	Belum taat	PerMenLH Nomor 5 Tahun 2014 dan PerMenLHK Nomor P.68 Tahun 2016
4	Ketaatan terhadap parameter pemantauan	Belum melakukan pemantauan terhadap parameter yang telah ditentukan pada Lampiran XXXIX PerMenLH Nomor 5 Tahun 2014	Belum taat	PerMenLH Nomor 5 Tahun 2014 dan PerMenLHK Nomor P.68 Tahun 2016
5	Ketaatan terhadap frekuensi pemantauan	Telah melakukan pemantauan kualitas air limbah yang dilakukan setiap satu bulan sekali	Taat	PerMenLH Nomor 5 Tahun 2014
6	Ketaatan terhadap pelaporan hasil pemantauan	Telah melakukan pelaporan hasil pemantauan kualitas air limbah yang dilakukan setiap 3 bulan sekali kepada DLH	Taat	PerMenLH Nomor 5 Tahun 2014
7	Ketaatan terhadap titik pembuangan air limbah	Menyalurkan air limbah hasil olahan IPAL dengan saluran tertutup menuju sungai. Posisi pembuangan telah sesuai dengan Izin Pembuangan Air Limbah yang dimiliki	Taat	-

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Efektivitas pengolahan limbah cair yang dilaksanakan perusahaan sudah cukup baik. Hal ini dibuktikan dengan data pemantauan hasil pengolahan limbah cair yang menunjukkan bahwa parameter BOD, COD dan pH selalu memenuhi baku mutu, sedangkan parameter TSS pernah satu kali melampaui baku mutu. Berdasarkan tujuh aspek evaluasi penaatan terhadap ketentuan peraturan dan perizinan, lima aspek diantaranya telah ditaati oleh perusahaan kecuali aspek

ketaatan terhadap baku mutu dan parameter pemantauan. Perusahaan seharusnya melakukan penentuan baku mutu mengikuti Lampiran II PerMenLHK Nomor P.68 Tahun 2016 dikarenakan jenis air limbah yang dihasilkannya, namun hal ini tidak dilakukan.

Saran untuk perusahaan dalam kaitannya dengan pengolahan limbah cair adalah melakukan analisis dan mencari metode pengolahan limbah cair tambahan untuk mengatasi permasalahan fluktuasi nilai COD. Beberapa metode untuk mengatasi permasalahan tersebut mencakup koagulasi, proses mikrobiologi atau oksidator. Selain itu, disarankan pula untuk memperbarui SOP, baku mutu dan parameter yang digunakan sebagai acuan dalam pemantauan hasil pengolahan limbah. Hal tersebut hendaknya disesuaikan dengan Lampiran II PerMenLHK Nomor P.68 Tahun 2016, mengingat air limbah yang dihasilkan berasal dari kegiatan domestik dan industri.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2020. Berita resmi statistik: pertumbuhan produksi industri manufaktur triwulan IV 2019 [internet]. Tersedia di: <https://www.bps.go.id/pressrelease/2020/02/03/1739/pertumbuhan-produksi-ibs-tahun-2019-naik-4-01-persen-dibandingkan-tahun-2018.html>.
- Hardani, Andriani H, Ustiawaty J, Utami EF, Istiqomah RR, Fardani RA, Sukmana DJ dan Auliya NH. 2020. Metode penelitian kualitatif & kuantitatif. CV. Pustaka Ilmu Group. Yogyakarta.
- Kencanawati CIPK. 2016. Sistem pengelolaan air limbah [internet]. Tersedia di: https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_pendidikan_1_dir/5099c1d958ba3deb6270dea7d2bc8bf6.pdf.
- Kristanto P. 2004. Ekologi industri. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Maine Department of Environmental Protection. 2020. Troubleshooting activated sludge processes [internet]. Tersedia di: https://www.maine.gov/dep/water/wwtreatment/troubleshooting_guide.pdf.
- Mayo Clinic. 2019. Salmonella infection [internet]. Tersedia di: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/salmonella/symptoms-causes/syc-20355329>.
- New York State Department of Health. 2017. Coliform bacteria in drinking water supplies [internet]. Tersedia di: https://www.health.ny.gov/environmental/water/drinking/coliform_bacteria.htm#:~:text=Total%20coliform%20counts%20give%20a,in%20human%20or%20animal%20waste.
- PerMenKes (Peraturan Menteri Kesehatan) Nomor 1799 Tahun 2010 tentang industri farmasi.
- PerMenLH (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup) Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah.

- PerMenLHK (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan) Nomor P.68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik.
- PP (Peraturan Pemerintah) Nomor 27 Tahun 2012 tentang izin lingkungan.
- Putri AR, Samudro G dan Handayani DS. 2013. Penentuan rasio BOD/COD optimal pada reaktor aerob, fakultatif, dan anaerob. *Jurnal Teknik Lingkungan* 2(1):1-5.
- Samudro G dan Mangkoedihardjo S. 2010. Review on BOD, COD and BOD/COD ratio: A triangle zone for toxic, biodegradable and stable levels. *International Journal of Academic Research* 2(4):235-239.
- Sugiyono. 2010. *Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta. Bandung.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY MANAGEMENT

ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025

Vol. 4 No. 3, Desember 2020

-
- Life cycle assessment* (LCA) kegiatan bank sampah di pedesaan 537-551
(Bank Sampah Asoka Berseri, Desa Sokosari, Tuban)
(T. T. Anasstasia, M. M. Azis)
- Pengelolaan limbah elektronika di DKI Jakarta menggunakan 552-564
pendekatan *Soft System Methodology*
(D. Rimantho)
- Pengelolaan ekosistem mangrove di muara Sungai Musi sebagai 565-575
upaya mitigasi emisi karbon
(H. Farahisah, F. Yulianda, H. Effendi)
- Kerentanan DAS Kali Bekasi ditinjau dari aspek sosial-ekonomi- 576-591
kelembagaan
(K. Prasetyo, G. Prayoga, A. R. Azhar, T. Permadi, D. Pratiwi)
- Studi kasus evaluasi penataan aspek pengolahan limbah cair 592-603
industri farmasi
(S. Meirdana, S. W. Utomo)
-

Tersedia secara *online* di www.bkpsl.org/ojswp/index.php/jplb

Sekretariat Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (JPLB)

Gedung Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) Lantai 4

Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

Telp. 0251 – 8621262; Fax. 0251 – 8622134

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



9 772598 002001



9 772598 001004