

Volume 3 Nomor 2 Tahun 2019
A g u s t u s 2 0 1 9

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

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

Asisten Editor

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

Gatot Prayoga, S.Pi (IPB)

Sekretariat

Dra. Nastiti Karlansyah, 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.

Konsentrasi C-organik dan substrat sedimen di perairan Pelabuhan Belawan Medan

Y. Yolanda^{1*}, H. Effendi², B. Sartono³

¹Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

²Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

³Departemen Statistika, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

Abstrak.

Penelitian ini bertujuan mengetahui konsentrasi C-organik dan substrat pada sedimen di perairan Pelabuhan Belawan, serta melihat korelasi antar keduanya. Lokasi penelitian dilakukan di DLKr dan DLKp Pelabuhan Belawan Medan dengan pengambilan sampel secara *random sampling* sebanyak 10 sampel. Analisis data menggunakan analisis korelasi Pearson *product moment*. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi C-organik berkisar 0,26–2,74%. Konsentrasi substrat pasir 61–99%, lumpur 1–29%, dan liat 0–18%. C-organik memiliki korelasi positif terhadap nilai interpretasi substrat lumpur (0,769), namun berkorelasi negatif terhadap substrat pasir (-0,816). Semakin halus substrat sedimen, kandungan C-organik akan semakin meningkat.

Kata Kunci: C-organik, pelabuhan, sedimen

Abstract

The study aims to determine the concentration of organic carbon and substrate in waters sediments of the Belawan Harbour and see correlation with each other. The location of the study was conducted in DLKr and DLKp in Belawan Port, Medan. Sampling method used random sampling with 10 samples. Data analysis using Pearson product moment correlation analysis. The results of the analysis of organic C concentrations ranged from 0.26 to 2.74%, while for the concentration of each substrate were 61 - 99% sand, 1 - 29% sludge, and 0 - 18% clay. The analysis shows that organic C has a positive correlation with the value of the interpretation of the mud substrate (0.769) while the sand substrate has a negative correlation (-0.816). The finer the sediment substrate, the higher the C-organic content in aquatic sediments.

Keywords: C-organic, harbour, sediment

1. PENDAHULUAN

Pelabuhan Belawan merupakan pelabuhan terbesar ketiga di Indonesia setelah Pelabuhan Tanjung Priok dan Tanjung Perak. Posisi geografis pelabuhan Belawan terletak berhadapan dengan selat Malaka, sehingga memiliki potensi yang tinggi sebagai pusat pengoperasian dan pengembangan ekonomi daerah. Pelabuhan ini terletak di muara dua buah sungai besar yang ada di Kota Medan yaitu Sungai Belawan dan Sungai Deli, sehingga muatan yang terbawa dari hulu hingga ke hilir beraneka ragam yang kemudian terendapkan di dasar perairan.

Salah satu tolok ukur kesuburan perairan adalah kandungan bahan organik di dalamnya. Bahan organik dalam jumlah tertentu akan berguna bagi perairan, namun apabila jumlah yang masuk berlebihan, maka akan mengganggu peruntukan perairan. Gangguan yang dimaksud berupa pendangkalan dan penurunan kualitas air (Odum 1997 dalam Sari *et al.* 2014). Sedimentasi atau pendangkalan di wilayah pelabuhan akan menyebabkan kapal tidak bisa bersandar atau berlayar. Alternatif yang sering dilakukan oleh pihak pelabuhan untuk mengatasi pendangkalan dan mempertahankan kedalaman operasional

* Korespondensi Penulis
Email: yolanda_yuni@yahoo.co.id

adalah dengan pengerukan. Namun, pada kenyataannya pengerukan bukan saja menjadi pemecah masalah sedimentasi, bahkan akan meningkatkan kekeruhan yang pada akhirnya menyebabkan penurunan jumlah spesies avertebrata (De Leeuw *et al.* 2010).

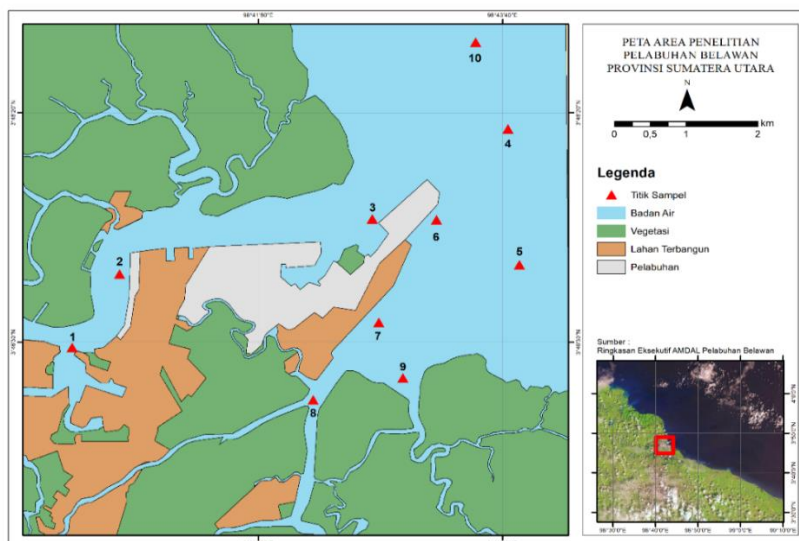
Sedimen yang terkontaminasi akan berdampak pada spesies akuatik, rantai makanan dan akhirnya pada kesehatan manusia Pourabadehei and Mulligan (2016). Dampak sosial ekonomi terhadap para nelayan yang menggantungkan hidupnya pada mencari ikan adalah semakin jauhnya wilayah operasi penangkapan ikan yang berimbas pada peningkatan biaya operasional.

Menurut Killops and Killops (1993), proses sedimentasi terjadi karena adanya pengendapan bahan organik dalam sedimen laut. Namun pada kondisi toksik, jumlah senyawa organik yang terendap di sedimen dapat berkurang akibat keberadaan oksigen di perairan (terjadi oksidasi). Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian mengenai kandungan bahan organik (khususnya C-organik) dan melihat substrat sedimen di perairan Pelabuhan Belawan, Medan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada bulan Desember 2018 di perairan Daerah Lingkungan Kerja (DLKr) dan Daerah Lingkungan Kepentingan (DLKp) Pelabuhan Belawan Medan, yang meliputi Muara Sungai Belawan dan Sungai Deli (sebelum & setelah adanya aktivitas pelabuhan). Titik pengambilan sampel berjumlah 10 stasiun (**Gambar 1** dan **Tabel 1**). Analisis sampel sedimen dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan. Analisis data menggunakan analisis korelasi Pearson *product moment*.



Gambar 1. Lokasi penelitian di perairan Pelabuhan Belawan.

Tabel 1. Lokasi pengamatan parameter sedimen perairan.

Kode Stasiun	Titik Pengambilan Sampel Sedimen	Koordinat	
		Lintang	Bujur
ST1	Muara Sungai Belawan	3°46'27,39"LU	98°40'26,15"BT
ST2	Terminal Penumpang-LANTAMAL	3°47'02,63"LU	98°40'47,55"BT
ST3	Dermaga bongkar muat	3°47'29,11"LU	98°42'41,42"BT
ST4	Proyek Reklamasi (pembangunan)	3°48'12,20"LU	98°43'42,50"BT
ST5	Laut Sungai Deli	3°47'07,10"LU	98°43'47,70"BT
ST6	Wisata Ocean Pasifik	3°47'28,60"LU	98°43'10,30"BT
ST7	Pelabuhan Perikanan Belawan (PPS)	3°46'39,40"LU	98°42'44,30"BT
ST8	Muara Sungai Deli I	3°46'02,28"LU	98°42'14,77"BT
ST9	Muara Sungai Deli II	3°46'12,70"LU	98°42'55,20"BT
ST10	Laut Sungai Belawan	3°48'53,90"LU	98°43'27,90"BT

2.2. Analisis data

Data primer dianalisis dan diolah dalam bentuk tabel dan grafik melalui aplikasi Microsoft Excel 2016. Korelasi antar variabel dianalisis dengan metode korelasi Pearson *Product Moment* yang kemudian diinterpretasikan secara rinci dan dilakukan perhitungan korelasi secara keseluruhan menggunakan *software* SPSS 16.0. Tahapan-tahapannya adalah sebagai berikut :

1) Interpretasi harga r

- Nilai r terbesar adalah +1 dan terkecil adalah -1 ($r = +1$ menunjukkan hubungan positif sempurna, $r = -1$ menunjukkan negatif sempurna).
- r tidak mempunyai satuan atau dimensi. Tanda + atau - hanya menunjukkan arah hubungan. Interpretasi terhadap koefisien korelasi secara konvensional disajikan pada **Tabel 2** (Guilford 1956).

Tabel 2. Pedoman derajat hubungan.

Koefisien Korelasi r	Interpretasi
0,80 – 1,00	Sangat tinggi
0,60 – 0,80	Tinggi
0,40 – 0,60	Cukup
0,20 – 0,40	Rendah
0,00 – 0,20	Sangat rendah

2) Pengambilan keputusan menggunakan derajat signifikansi sebagai berikut:

- Jika nilai signifikansi $< 0,05$, maka berkorelasi.
- Jika nilai signifikansi $> 0,05$, maka tidak berkorelasi.

3) Perhitungan korelasi keseluruhan menggunakan SPSS 16.0.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kandungan C-organik pada sedimen perairan Pelabuhan Belawan

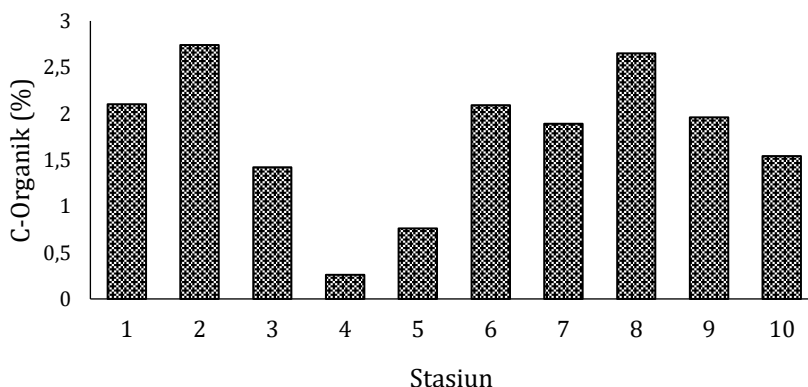
Karbon organik (C-organik) merupakan salah satu komponen penting sebagai penyusun kimiawi sedimen. Meskipun komponen organik dapat

terdekomposisi dan dikembalikan sebagian ke komponen anorganik, sebagiannya lagi masih terpreservasi dan menjadi komponen penting sebagai bagian dari penyusunan partikel sedimen di perairan. Hasil pengamatan kandungan C-organik pada setiap stasiun berbeda-beda. Kandungan C-organik di perairan Pelabuhan Belawan bervariasi berkisar 0,26-2,74% (**Tabel 3**).

Tabel 3. Konsentrasi C-organik sedimen perairan Pelabuhan Belawan.

Stasiun	Konsentrasi C-organik (%)
ST1	2,10
ST2	2,74
ST3	1,42
ST4	0,26
ST5	0,76
ST6	2,09
ST7	1,89
ST8	2,65
ST9	1,96
ST10	1,54

Kandungan C-organik dalam sedimen menunjukkan hasil tertinggi di stasiun 8 (Muara Sungai Deli I) sebesar 2,65 % dan yang terendah di stasiun 4 (kawasan pembangunan reklamasi) sebesar 0,26% (**Gambar 2**). Hal ini disebabkan, stasiun 8 merupakan Muara Sungai Deli karena di sepanjang aliran sungai banyak ditemukan tumbuhan yang diduga dapat menambah konsentrasi C-organik. Hasil dari pelapukan dedaunan yang berjatuhan di sekitar aliran sungai akan terbawa sampai muara sungai serta organisme berasosiasi dengannya kemudian mati dan terdegradasi dalam endapan (Habibi *et al.* 2014). Mikroba mentransfer substrat ke dalam sel melalui membran sitoplasma untuk melakukan proses dekomposisi bahan organik sehingga terjadi proses mineralisasi sedimen (Kristensen *et al.* 2008). Selain itu terdapat *mangrove* di sekitarnya yang diduga berpengaruh pada konsentrasi bahan organik, karena *mangrove* mampu menangkap bahan organik yang masuk ke muara sungai.



Gambar 2. Kandungan C-organik sedimen perairan Pelabuhan Belawan.

3.2. Kandungan substrat sedimen perairan Pelabuhan Belawan, Medan

Substrat pada sedimen merupakan parameter yang sangat penting bagi biota yang hidup di dasar perairan, misalnya siput gonggong yang menjadikan sedimen sebagai tempat hidup (habitat), memijah, bereproduksi, dan mencari makan. Hal ini erat kaitannya dengan aktivitas siput gonggong yang banyak berhubungan dan dipengaruhi oleh kandungan dasar perairan itu sendiri.

Tipologi substrat di perairan Pelabuhan Belawan Medan pada umumnya terdiri dari tiga segmen yaitu pasir, lumpur dan liat dengan komposisi pasir lebih tinggi pada setiap stasiunnya (**Tabel 4**). Kandungan substrat pada setiap stasiun berbeda pada masing-masing segmen. Hal ini dikarenakan pada setiap stasiun memiliki karakteristik dan kegiatan antropogenik yang berbeda-beda pula.

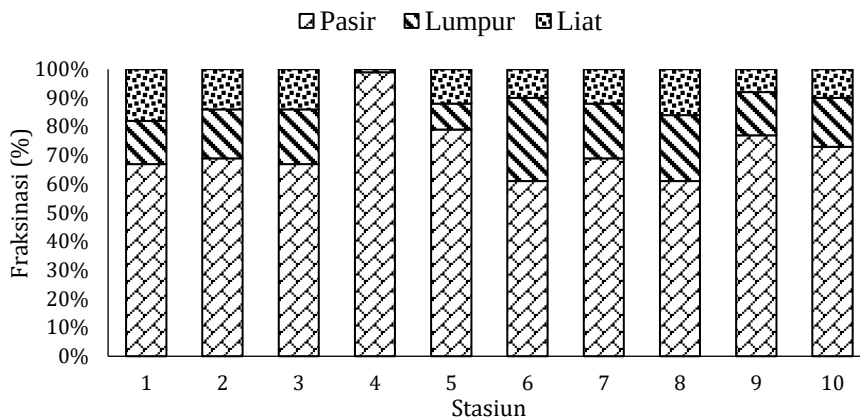
Tabel 4. Konsentrasi substrat sedimen perairan Pelabuhan Belawan.

Stasiun	Pasir (%)	Lumpur (%)	Liat (%)
ST1	67	15	18
ST2	69	17	14
ST3	67	19	14
ST4	99	1	0
ST5	79	9	12
ST6	61	29	10
ST7	69	19	12
ST8	61	23	16
ST9	77	15	8
ST10	73	17	10

Persentase tertinggi pada segmen substrat pasir ditemukan di stasiun 4 (kawasan reklamasi) yakni sebesar 99 %, sedangkan yang terendah ditemukan pada stasiun 6 (Ocean Pasifik) dan 8 (Muara Sungai Deli I). Hal ini diduga karena adanya proyek reklamasi yang saat ini diwajibkan menggunakan pasir laut guna keberlangsungan ekosistem lingkungan, sehingga stasiun 4 memiliki kandungan pasir yang jauh lebih tinggi. Menurut Xin *et al.* (2017), proyek reklamasi dapat mengubah transportasi sedimen dan siklus air. Perubahan transportasi terjadi pada lapisan bawah pembentukan pulau baru (reklamasi) yaitu pasir, kemudian di lapisan permukaan adalah tanah datar yang dapat menyebabkan subsidensi.

Substrat berlumpur tertinggi terdapat pada stasiun 6 (Ocean Pasifik) sebesar 29% dan terendah pada stasiun 4 (kawasan reklamasi) sebesar 1%. Hal ini diduga karena Ocean Pasifik merupakan salah satu kawasan wisata (restoran, kolam pemancingan ikan, area bermain, dsb), sehingga menyebabkan semakin melimpahnya sampah organik seperti sisa buangan makanan pengunjung, kotoran atau air buangan kolam pancingan, dan dedaunan pohon yang jatuh ke perairan. Hal ini membuat semakin kompleksnya masukan sampah organik yang kemudian mengendap di dalam sedimen.

Kandungan C-organik pada substrat liat ditemukan tertinggi pada stasiun 1 (Muara Sungai Belawan) sebesar 18% dan terendah pada stasiun 4 (kawasan reklamasi) sebesar 0% (**Gambar 3**).



Gambar 3. Kandungan substrat sedimen perairan Pelabuhan Belawan.

3.3. Korelasi antara C-organik dengan substrat sedimen perairan

Koefisien interpretasi digunakan untuk menafsirkan skor korelasi Pearson (*r*) antara C-organik dengan substrat sedimen, begitu juga antar fraksinasi sedimen perairan. Skor korelasi Pearson tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Korelasi Pearson antar variabel.

		C-organik	Pasir	Lumpur	Liat
C-organik	<i>Pearson Correlation</i>	1			
	<i>Sig. (2-tailed)</i>				
	N	10			
Pasir	<i>Pearson Correlation</i>	-0,816**	1		
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,004			
	N	10	10		
Lumpur	<i>Pearson Correlation</i>	0,769**	-0,928**	1	
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,009	0,000		
	N	10	10	10	
Liat	<i>Pearson Correlation</i>	0,654*	-0,826**	0,556	1
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,040	0,003	0,095	
	N	10	10	10	10

***. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).*

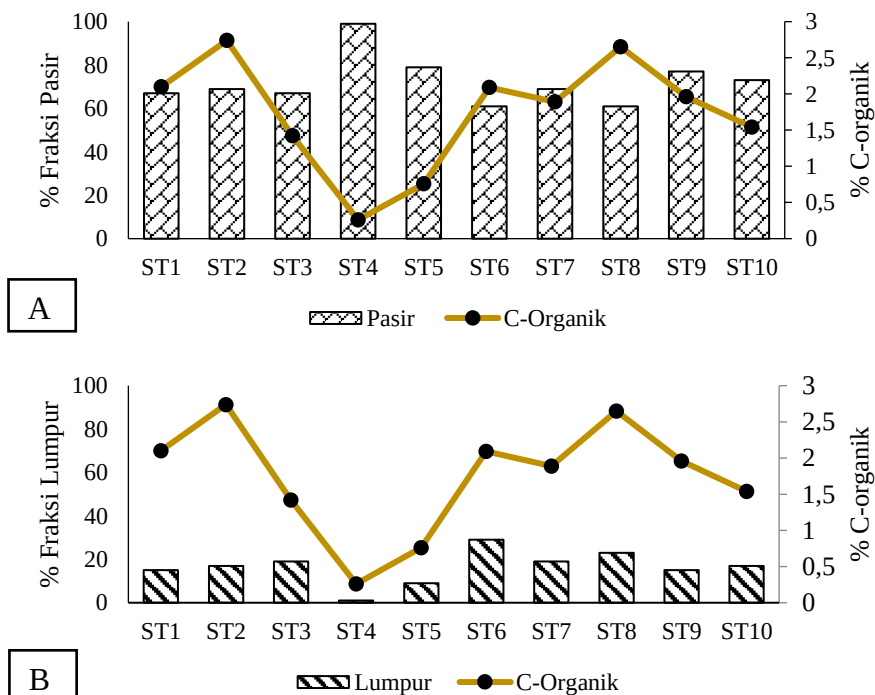
**. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).*

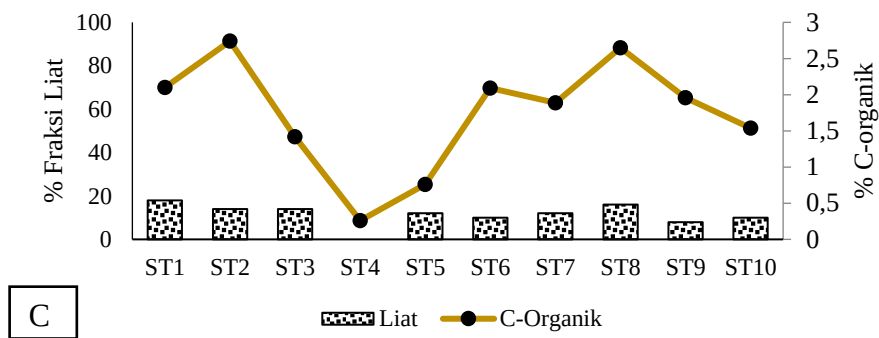
Pada **Tabel 5** terlihat bahwa korelasi positif tertinggi didapat antara C-organik dengan lumpur (0,769) (derajat hubungan tinggi). Sebaliknya, nilai korelasi negatif tertinggi didapat antara C-organik dengan pasir (-0,816) (derajat

hubungan sangat tinggi). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar lumpur atau liat yang terkandung pada sedimen, maka semakin tinggi kandungan C-organik yang ada di dalamnya. Berbanding terbalik pada substrat pasir, semakin tinggi kandungan pasir pada sedimen, maka semakin berkurang kandungan C-organiknya. Hal ini karena substrat berpasir tidak memiliki pori-pori yang rapat, sehingga substrat tidak mampu menyerap C-organik yang kemudian mudah terbawa arus. Substrat lumpur dan liat memiliki pori-pori yang lebih kecil, sehingga C-organik lebih mudah terendapkan. EPA (1985) dalam Hanifah (2007) menyatakan bahwa kandungan bahan organik dalam sedimen sangat berhubungan dengan jenis substratnya, substrat yang berbeda mempunyai kandungan bahan organik yang berbeda pula.

Korelasi diantara jenis substrat menunjukkan nilai tertinggi antara pasir dengan lumpur yang hampir mendekati korelasi sempurna (1,00) yakni -0,928 atau sangat tinggi. Hal ini menandakan bahwa, jika suatu perairan banyak mengandung substrat lumpur, maka kandungan substrat pasir berkurang.

Taraf signifikansi $p < 0,05$ ditemukan antara jenis substrat pasir dengan lumpur (0,00), pasir dengan liat (0,003) dan pasir dengan C-organik (0,009). Hal ini menunjukkan adanya korelasi (hubungan) pada masing-masing variabel tersebut. Variabel yang tidak memiliki korelasi ($p > 0,05$) adalah antara lumpur dengan liat (0,095) yang juga memiliki hasil interpretasi terkecil (0,556). Grafik korelasi setiap jenis substrat dengan C-organik tersaji pada **Gambar 4**.





Gambar 4. Korelasi C-organik dengan kandungan substrat.

- A : Grafik korelasi C-organik dengan substrat berpasir
 B : Grafik korelasi C-organik dengan substrat berlumpur
 C : Grafik korelasi C-organik dengan substrat liat

Kandungan C-organik dengan substrat dalam sedimen menunjukkan adanya korelasi yang kuat satu sama lain. Berdasarkan **Gambar 4A**, persentase substrat pasir tertinggi terdapat pada stasiun 4 (99%), sedangkan kandungan C-organiknya di lokasi tersebut merupakan yang terendah (0,26%). **Gambar 4B** menunjukkan substrat lumpur tertinggi pada stasiun 6 sebesar 29%, sedangkan kandungan C-organiknya cukup besar meskipun bukan yang paling besar yaitu 2,09%. **Gambar 4C** menunjukkan bahwa semakin halus substrat sedimen, maka jumlah C-organik dalam sedimen semakin besar. Terbukti dengan persentase substrat liat tertinggi terdapat pada stasiun 1 (18%) dan stasiun 8 (16%) yang juga memiliki kandungan C-organik tinggi yakni sebesar 2,10% dan 2,65%.

Lokasi stasiun 1 (Muara Sungai Belawan) dan stasiun 8 (muara Sungai Deli) diduga mendapat banyak masukan bahan organik akibat adanya aktivitas antropogenik dari hulu yang terbawa hingga ke muara sungai. Frohne *et al.* (2014) melaporkan bahwa sedimen mampu mengakumulasi bahan organik dan logam berat yang berasal dari kegiatan pabrik industri, erosi tanah, pembuangan air limbah, limpasan permukaan di kawasan perkotaan dan industri, serta presipitasi atmosfer yang masuk ke kolom air.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Segmen substrat sedimen di perairan Pelabuhan Belawan Medan terdiri dari substrat pasir, lumpur dan liat, yang mana substrat berpasir paling mendominasi di perairan ini. Korelasi antara C-organik dengan substrat sedimen memiliki keterkaitan yang tinggi dengan nilai signifikansi untuk pasir (0,004), lumpur (0,009) dan liat (0,040). C-organik memiliki korelasi positif dengan substrat lumpur (0,769), sedangkan dengan substrat pasir memiliki korelasi negatif (-0,816). Semakin halus substrat sedimen perairan, semakin meningkat pula kandungan C-organik di sedimen perairan tersebut.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada pihak Pelindo I Cabang Belawan Medan yang telah memberikan izin dan banyak membantu dalam proses penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada kedua pembimbing serta kepada semua penulis buku maupun jurnal yang dijadikan sebagai sumber telaah pustaka.

6. DAFTAR PUSTAKA

- De Leeuw J, Shankman D, Wu G, De Boer WF, Burnham J, He Q and Xiao J. 2010. Strategic assessment of the magnitude and impacts of sand mining in Poyang Lake, China. *Reg. Environ. Change* 10(2):95-102.
- Frohne T, Rinklebe J and Diaz-Bone RA. 2014. Contamination of floodplain soils along the Wupper River, Germany, with As, Co, Cu, Ni, Sb, and Zn and the impact of pre-definite redox variations on the mobility of these elements. *Soil Sediment Contam.* 23:779-799
- Guilford JP. 1956. *Fundamental statistic in psychology and education*. 3rd. Ed. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- Habibi MA, Maslukah L dan Wulandari SY. 2014. Studi konsentrasi fosfat bioavailable dan karbon organik total (KOT) dalam sedimen di Perairan Benteng Portugis, Jepara. *Jurnal Oseanografi* 3(4):690-697.
- Hanifah MZN. 2007. *Kualitas fisika-kimia sedimen serta hubungannya terhadap struktur komunitas makrozoobenthos di Estuari Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang [Tesis]*. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Killops SD and Killops VJ. 1993. *An introduction to organic geochemistry*. Longman Scientific & Tecnical. London.
- Kristensen E, Bouillon S, Dittmar T and Marchand C. 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: a review. *Aquat. Bot* 2:201-219.
- Pourabadehei M and Mulligan CN. 2016. Resuspension of sediment, a new approach for remediation of contaminated sediment. *Environ. Pollut* 213:63-75.
- Sari TA, Warsito A, dan Rina Z. 2014. Studi bahan organik total (BOT) sedimen dasar laut di Perairan Nabire, Teluk Cendrawasih, Papua. *Jurnal Oseanografi* 3(1):81-86.
- Xin C, Zhu W, Li M, Tian A, Guo J and Gu X. 2017. Research on the influnce of reclamation on water and sediment environment offshore. *Journal of Water Resources and Ocean Science* 6(4):55-60.

Makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas perairan Pulau Penyengat, Kepulauan Riau

Y. Rosdatina¹, T. Apriadi^{1*}, W. R. Melani¹

¹Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia

Abstrak.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas perairan Pulau Penyengat, Kepulauan Riau, berdasarkan keberadaan makrozoobentos. Penentuan stasiun penelitian menggunakan metode *purposive sampling*, yang terdiri dari 5 stasiun yaitu: daerah pelabuhan, pemukiman penduduk, reklamasi, ekosistem *mangrove* dan tempat pembuangan sampah sementara. Pengukuran parameter fisika dan kimia perairan serta pengambilan sampel makrozoobentos dilakukan sebanyak 3 kali ulangan pada setiap stasiun. Analisis kualitas perairan berdasarkan makrozoobentos menggunakan indeks AMBI (*A Marine Biotic Index*). Hasil penelitian menggambarkan bahwa parameter fisika dan kimia perairan Pulau Penyengat masih memenuhi baku mutu. Makrozoobentos yang dijumpai sebanyak 14 spesies terdiri dari 6 kelas. Indeks keanekaragaman pada setiap stasiun tergolong rendah, indeks keseragaman tergolong sedang-tinggi, sedangkan indeks dominansi tergolong rendah. Berdasarkan indeks AMBI, perairan Pulau Penyengat tergolong tidak tercemar.

Kata kunci: bioindikator, indeks AMBI, makrozoobentos, Pulau Penyengat

Abstract.

The objective of this study was to determine the water quality on Penyengat Island, Riau Islands, based on macrozoobenthos ecological index. Determination of research stations was by purposive sampling method. There were 5 sampling stations; ports area, residential areas, reclamation, mangrove ecosystem and temporary landfill. Physical and chemical parameters and macrozoobenthos were taken at each station by 3 repetitions. Macrozoobenthos as bioindicator water quality was analyzed by AMBI (A Marine Biotic Index). The results showed that water quality of Penyengat Island met quality standards. Macrozoobenthos were found as many as 14 species consisting of 6 classes. The diversity index value at each station was low, similarity index was medium to low, and dominance at all stations were low. Based on the category of AMBI index the waters of Penyengat Island in each station was classified as not polluted.

Keywords: *bioindicators, AMBI index, macrozoobenthos, Penyengat Island*

1. PENDAHULUAN

Pulau Penyengat terletak di Kelurahan Penyengat, Kecamatan Tanjungpinang Kota, Kota Tanjungpinang, Provinsi Kepulauan Riau yang mana Pulau Penyengat telah dikenal sebagai pulau tua bersejarah. Secara geografis wilayah Provinsi Kepulauan Riau terletak antara 0°40' LS dan 07°19' LU serta antara 103°30' BT sampai dengan 110°00' BT (Ramelan *et al.* 2017). Pulau Penyengat merupakan kawasan pesisir yang memiliki objek wisata yang tentunya memiliki aktivitas cukup padat seperti kawasan ekowisata, kegiatan transportasi laut, pembangunan taman wisata, tempat penampungan sementara (TPS) sampah dan aktivitas rumah tangga yang membuang limbah ke perairan.

Aktivitas masyarakat di sekitar pesisir pulau memegang andil dalam penurunan kualitas perairan. Penurunan kualitas perairan akan diikuti perubahan kondisi fisika, kimia dan biologis. Jika beban masukan bahan terlarut melebihi kapasitas maka timbul permasalahan yang serius yaitu pencemaran

* Korespondensi Penulis
Email : tri.apriadi@umrah.ac.id

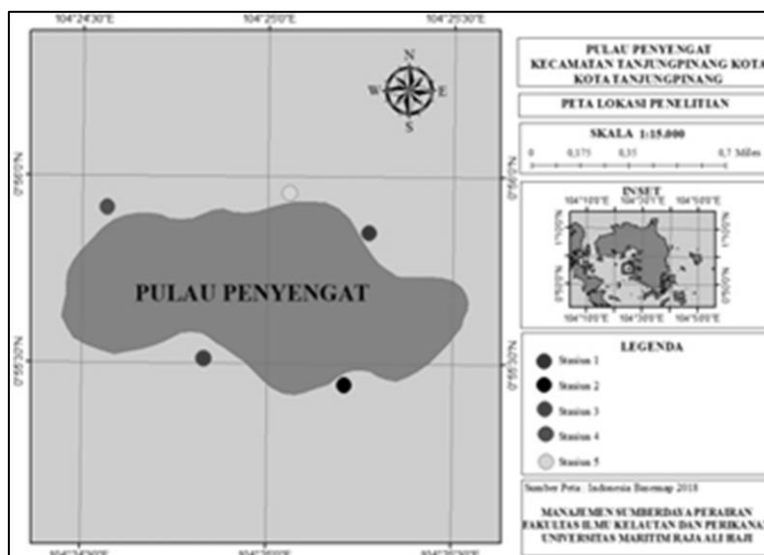
perairan yang akan berdampak pada penurunan keanekaragaman organisme termasuk makrozoobentos. Menurunnya kualitas perairan dapat diketahui dengan beberapa cara salah satunya dengan melihat keberadaan makrozoobentos di substratnya (Musthofa *et al.* 2014).

Makrozoobentos merupakan salah satu organisme akuatik yang menetap di dasar perairan, memiliki pergerakan relatif lambat dan dapat hidup relatif lama sehingga memiliki kemampuan untuk merespon kondisi kualitas perairan, serta sering dijadikan sebagai bioindikator (Zulkifli dan Setiawan 2011). Melihat adanya aktivitas yang berbeda di perairan Pulau Penyengat, maka peneliti melakukan kajian untuk mengetahui kualitas perairan Pulau Penyengat dengan menggunakan makrozoobentos sebagai bioindikator melalui perhitungan indeks ekologi makrozoobentos, indeks AMBI (*A Marine Biotic Index*), serta parameter fisika-kimia perairan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari-Maret 2019. Pengambilan sampel dilakukan di Perairan Pulau Penyengat, Kepulauan Riau. Penentuan lokasi sampling (stasiun) menggunakan metode *purposive sampling* berdasarkan pertimbangan tingkat aktivitas yang ada di Pulau Penyengat (**Gambar 1**).



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Pengambilan sampel dilakukan pada 5 stasiun. Stasiun 1 berada di daerah pelabuhan tempat transportasi laut antara Pulau Penyengat dengan Tanjungpinang. Stasiun 2 berada di pemukiman penduduk yang sebagian besar

aktivitas masyarakatnya berhubungan dengan laut, baik memanfaatkan hasil laut untuk kehidupan sehari-hari maupun membuang limbah. Stasiun 3 berada di depan Balai Adat yaitu tempat pembangunan taman (reklamasi). Stasiun 4 merupakan ekosistem *mangrove* yang masih cukup alami. Stasiun 5 merupakan TPS sampah seluruh masyarakat Pulau Penyengat, tepatnya di Kampung Bulang.

2.2. Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah multitester, GPS, refraktometer, turbidimeter, mikroskop stereo, ayakan dengan mata saring 1 mm, *ekman grab* dan *oven*. Bahan yang digunakan adalah *rose bengal* dan alkohol 70% untuk mengawetkan biota (APHA 2012).

2.3. Pengambilan dan penanganan sampel

Pengambilan sampel makrozoobentos menggunakan *ekman grab* ukuran 30x30 cm (900 cm²). Sampel makrozoobentos yang telah didapat kemudian disaring menggunakan ayakan. Setelah diperoleh, bentos dicuci dengan air tawar agar bersih, lalu dimasukkan ke dalam kantong sampel dan diberi larutan alkohol 70% dan *rose bengal* untuk pengawetan. Makrozoobentos kemudian diamati menggunakan mikroskop stereo di Laboratorium *Marine Biology*, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji.

2.4. Analisis data

Analisis makrozoobentos meliputi identifikasi makrozoobentos, kepadatan makrozoobentos, indeks keanekaragaman (H'), indeks keseragaman (E), indeks dominansi (C) dan indeks AMBI. Data hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Analisis makrozoobentos dilakukan dengan menggunakan **Persamaan 1-5**.

1. Kepadatan Populasi (Fachrul 2007; Brower *et al.* 1990 dalam Hafshah *et al.* 2012)

$$K = \frac{10000 \times a}{b} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan : K = Kepadatan makrozoobentos
a = Jumlah makrozoobentos
b = Luas bukaan *grab* (cm²)
 10000 = Konversi dari cm² ke m²

2. Indeks Keanekaragaman (Odum 1993; Krebs 2014)

$$H' = -\sum p_i \ln p_i \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan : H' = Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener
 Pi = Proporsi spesies ke-i (ni/N)

3. Indeks Keseragaman (Odum 1993; Krebs 2014)

$$E' = \frac{H'}{H \text{ maks}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan : E' = Indeks Keseragaman

H' = Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener

H' Maks = $\ln S$ (S = jumlah spesies)

4. Indeks Dominansi (Odum 1993; Krebs 2014)

$$C = \sum(\pi_i)^2 \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan : C = Indeks dominansi

π_i = proporsi spesies ke-i (n_i/N)

5. Indeks AMBI (*A Marine Biotic Index*) (Borja *et al.* 2000)

$$AMBI = \{(0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)\}/100 \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan : (G I) kelompok "Spesies sensitif"

(G II) kelompok "Spesies *indifferent*"

(G III) kelompok "Spesies toleran".

(G IV) kelompok "Spesies oportunistik urutan kedua

(G V) kelompok "Spesies oportunistik orde 1"

Parameter kualitas (fisik-kimia) perairan dianalisis menurut KepMenLH Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut untuk batas atau kadar kehidupan makrozoobentos di perairan Pulau Penyengat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kualitas perairan Pulau Penyengat

Secara umum berdasarkan baku mutu perairan KepMenLH Nomor 51 Tahun 2004, perairan Pulau Penyengat masih tergolong baik yang mampu mendukung kehidupan makrozoobentos. Tipe substrat yang dijumpai di perairan Pulau Penyengat yaitu pasir berkerikil dan kerikil berpasir. Substrat merupakan salah satu faktor yang sangat memengaruhi kehidupan, perkembangan dan keragaman makrozoobentos. Hasil pengukuran parameter fisik-kimia di perairan Pulau Penyengat disajikan pada **Tabel 1**.

Menurut Nuraccmi (2012) dalam Choirudin *et al.* (2014), makrozoobentos erat kaitannya dengan ketersediaan bahan organik dalam substrat, karena bahan organik yang umumnya terdapat pada substrat dasar merupakan sumber nutrisi bagi biota. Bahan organik sangat berpengaruh terhadap kelimpahan makrozoobentos, baik secara langsung maupun tidak. Namun, tingginya kandungan bahan organik tidak selamanya menguntungkan bagi organisme dasar perairan, karena dapat menyumbat alat pernafasan (Ulfah *et al.* 2012).

Tabel 1. Kualitas perairan Pulau Penyengat.

Parameter	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4	Stasiun 5	Baku Mutu*
Suhu (°C)	30,00±0,2	30,00±0,3	30,30±0,2	30,20±1,00	30,00±0,76	Alami
Kekeruhan (NTU)	0,92±0,17	1,67±1,15	1,00±0,25	0,73±0,37	1,27±0,68	< 5 NTU
Kecepatan arus (m/detik)	0,04±0,01	0,26±0,03	0,04±0,01	0,04±0,01	0,05±0,01	-
Salinitas (psu)	32,00±0,00	32,00±0,00	32,00±0,00	32,00±0,00	32,00±0,00	Alami
pH	7,52±0,54	7,52±0,44	7,55±0,44	7,65±0,39	7,62±0,42	7-8,5
DO (mg/L)	7,20±0,15	7,34±0,11	7,13±0,14	7,06±0,21	7,11±0,14	> 5 mg/L
TOM (mg/L)	9,60±0,02	13,60±0,02	11,60±0,03	8,00±0,01	7,00±0,02	-
Substrat	Pasir berkerikil	Kerikil berpasir	Pasir berkerikil	Pasir berkerikil	Kerikil berpasir	-

Keterangan : *Baku mutu berdasarkan KepMenLH Nomor 51 Tahun 2004.

3.2. Kepadatan dan komposisi makrozoobentos

Berdasarkan hasil identifikasi makrozoobentos, di perairan Pulau Penyengat ditemukan 4 filum makrozoobentos yang terdiri dari 6 kelas dan 14 genera. Keempat filum tersebut adalah mollusca, annelida, arthropoda, echinodermata. Sementara enam kelas yang ditemukan adalah gastropoda, bivalvia, chepapoda, clitellata, malacostraca dan echinodermata (**Tabel 2**).

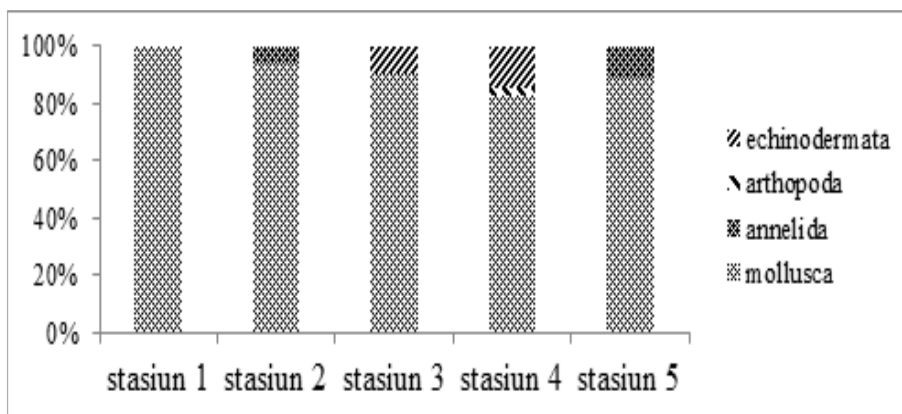
Kepadatan makrozoobentos tertinggi terdapat pada stasiun 2 sebanyak 139 ind/m² dan terendah pada stasiun 4 sebanyak 42 ind/m². Tingginya nilai kepadatan pada stasiun 2 diduga karena lokasi tersebut merupakan daerah pemukiman penduduk yang memiliki masukan bahan organik tinggi dibandingkan lokasi lainnya. Kondisi fisik-kimia lingkungan perairan memengaruhi kepadatan, komposisi dan tingkat keragaman makrozoobentos (Ulfah *et al.* 2012). Kepadatan makrozoobentos yang didapatkan selama penelitian secara lengkap tersaji pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kepadatan makrozoobentos.

Filum	Jenis	Kepadatan (ind/m ²)				
		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
Mollusca	<i>Cerithideopsis</i>	55	75	30		47
	<i>Littorina</i>	-	-	-	1	-
	<i>Clypeomorus</i>	21	11	-	-	-
	<i>Batillaria</i>	11	-	20	-	19
	<i>Litiopa</i>	-	-	18	-	-
	<i>Clavigera</i>	-	15	-	11	-
	<i>Pirenella</i>	-	15	-	-	-
	<i>Thiara</i>	6	-	-	14	-
	<i>Neotrigonia</i>	-	14	-	-	20
	<i>Tellina</i>	6	-	-	9	-
	<i>Spirula</i>	-	1	-	-	-
	Total Mollusca	100	131	68	35	86

Filum	Jenis	Kepadatan (ind/m ²)				
		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
Annelida	<i>Clitellio</i>	-	8	-	-	11
	Total Annelida	-	8	-	-	11
Arthropoda	<i>Litopenaeus</i>	-	-	-	1	-
	Total Arthropoda	-	-	-	1	-
Echinodermata	<i>Echinus</i>	-	-	7	6	-
	Total Echinodermata	-	-	7	6	-
TOTAL		100	139	75	42	97

Hasil analisis komposisi makrozoobentos pada tingkat filum menunjukkan adanya perbedaan komposisi penyusunan komunitas pada seluruh lokasi. Pada stasiun 1 hanya ditemukan kelas mollusca, stasiun 2 terdapat kelas mollusca dan annelida, stasiun 3 terdiri dari kelas mollusca dan echinodermata, stasiun 4 terdiri dari kelas mollusca, arthropoda dan echinodermata, sedangkan stasiun 5 terdapat kelas mollusca dan annelida. Gambaran persentase komposisi makrozoobentos di seluruh lokasi penelitian tersaji pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Komposisi makrozoobentos berdasarkan filum.

Pada semua lokasi ditemukan filum mollusca, yaitu stasiun 1-5 dengan nilai persentase yang tinggi. Mollusca yang memiliki sifat bisa bertahan di berbagai kondisi perairan yang baik maupun tidak, sehingga di semua stasiun ditemukan mollusca. Pada stasiun 2 yaitu daerah pemukiman penduduk dan stasiun 5 daerah TPS (tempat penampungan sementara) ditemukan filum annelida karena filum annelida bisa ditemukan pada perairan yang tercemar. Berbeda dengan echinodermata yang hanya di temukan di stasiun 3 dan 4, secara umum echinodermata lebih banyak dijumpai pada perairan yang jernih dan tenang (Radjab *et al.* 2014 dalam Sese *et al.* 2018).

Stasiun 3 dan 4 memiliki kecepatan arus lebih tenang dan kekeruhan yang lebih rendah dibandingkan stasiun lainnya. Filum arthropoda hanya ditemukan pada stasiun 4 yaitu daerah ekosistem *mangrove* karena arthropoda cukup

rentan terhadap gangguan komunitas dibandingkan pada stasiun 1, 2, 3 dan 5 yang ada aktivitas dan bisa memengaruhi keberadaan arthropoda.

3.3. Indeks ekologi makrozoobentos

Keanekaragaman makrozoobentos di perairan Pulau Penyengat tergolong rendah (sedikit) dengan nilai indeks keanekaragaman $<2,30$ (1,23-1,50). Sedikitnya jenis yang ditemukan diduga karena pengaruh aktivitas masyarakat yang mencari siput dan kerang. Hasil perhitungan indeks ekologi makrozoobentos disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Indeks ekologi makrozoobentos.

Indeks	Nilai Indeks				
	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4	Stasiun 5
Keanekaragaman (H')	1,23 (Rendah)	1,44 (Rendah)	1,28 (Rendah)	1,50 (Rendah)	1,24 (Rendah)
Keseragaman (E)	0,77 (Tinggi)	0,74 (Sedang)	0,92 (Tinggi)	0,83 (Tinggi)	0,89 (Tinggi)
Dominansi (C)	0,37 (Rendah)	0,33 (Rendah)	0,29 (Rendah)	0,30 (Rendah)	0,32 (Rendah)

Indeks keseragaman di perairan Pulau Penyengat pada stasiun 1, 3, 4 dan 5 tergolong tinggi dengan nilai mendekati maksimum (1,00). Tingginya indeks keseragaman menggambarkan penyebaran populasi makrozoobentos cukup baik. Stasiun 2 memiliki indeks keseragaman sedang, yang menggambarkan kondisi makrozoobentos masih rentan dari gangguan komunitas.

Nilai keseragaman berbanding terbalik dengan nilai dominansi. Nilai indeks dominansi di seluruh lokasi penelitian umumnya mendekati 0, artinya dominansi rendah atau tidak ada jenis tertentu yang mendominasi. Namun demikian, pada stasiun penelitian dijumpai jenis tertentu yang memiliki jumlah individu lebih banyak. Berdasarkan indeks ekologi, perairan Pulau Penyengat masih tergolong perairan yang baik karena tidak ada jenis yang mendominasi.

3.4. Indeks AMBI (*a marine biotic index*)

Masing-masing spesies makrozoobentos memiliki indikator terhadap pencemaran yakni bersifat fakultatif, toleran dan intoleran. Kelompok gastropoda jenis *Cerithideopsis* sp. dan *Batillaria* sp. sering ditemukan hampir di setiap stasiun, mulai dari stasiun dengan kondisi lingkungan baik sampai dengan kondisi kualitas air menurun. Kedua jenis makrozoobentos tersebut digolongkan ke dalam kriteria spesies fakultatif karena mempunyai kisaran hidup yang luas, serta dapat bertahan pada perairan yang mengandung bahan organik tinggi dan bahan pencemar pada tingkat tertentu.

Indeks AMBI digunakan untuk mengetahui nilai sensitivitas makrozoobentos. Nilai sensitivitas makrozoobentos di perairan Pulau

Penyengat untuk klasifikasi polusi masuk dalam kategori tidak tercemar, dengan komunitas bentik yang masih normal (**Tabel 4**). Jumlah makrozoobentos toleran yang ditemui relatif sedikit yang artinya perairan Pulau Penyengat masih baik dan mampu mendukung untuk kehidupan biota.

Tabel 4. Nilai indeks AMBI.

Indeks	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4	Stasiun 5
AMBI	0,015 (tidak tercemar)	0,017 (tidak tercemar)	0,018 (tidak tercemar)	0,017 (tidak tercemar)	0,018 (tidak tercemar)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kualitas perairan Pulau Penyengat berdasarkan fisika-kimia perairan pada setiap stasiun masih memenuhi baku mutu untuk mendukung kehidupan makrozoobentos. Perhitungan indeks ekologi diketahui bahwa spesies makrozoobentos pada perairan Pulau Penyengat masih tergolong rendah dengan kondisi makrozoobentos yang belum merata. Nilai indeks keanekaragaman di seluruh stasiun (rendah), keseragaman pada stasiun 1, 3, 4, 5 (tinggi) dan stasiun 2 (sedang), serta dominansi pada seluruh stasiun (rendah). Perairan Pulau Penyengat berdasarkan indeks AMBI tergolong tidak tercemar.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [APHA] American Public Health Association. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater 22nd edition. American Public Health Association. Virginia.
- Borja A, Franco J and Perez V. 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin* 40(12):1114-2000.
- Choirudin IR, Supardjo MN dan Muskananfolo MR. 2014. Studi hubungan kandungan bahan organik sedimen dengan kelimpahan makrozoobentos di Muara Sungai Wedung Kabupaten Demak. *Diponegoro Jurnal of Maquares* 3(3):168-176.
- Fachrul MF. 2007. Metode sampling bioekologi. Bumi Aksara. Jakarta
- Hafshah GI, Suherman H dan Mulyani Y. 2012. Hubungan limbah organik dengan struktur komunitas makrozoobentos di Sungai Musi Bagian Hilir. *Jurnal Perikanan dan Kelautan* 3(3):25-31.
- Musthofa A, Muskananfolo MR dan Rudiyaniti S. 2014. Analisis struktur komunitas makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas perairan Sungai Wedung Kabupaten Demak. *Diponegoro Jurnal of Maquares* 3(1):81-88.

- KepMenLH (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup) Nomor 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut.
- Krebs CJ. 2014. Species diversity measures, version 5. Addison Wesley Longman, Inc. New York.
- Odum EP. 1993 Dasar-dasar ekologi. Diterjemahkan oleh : Samingan T. UGM Press. Yogyakarta.
- Ramelan WDS, Oesma O, Ghautama G, Rahardjo S dan Widion P. 2017. Konsep zonasi Pulau Penyengat: sebuah alternatif. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Arkeologi 35(1):1-74.
- Sese MR, Annawaty dan Yusron E. 2018. Keanekaragaman echinodermata (echinoidea dan holothuroidea) di Pulau Bakalan, Banggai Kepulauan, Sulawesi Tengah, Indonesia. Scripta Biologica 5(2):73-77.
- Ulfah Y, Widianingsih dan Zainuri M. 2012. Struktur komunitas di perairan wilayah Morosari Desa Bedono, Kecamatan Sayung Demak. Journal of Marine Research 1(2):188-196.
- Zulkifli H dan Setiawan D. 2011. Struktur dan fungsi komunitas makrozoobentos di perairan Sungai Musi Kawasan Pulokerto sebagai Instrumen Biomonitoring. Jurnal Natur Indonesia 14(1):95-99.

Analisis sumber utama emisi gas rumah kaca pada perkebunan kelapa sawit dengan pendekatan *life cycle assessment*

D. Harimurti^{1*}, Hariyadi², E. Noor³

¹Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

²Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

³Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

Abstrak.

Perkembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia mengalami peningkatan pesat. Dibalik perkembangan pesat komoditas kelapa sawit, bermunculan masalah dan isu negatif mengenai perkebunan kelapa sawit sebagai penyebab kerusakan lingkungan dan peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis emisi GRK yang ditimbulkan dari kegiatan perkebunan kelapa sawit dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA adalah suatu metode untuk melakukan analisis dan evaluasi secara menyeluruh dari dampak lingkungan dalam siklus hidupnya. Tahapan metode LCA adalah *goal and scope definition*, *life cycle inventory*, *life cycle impact assessment*, dan *life cycle interpretation*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi GRK yang ditimbulkan dalam kegiatan perkebunan kelapa sawit selama 1 siklus berbeda-beda. Emisi GRK yang ditimbulkan pada fase TM (umur tanaman >3 tahun) menjadi yang terbesar dengan rata-rata 1887,64 kg CO₂-eq/Ha, sementara emisi GRK pada fase TBM (umur tanaman 0-3 tahun) sebesar 989,63 kg CO₂-eq/Ha. Sumber terbesar penyumbang emisi berasal dari kegiatan pemupukan. Pada fase TM, kegiatan pemupukan menyumbang emisi GRK sebesar 920,22 kg CO₂-eq/Ha dengan jenis pupuk paling dominan menyumbang emisi GRK adalah pupuk urea dan MOP yaitu sebesar 369,67 kg CO₂-eq/Ha dan 179,56 kg CO₂-eq/Ha.

Kata kunci: tandan buah segar, pemupukan, *life cycle assessment*, gas rumah kaca

Abstract.

There is rapid increase of development in palm oil plantations in Indonesia. However, with the increase of development there are also an increase of issues with regards of environmental damage in the form of Greenhouse gasses (GHG). This study aims to analyze GHG emissions in palm oil plantation activities using the Life Cycle Assessment (LCA) method. This method is able to thoroughly analyze and evaluate environmental impacts during a life cycle. The LCA method is divided into a few stages; goal and scope definition, life cycle inventory, life cycle impact assessment, and life cycle interpretation. The research shows that the amount of GHG emissions that are produced during a life cycle are different. The biggest contributor to GHG emissions is in the yielding (mature) plant phase with an average of 1887.64 kg CO₂-eq/Ha whilst GHG emissions from young (immature) plants are 989.63 kg CO₂-eq/Ha. The biggest source of emissions from each of these stages is in the fertilizing activities during the planting period, which is an average of 920.22 kg CO₂-eq/Ha. The most dominant type of fertilizer to generate GHG emissions is urea fertilizer and MOP which is 369.67 kg CO₂-eq/Ha and 179.56 kg CO₂-eq/Ha.

Keywords: fresh fruit bunches, fertilizer, life cycle assessment, greenhouse gasses

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Dewasa ini perkembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia mengalami peningkatan pesat, hal ini ditunjukkan dengan adanya permintaan CPO yang cukup signifikan. Pada tahun 1967, produksi *Crude Palm Oil* (CPO) sebesar 167.669 ton, kemudian jauh meningkat pada tahun 2017 menjadi 41,98 juta ton. Peningkatan konsumsi CPO dunia disebabkan meningkatnya konsumsi minyak nabati dunia sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk dunia yang

* Korespondensi Penulis
Email : harimurti.danang86@gmail.com

menggunakan minyak nabati sebagai bahan makanan, kosmetik, dan detergen (Wicke *et al.* 2008).

Salah satu sumber energi terbarukan yang menjadi perhatian akhir-akhir ini adalah biodiesel. Saat ini biodiesel dapat diproduksi dari berbagai macam tanaman seperti kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, *rapeseed*, dll (Yee *et al.* 2009). Dari semua tanaman penghasil biodiesel tersebut, kelapa sawit memiliki potensi untuk memenuhi permintaan biodiesel dunia yang meningkat karena memiliki produktivitas terbesar dibandingkan tanaman yang lain.

Tabel 1. Rata-rata produktivitas tanaman penghasil minyak nabati.

No	Tanaman	Rata-rata Produksi Minyak Nabati (ton/ha per tahun)
1	Kedelai	0,36
2	Bunga Matahari	0,42
3	<i>Rapeseed</i>	0,59
4	Kelapa Sawit	3,68

Sumber : Basiron (2007).

Pengelolaan lingkungan yang belum terintegrasi dan masih bersifat manual antara kebun dan pabrik berpotensi menimbulkan informasi permasalahan lingkungan yang bersifat kualitatif sehingga menyulitkan industri dalam hal pengambilan keputusan. Oleh karena itu, dalam rangka meningkatkan daya saing minyak kelapa sawit Indonesia di pasar dunia dan komitmen terhadap produksi kelapa sawit yang berkelanjutan untuk mengurangi emisi GRK, serta memberi perhatian serius terhadap masalah lingkungan, maka diperlukan suatu metode pendekatan sistematis. Metode yang dapat digunakan untuk melakukan analisis terhadap segala permasalahan tersebut adalah *Life Cycle Assessment* (LCA).

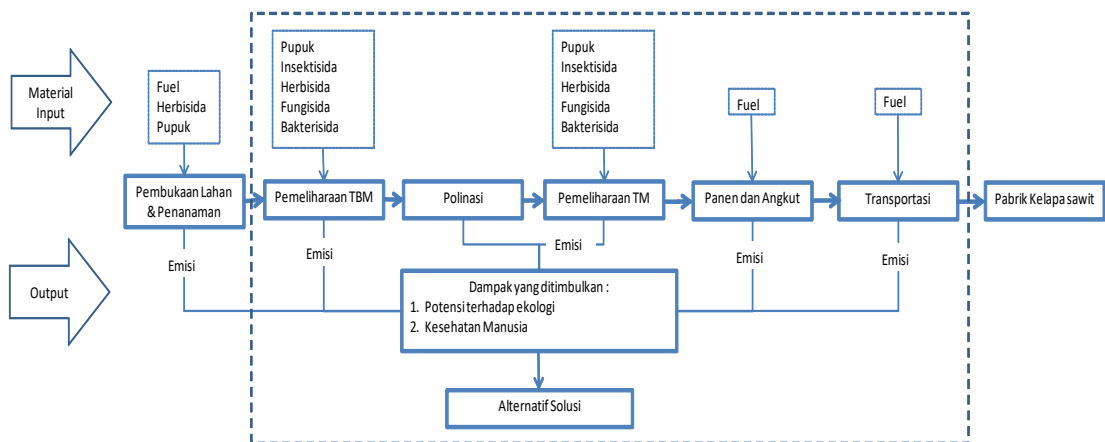
LCA adalah alat untuk menilai potensi dampak lingkungan dari sistem produk atau jasa pada semua tahap dalam siklus hidup mulai dari ekstraksi sumber daya, kegiatan produksi hingga daur ulang atau pembuangan akhir. LCA adalah suatu alat yang digunakan untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan dari suatu produk, proses atau aktivitas selama seluruh siklus hidup dengan mengukur penggunaan sumber daya (*input* seperti energi, bahan baku, air) dan emisi lingkungan (*output* untuk udara, air dan tanah) yang berkaitan dengan sistem yang sedang dievaluasi.

1.2. Perumusan masalah

Proses produksi Tandan Buah Segar (TBS) dibagi dalam beberapa tahapan yaitu pembukaan lahan, pemeliharaan tanaman belum menghasilkan (Fase Tanaman Belum Menghasilkan), kegiatan menjelang panen, pemeliharaan tanaman menghasilkan, panen dan pengangkutan, serta transportasi TBS ke pabrik (Fase Tanaman Menghasilkan). Pada setiap tahapan tersebut membutuhkan energi untuk melakukan proses yaitu dalam bentuk tenaga kerja manusia, tenaga listrik, bahan bakar, pupuk, dll.

Pengelolaan energi yang efisien dapat meningkatkan daya saing suatu industri karena menurunkan atau menghemat biaya produksi. Selain itu secara langsung maupun tidak, hal tersebut juga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan selama penggunaan energi. Emisi gas rumah kaca yang berlebihan menjadi penyebab utama penurunan kualitas lingkungan yang bisa menimbulkan dampak pemanasan global, perubahan iklim, *eutrophication*, *acidification*, dan kesehatan manusia (Pleanjai *et al.* 2007). Pengukuran gas rumah kaca yang dilepaskan pada setiap tahap produksi TBS sangat penting dilakukan, karena biodiesel yang merupakan produk turunan utama dari TBS digunakan untuk menggantikan penggunaan bahan bakar fosil. Perhitungan Gas Rumah Kaca (GRK) ini bertujuan untuk melihat seberapa besar dampak produksi biodiesel terhadap pemanasan global dibandingkan bahan bakar fosil. Belum diketahuinya emisi GRK yang dilepas pada setiap proses produksi TBS pada sebuah perusahaan perkebunan menjadi permasalahan pada penelitian ini.

Penelitian ini menjelaskan sumber emisi GRK dari setiap tahapan produksi TBS dan juga keseluruhan total emisi dalam satuan kg CO₂-eq per ton produk dari sebuah perusahaan perkebunan kelapa sawit. Hal ini dapat terlihat dalam model kerangka konseptual (**Gambar 1**).



Gambar 1. Kerangka pemikiran penelitian.

1.3. Tujuan, manfaat, dan batasan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi GRK dalam proses produksi TBS dan mengukur emisi GRK terbesar dari proses produksi TBS. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang emisi GRK yang akan timbul pada produksi TBS, sehingga dapat memberikan rekomendasi dalam upaya menghasilkan TBS yang ramah lingkungan.

Penelitian ini terbatas pada ruang lingkup proses produksi TBS dari kegiatan menjelang panen, pemeliharaan tanaman menghasilkan, panen dan pengangkutan, serta transportasi TBS ke pabrik. Bahasan mengenai emisi yang dilepas dikonversikan dalam kilogram karbon dioksida (kg CO₂ equivalent).

Selain itu, penelitian ini tidak mencakup penghitungan emisi alih fungsi lahan dan dampak sosial ekonomi produk. Penjelasan detailnya dijelaskan pada tahapan definisi dan ruang lingkup LCA.

2. METODOLOGI

2.1. Waktu dan tempat penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Januari-Juli 2019 di PT. XYZ yang terletak di Kecamatan Danau Sembuluh, Seruyan Tengah dan Hanau, Kabupaten Kotawaringin Timur, Provinsi Kalimantan Tengah. PT. XYZ merupakan perusahaan pengolah kelapa sawit menjadi CPO dengan kapasitas 60 ton/jam pada luas area 17.780 Ha.

2.2. Tahapan penelitian

Penelitian diawali dengan tahapan pendahuluan meliputi identifikasi masalah, studi literatur, studi lapangan, dan penentuan tujuan penelitian. Langkah berikutnya masuk pada proses penelitian yang terdiri dari studi literatur, identifikasi masalah, perumusan masalah, pengumpulan data, pengolahan data, analisa, dan pengambilan kesimpulan.

2.2.1. Rancangan penelitian

Tentunya dalam melakukan sebuah penelitian dilakukan perancangan terlebih dahulu yang dimaksudkan sebagai upaya pencapaian tujuan penelitian berdasarkan variabel, metode dan *output* yang dihasilkan. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah studi literatur, pengamatan lapangan, dan berdasarkan pendapat para pakar, serta menggunakan metode kuantitatif dalam mengukur besaran dampak emisi GRK dengan cara pengumpulan data, analisa data, dan interpretasi hasil analisis untuk mendapatkan informasi guna penarikan kesimpulan dan pengambilan keputusan. Rancangan penelitian selengkapnya dijelaskan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Matrik rancangan penelitian.

No	Tujuan Penelitian	Langkah Penelitian	Metode	Variabel <i>Output</i>
1	Mengidentifikasi Gas Rumah Kaca terbesar dalam proses produksi TBS.	Inventarisasi kegiatan yang diperkirakan dapat menimbulkan emisi GRK.	Studi literatur, pengamatan lapangan dan pendapat pakar.	<i>Flow</i> proses kegiatan beserta data sumber potensi dampak.
2	Mengukur emisi GRK terbesar dari proses produksi TBS untuk mengetahui upaya mitigasi yang efisien.	Menghitung setiap emisi yang ditimbulkan dalam setiap proses.	Kuantitatif data dengan bantuan <i>software Palm GHG Calculator RSPO</i> .	Besaran dampak (GRK) yang ditimbulkan setiap proses.

2.2.2. Pengumpulan data

Setelah rancangan penelitian terbentuk, langkah selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data. Data yang dibutuhkan diperoleh melalui

pengamatan proses kegiatan secara langsung, konsultasi dengan pihak perusahaan, serta diskusi dengan para pakar. Data sekunder dikumpulkan melalui *desk study* yang bersumber dari buku acuan, jurnal, dan berbagai sumber pustaka lainnya. Kebutuhan data selengkapnya tersaji pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kebutuhan data penelitian.

Tahapan Kegiatan	Proses		Kategori <i>Input</i>	Unit
Pemeliharaan Tanaman	<i>Input</i>	Pemupukan	Pupuk organik	Kg
		Pemupukan	pupuk anorganik	Kg
	<i>Output</i>		TBS	Kg
Panen & Angkut	<i>Input</i>	Pengangkutan TBS ke TPH	<i>Fuel</i>	Liter
		Pengangkutan Buah ke Truk	<i>Fuel</i>	Liter
		Mobilisasi Truk	<i>Fuel</i>	Liter
		Pengangkut		
	<i>Output</i>		TBS	Kg
Transportasi	<i>Input</i>	Mobilisasi Truk	<i>Fuel</i>	Liter
	<i>Output</i>	Pengangkut ke PKS	TBS	Kg

2.2.3. Analisis data

Penerapan metode perhitungan GRK yang digunakan adalah *actual value* berdasarkan ISCC 205. Potensi GRK (*Global Warming Potential*) dalam aktivitas perkebunan sawit meliputi CO₂, N₂O (296 x CO₂) dan CH₄ (23 x CO₂). Dalam tahap pengolahan data ini digunakan *RSPO Palm GHG Calculator versi 3*. Perhitungan emisi GRK dilakukan berdasarkan **Persamaan 1**.

$$\text{Emisi GRK} = \text{FE (Faktor Emisi)} \times \text{Data Aktivitas} \dots\dots\dots(1)$$

Analisis yang digunakan adalah metode LCA yang dilakukan dengan cara identifikasi kuantitatif semua aliran *input-output* dari sistem terhadap lingkungan dalam setiap tahap *life cycle*. Metode LCA ini dilakukan berdasarkan pedoman pelaksanaan LCA menurut *Framework ISO 14040:2006* yang terdiri dari 4 tahapan yaitu penentuan *goal and scope*, *inventory analysis*, *impact assessment*, dan *interpretation*. Dari hasil analisis tersebut kemudian dapat ditarik suatu kesimpulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penentuan *goal and scope*

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana emisi GRK yang ditimbulkan untuk menghasilkan TBS pada setiap klasifikasi umur dari fase Tanaman Belum Menghasilkan (TBM) (umur tanaman 0-3 tahun) hingga Tanaman Menghasilkan (TM) (umur tanaman 3-20 tahun) berdasarkan aktivitas yang dilakukan. Aktivitas yang dilakukan untuk menghasilkan TBS meliputi aktivitas pemeliharaan tanaman, pemupukan, panen dan transportasi. Emisi

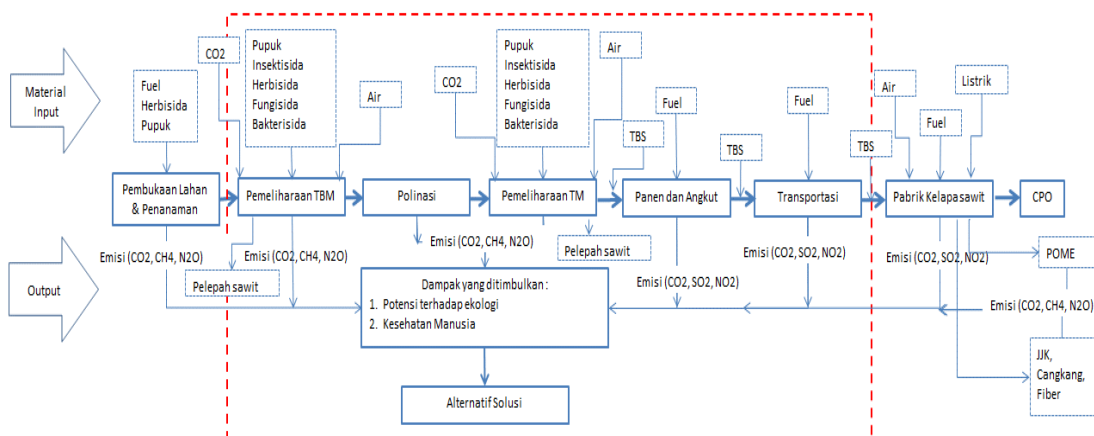
GRK yang ditimbulkan dari masing-masing aktivitas akan dihitung dan kemudian dibandingkan berdasarkan klasifikasi umurnya.

3.2. Inventori analisis

Tahap awal dalam *life cycle inventory* pada penelitian ini yaitu kegiatan perkebunan berupa pemeliharaan tanaman dan pemupukan. Pada tahap ini, kegiatan yang memberikan dampak terhadap timbulnya emisi GRK adalah penggunaan pupuk dan solar (RSPO 2012). Menurut Vijaya *et al.* (2008), pupuk merupakan salah satu penyumbang emisi terbesar dalam pertanian, sehingga penggunaannya harus mendapat perhatian khusus.

Penggunaan pupuk dalam pertanian dapat berasal dari pupuk yang bersifat sintetis (buatan) dan juga organik. Pupuk sintetis yang sering digunakan dalam perkebunan kelapa sawit antara lain urea, NPK, kieserit, MOP, dolomit, RP dan TSP. Penggunaan pupuk sintetis ini dapat menimbulkan emisi yang berasal dari proses produksi pupuk itu sendiri, transportasi pupuk ke lapangan, emisi langsung di lapangan baik secara fisik maupun mikroba tanah dan emisi tidak langsung akibat re-deposisi (RSPO 2012). Pupuk organik pada perkebunan kelapa sawit berasal dari tanaman sawit itu sendiri, yang diambil dari sisa hasil pengolahan CPO berupa janjang kosong dan limbah cair kelapa sawit.

Analisis inventori selanjutnya yaitu tahap transportasi TBS dari kebun ke pabrik pengolahan kelapa sawit. Pada penelitian ini, tahap transportasi TBS merupakan tahap terakhir sesuai lingkup penelitian (**Gambar 2**). Transportasi TBS dilakukan dengan menggunakan truk yang berbahan bakar solar. Kebutuhan solar inilah yang nantinya akan diperhitungkan penggunaannya, karena memberikan dampak langsung kepada lingkungan (IPCC 2006).



Gambar 2. Inventori analisis kegiatan perkebunan kelapa sawit.

Penelitian ini bertujuan melihat sejauh mana dampak yang ditimbulkan dari kegiatan perkebunan kelapa sawit selama satu siklus hidup (20 tahun) pada masing-masing tahapan proses. Oleh karena itu, inventori analisis dilakukan

pada setiap umur tanaman kelapa sawit. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan pupuk paling dominan pada setiap umur adalah pupuk urea, MOP, dan RP. Selengkapnya hasil inventori analisis tersaji pada **Tabel 7**.

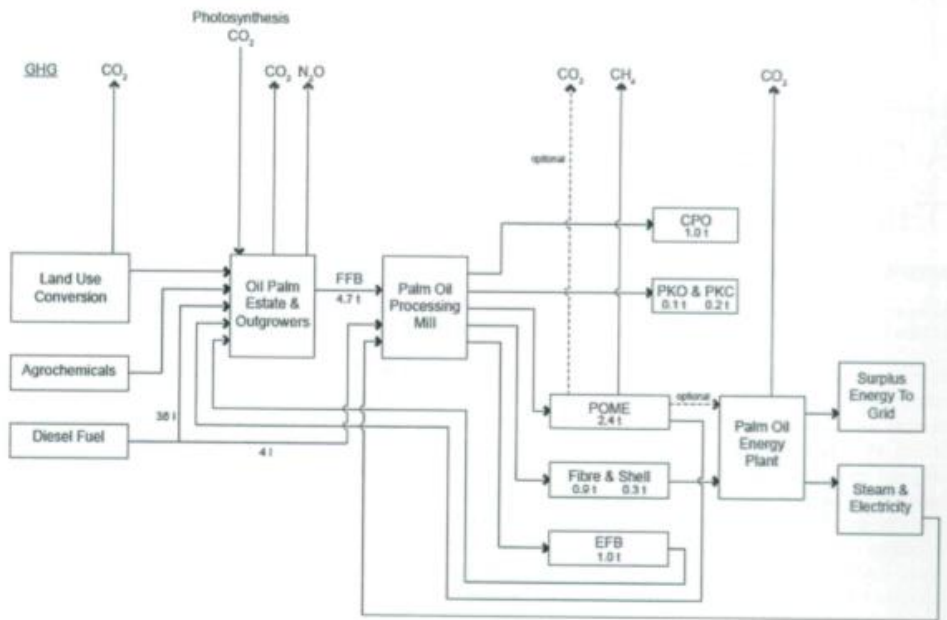
Darmosarkoro *et al.* (2003) menyatakan bahwa manfaat dari masing-masing jenis pupuk ini bagi tanaman kelapa sawit antara lain:

- a. Tanaman kelapa sawit membutuhkan unsur nitrogen dalam jumlah banyak, karena unsur ini sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Kekurangan unsur N dapat mengakibatkan pertumbuhan tanaman kelapa sawit terhambat, kerdil, daun tua menguning (hijau pucat kekuningan). Sumber unsur N : Urea dan ZA.
- b. Unsur fosfor juga diperlukan dalam jumlah banyak oleh tanaman kelapa sawit. Manfaat unsur fosfor bagi tanaman kelapa sawit yaitu memperkuat perakaran, batang dan meningkatkan kualitas buah kelapa sawit. Kekurangan unsur fosfor menyebabkan daun tanaman berwarna keunguan dan tanaman tumbuh kerdil. Sumber unsur P : TSP, SP-18, SP-36, *Rock Phosphat*.
- c. Unsur kalium bagi tanaman kelapa sawit adalah mempengaruhi jumlah dan ukuran tandan serta berperan penting dalam penyusunan minyak. Tanaman kelapa sawit membutuhkan unsur kalium dalam jumlah banyak. Kekurangan unsur kalium menyebabkan timbulnya bercak transparan pada daun tua kemudian mengering. Sumber unsur K : KCl, MOP.

3.3. *Impact assessment*

Chase and Henson (2010) menyatakan bahwa produksi CPO akan melepaskan karbon pada tahap *Land Use Change* (LUC), menyerap karbon pada masa pertumbuhan dan menghasilkan gas rumah kaca berupa CO₂, N₂O, dan gas metan selama produksi dan proses menghasilkan tandan buah segar. Aliran massa yang menghubungkan semua kegiatan lapangan untuk menghasilkan 1 ton CPO selama satu siklus tanaman dapat dilihat dalam **Gambar 3**.

Model perhitungan emisi gas rumah kaca yang digunakan merupakan model yang telah dikembangkan oleh IPCC, dalam hal ini penulis menggunakan *tool* yang telah dikeluarkan oleh RSPO berupa *Palm GHG Calculator* versi 3. Hasil perhitungan merepresentasikan jumlah gas CO₂ yang diemisikan dalam memproduksi tandan buah segar, sehingga besarnya nilai emisi GRK dinyatakan dalam kilogram CO₂-eq. Emisi CO₂ dipengaruhi oleh faktor emisi masing-masing utilitas dalam satu siklus kegiatan. *Input* berupa pemakaian insektisida, herbisida, fungisida, bakterisida dapat diabaikan dalam penggunaan *Palm GHG Calculator* versi 3 ini, karena tidak memiliki dampak yang signifikan terhadap timbulnya GRK (RSPO 2012). Hasil perhitungan emisi GRK tersaji pada **Tabel 4**.



Gambar 3. Diagram perkiraan aliran massa untuk produksi 1 ton CPO.
(Chase and Henson 2010)

Tabel 4. Jumlah emisi satu siklus kegiatan perkebunan kelapa sawit.

Umur (Tahun)	Luas Tanam (Ha)	Produksi FFB (Ton)	*CO ₂ Emissions from Fertilizer	**N ₂ O Emissions	Fuel Consumption	Total Emission (tCO ₂ e)
0-1	251,03	0	31,61	28,80	7,29	67,70
1-2	261,68	0	122,18	113,58	14,29	250,05
2-3	481,84	0	434,00	377,00	28,00	840,15
3-4	775,84	7045,84	862,40	846,54	91,43	1800,37
4-5	917,49	14154,69	980,29	900,23	78,39	1958,91
5-6	1177,90	27582,46	1247,35	1067,69	118,58	2433,62
6-7	1083,70	30983,44	1032,87	799,08	112,73	1944,68
7-8	785,04	23752,67	557,53	446,71	1038,60	2042,84
8-9	708,07	21286,17	458,17	357,77	94,53	910,47
9-10	298,41	7830,45	249,07	210,54	40,85	500,46
10-11	275,52	8412,86	261,50	218,49	45,83	525,82
11-12	491,10	14363,24	467,30	330,48	65,96	863,75
12-13	643,51	19872,74	511,76	391,71	78,53	982,01
13-14	746,78	22303,74	620,67	494,83	114,45	1229,95
14-15	761,92	22102,90	644,29	526,71	125,34	1296,33
15-16	818,16	23146,45	684,71	578,86	123,67	1387,24
16-17	806,53	22477,72	713,89	615,24	138,68	1467,82
17-18	850,19	23226,75	775,33	672,22	99,10	1546,65
18-19	745,97	19068,91	734,70	624,56	54,12	1413,38
19-20	551,25	14273,14	699,07	578,22	66,39	1343,68
Rata-Rata	671,60	16094,21	604,46	508,98	80,06	1193,49
Kg CO ₂ /Ha			0,90	0,76	0,12	1,78

Berdasarkan **Tabel 4**, emisi GRK terbesar dalam kegiatan perkebunan kelapa sawit berasal dari kegiatan pemupukan. Emisi GRK ini bersumber dari emisi CO₂ dengan rata-rata emisi GRK 0,9 tCO₂-eq/Ha dan juga emisi N₂O dari pemberian pupuk itu sendiri dengan rata-rata emisi GRK 0,76 tCO₂-eq/Ha. Aplikasi N dalam pupuk dapat membentuk N₂O, baik secara langsung sebagai hasil denitrifikasi di dalam tanah maupun secara tidak langsung melalui denitrifikasi di luar aplikasi N yang diterapkan pada kelapa sawit yang hilang melalui limpasan, pencucian dan volatilisasi (Chase dan Henson 2010). Selain itu, adanya emisi bawaan dari proses pembuatan pupuk dari produsen dan proses transportasi pengangkutan pupuk ke lokasi perkebunan menyebabkan jumlah emisi GRK semakin tinggi. Perhitungan emisi GRK terhadap masing-masing jenis pupuk disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil perhitungan emisi GRK masing-masing jenis pupuk.

No	Jenis Pupuk	Tanaman Belum Menghasilkan (TBM) umur 0-3 Tahun		Tanaman Menghasilkan (TM) umur 3-20 tahun	
		Emisi kg CO ₂ -eq/T TBS	Emisi kg CO ₂ -eq/Ha	Emisi kg CO ₂ -eq/T TBS	Emisi kg CO ₂ -eq/Ha
1	DAP	-		1,43	37,03
2	Kieserit	-	18,28	0,19	4,97
3	MOP	-	76,28	6,94	179,56
4	RP	-	8,33	1,42	36,86
5	TSP	-	40,58	0,87	22,41
6	UREA	-	267,70	14,28	369,67
7	Borate	-	8,13	0,51	13,23
8	CuSO ₄	-	2,58	0,08	2,13
9	ZnSO ₄	-	2,94	0,07	1,93
10	Kaptan	-	31,28	0,69	17,86
11	Super Dolomit	-	0,66	1,43	37,11
12	Kieserit Granular	-	0,31	1,18	30,45
13	HGFB	-		0,37	9,59
Total		-	457,07	29,47	762,80

Tabel 5 menjelaskan bahwa penggunaan jenis pupuk urea dan MOP merupakan penyumbang emisi GRK terbesar yaitu sebesar 267,70 kg CO₂-eq dan 76,28 kg CO₂-eq pada fase TBM, serta pada fase TM sebesar 369,67 kg CO₂-eq dan 179,56 kg CO₂-eq. Kedua jenis pupuk ini merupakan pupuk inti dalam budidaya kelapa sawit, sehingga emisi GRK yang ditimbulkan dari penggunaannya paling besar. Pemberian pupuk ini sesuai dengan rekomendasi dari bagian riset PT. XYZ berdasarkan hasil analisis daun. Dosis urea yang diberikan per pokok tanaman sawit berkisar antara 0,9–2,0 kg, sementara dosis MOP yang diberikan berkisar antara 0,5–2,5 kg. Selain itu nilai faktor emisi juga mempengaruhi besarnya emisi GRK yang ditimbulkan. Berdasarkan *Palm GHG Calculator RSPO Versi 3* faktor emisi terhadap urea yaitu 1.340 kg CO₂-eq/T material dan MOP yaitu 200 kg CO₂-eq/T material.

Hardter dan Fairhurst (2003) dalam Siregar (2013) menyatakan bahwa di Asia Tenggara, tanaman kelapa sawit mengonsumsi nutrisi tinggi dari pupuk mineral. Pupuk digunakan untuk menghasilkan dan mempertahankan produktivitas yang tinggi. Pupuk-pupuk yang digunakan adalah pupuk berbasis nitrogen seperti NPK (amonium nitrat), amonium sulfat, dan urea. Data kebutuhan pupuk untuk kelapa sawit di Indonesia tersaji pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Kebutuhan pupuk untuk tanaman kelapa sawit di Indonesia.

Jenis	Tahun Ke-1	Tahun Ke-2	Tahun Ke-3	Tahun Ke-4	Tahun Ke-5	Total
Pada tanah mineral, kg/ha						
N	58	68	68	81	81	354
P	27	16	19	28	28	118
K	85	125	98	122	122	533
Mg	14	21	18	28	28	109
Ca	-	-	-	-	-	-

Sumber : IOPRI dalam Siregar (2013).

Tabel 6 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kebutuhan pupuk setiap tahunnya, sehingga pada fase TM akan memerlukan jumlah pupuk yang lebih banyak dibandingkan fase TBM.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Tahapan untuk menghasilkan Tandan Buah Segar (TBS) setelah penanaman kelapa sawit dimulai dengan kegiatan pemeliharaan Tanaman Belum Menghasilkan (TBM) pada umur tanaman 0-3 tahun, kemudian kegiatan pemeliharaan Tanaman Menghasilkan (TM) pada umur tanaman 3-20 tahun dan selanjutnya adalah kegiatan transportasi pengangkutan TBS untuk dilakukan proses pengolahan ke pabrik. Inventarisasi *input* dalam kegiatan pemeliharaan TBM dan TM antara lain pupuk dan solar. Sementara *output* emisi yang dihasilkan adalah CO₂ dan N₂O yang telah dikonversi menjadi kg CO₂-eq.

Hasil analisis dampak melalui perhitungan emisi GRK yang ditimbulkan dari masing-masing tahapan proses menunjukkan bahwa kegiatan pada fase TM merupakan penyumbang emisi GRK terbesar dengan rata-rata 1887,64 kg CO₂-eq/Ha, sedangkan emisi GRK untuk kegiatan pemeliharaan TBM sebesar 989,63 kg CO₂-eq/Ha. Sumber emisi terbesar dari masing-masing tahapan tersebut adalah kegiatan pemupukan yaitu rata-rata sebesar 920,22 kg CO₂-eq/Ha yang mana jenis pupuk paling dominan menimbulkan emisi GRK adalah pupuk urea dan MOP yaitu sebesar 369,67 kg CO₂-eq/Ha dan 179,56 kg CO₂-eq/Ha.

5. DAFTAR PUSTAKA

Basiron Y. 2007. Palm oil production through sustainable plantations. *Eur. J. Lipid Sci. Technol* 109:289-295.

- Chase LDC and Henson IE. 2010. A detailed greenhouse gas budget for palm oil production. *International Journal for Agricultural Sustainability* 8(3):199-214.
- Darmosarkoro W, Winarna dan Sutarta ES. 2003. Teknologi pemupukan tanaman kelapa sawit [Prosiding]. Prosiding Lahan dan Pemupukan Kelapa Sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories volume 2: energy [internet]. Tersedia di: www.ipcc.ch.
- [ISO] International Organization for Standardization 14040:2006. 2006. Environmental management–life cycle assessment. ISO. Geneva.
- Pleanjai S, Gheewala HS and Garivait S. 2007. Environmental evaluation of biodiesel production from palm oil in a life cycle perspective. *Asian J. Energy Environ* 8(1):15-32.
- [RSPO] Roundtable on Sustainable Palm Oil. 2012. A greenhouse gas accounting tool for palm products [internet]. Tersedia di: www.rspo.org.
- Siregar K. 2013. Comparison of emission and energy for biodiesel production from oil palm (*Elaeis guineensis*) and jatropha curcas (*Jatropha curcas* L.) based on life cycle assessment (LCA) in Indonesia [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Vijaya S, Ma AN, Choo YM and Nik Meriam NS. 2008. Life cycle inventory of the production of crude palm oil - A gate to gate case study of 12 palm oil mills. *Journal of Oil Palm Research* 20:484-494.
- Wicke B, Dornburg V, Junginger M and Faaij A. 2008. Different palm oil production systems for energy purposes and their green house gas implications. *Biomass and Bioenergy* 32:1322–1337.
- Yee KF, Tan KT, Abdullah AZ and Lee KT. 2009. Life cycle assessment of palm biodiesel: revealing facts and benefits for sustainability. *Applied Energy* 86(1):189-196.

Tabel 7. Hasil analisis inventori kegiatan perkebunan kelapa sawit.

Inventori	Satuan	Umur Tanaman (Tahun)									
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
Pupuk :											
DAP	Kg/Ha	0.00	0.00	0.00	172.88	128.52	81.02	37.55	35.13	46.86	61.33
Kieserit <i>Powder</i>	Kg/Ha	12.35	41.84	64.82	25.36	18.95	1.40	2.06	5.94	5.01	11.56
MOP/KCl	Kg/Ha	24.31	123.82	251.93	372.91	363.50	455.03	439.82	333.54	327.16	365.59
RP	Kg/Ha	34.43	15.56	26.67	23.33	16.66	10.06	3.83	14.24	111.56	91.74
TSP	Kg/Ha	20.68	113.61	152.95	140.75	153.43	161.19	138.83	68.48	3.70	36.87
Urea	Kg/Ha	40.13	152.20	274.60	314.98	293.80	286.17	243.89	185.80	158.86	223.43
Borate Mahkota	Kg/Ha	0.88	5.40	10.29	9.43	6.80	9.26	13.74	10.40	10.16	9.75
CuSO ₄	Kg/Ha	0.00	0.98	8.26	5.96	2.66	2.94	1.80	2.65	2.24	0.00
ZNSO ₄	Kg/Ha	0.00	0.96	7.78	2.95	2.74	2.49	1.02	1.06	0.00	0.00
Kaptan <i>mesh</i> 80	Kg/Ha	0.00	0.00	104.84	25.28	42.79	21.49	7.68	17.26	0.00	0.00
Super Dolomite	Kg/Ha	0.00	3.84	0.31	24.71	86.92	89.19	153.12	41.36	27.42	34.79
Kieserite granular	Kg/Ha	3.08	0.00	0.00	29.91	20.73	46.54	43.92	91.59	107.46	87.52
HGFB (<i>High Grade Fertilizer Borate</i>)	Kg/Ha	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.84	1.95	0.00	12.42
SOLAR Perawatan	L/Ha	9.31	17.51	18.89	27.79	16.14	18.55	14.22	12.92	22.46	12.97
SOLAR <i>Harvest</i>	L/Ha				9.98	11.24	13.71	19.12	28.97	20.33	30.91
Total Solar	L/Ha	9.31	17.51	18.89	37.77	27.38	32.27	33.34	41.89	42.79	43.88
<i>Output</i>											
Produksi TBS	Ton/Ha	0.00	0.00	0.00	9.08	15.43	23.42	28.59	30.26	30.06	26.24

Inventori	Satuan	Umur Tanaman (Tahun)									
		10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Pupuk :											
DAP	Kg/Ha	133.02	30.56	33.23	30.17	12.20	20.47	23.01	8.07	0.00	0.00
Kieserit <i>Powder</i>	Kg/Ha	12.71	14.76	13.13	27.07	12.81	16.22	10.24	12.11	12.98	19.46
MOP/KCl	Kg/Ha	432.19	427.67	337.51	350.38	337.21	330.21	352.13	351.98	391.49	467.94
RP	Kg/Ha	120.10	208.14	162.63	181.62	161.60	163.13	169.68	188.12	200.46	300.59
TSP	Kg/Ha	14.56	3.65	8.76	7.63	8.99	18.08	18.13	8.03	19.25	32.65
Urea	Kg/Ha	247.83	224.02	200.47	220.57	237.66	240.10	258.50	274.11	293.60	367.85
Borate Mahkota	Kg/Ha	12.83	9.15	9.97	10.45	11.80	12.04	12.23	11.57	11.90	12.18
CuSO ₄	Kg/Ha	4.21	4.61	4.09	3.52	3.33	3.53	3.99	3.28	3.07	0.00
ZNSO ₄	Kg/Ha	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kaptan <i>mesh</i> 80	Kg/Ha	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Super Dolomite	Kg/Ha	44.85	167.69	102.68	60.06	64.40	38.92	29.64	30.61	35.07	24.90
Kieserite granular	Kg/Ha	124.75	40.80	64.49	67.01	78.50	85.82	87.84	88.39	101.85	229.66
HGFB (<i>High Grade Fertilizer Borate</i>)	Kg/Ha	13.45	29.13	10.41	9.86	8.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOLAR Perawatan	L/Ha	15.63	14.64	14.37	19.14	22.15	25.51	28.17	16.69	12.68	22.01
SOLAR <i>Harvest</i>	L/Ha	37.68	28.41	24.75	29.98	30.58	22.94	26.95	20.67	10.57	16.60
Total Solar	L/Ha	53.31	43.05	39.12	49.12	52.73	48.45	55.11	37.36	23.25	38.60
<i>Output</i>											
Produksi TBS	Ton/Ha	30.53	29.25	30.88	29.87	29.01	28.29	27.87	27.32	25.56	25.89

Pengembangan *payment for development right* (PDR) untuk konservasi air pada lahan milik di Kecamatan Pamulihan, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat

Y. Barus^{1*}, H. Ramdan¹

¹Program Studi Magister Biomanajemen, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Abstrak.

Hak-hak yang melekat pada lahan milik, tak jarang dapat merugikan kawasan lain. *Payment for Development Right* (PDR) ialah program bersifat sukarela dan insentif, yang mengkompensasi pemilik jasa ekosistem dengan tujuan melindungi secara permanen lahan, namun tetap mempertahankan kepemilikan dan manajemen swasta. Program PDR ini banyak memberikan keuntungan pada negara yang telah mengimplementasikannya. Di Indonesia program ini belum pernah diterapkan, maka dilakukanlah penelitian ini yang bertujuan: 1) Menganalisis kondisi wilayah, 2) Mengestimasi nilai manfaat jasa ekosistem air yang berasal dari lahan milik, dan 3) Menyusun rekomendasi implementasi PDR. Besar nilai PDR yang dihitung bagi tutupan lahan pertanian, perkebunan, dan sawah bernilai lebih besar dibandingkan dengan *Willingness to Pay* (WTP) masyarakat pengguna jasa ekosistem. Berdasarkan hasil analisis regresi, WTP masyarakat dipengaruhi secara nyata oleh besar pendapatan masyarakat. Kondisi selama penelitian dirangkum dalam faktor-faktor SWOT, dan diperoleh faktor SWOT tertinggi pada kelompok internal yaitu *Strength*, dan pada kelompok eksternal yaitu *Threat*. Kedua faktor ini menjadi dasar dari rekomendasi pengimplementasian program PDR, yakni dengan mengadakan program pra-PDR yang diharapkan dapat meningkatkan pengertian masyarakat akan jasa ekosistem, mempersiapkan kelembagaan, sistem regulasi, serta pendataan jasa lingkungan pada daerah tersebut.

Kata kunci: jasa ekosistem, konservasi, lahan milik, *payment for development right*, *willingness to pay*

Abstract.

Rights inherent in private land, can harm other regions. Payment for Development Right is a voluntary and incentive program, which compensates the owner of ecosystem services with the aim of permanently protecting land but still maintaining private ownership and management. PDR program provides many benefits to the countries that have implemented it. In Indonesia this program has never been implemented. This research was conducted with several objectives: 1) Analyse the condition of the region, 2) Estimate the value of the benefits of water ecosystem services from private land, and 3) Formulate recommendations for the implementation of PDR. The value of PDR calculated for the cover of agricultural land, plantations, and rice fields has a greater value compared to the Willingness to Pay of the people who use ecosystem services. Based on the results of the regression analysis, community's WTP was significantly affected by the amount of community income. The conditions during the study were summarized in SWOT factors, and the highest SWOT factor was obtained in the internal group: Strength, and in the external group: Threat. Both of these factors form the basis of the recommendations for implementing the PDR program, by holding a pre-PDR program that is expected to increase people's understanding of ecosystem services, prepare institutions, regulatory systems, and collect data on environmental services in the area.

Keywords: ecosystem services, conservation, private land, *payment for development right*, *willingness to pay*

1. PENDAHULUAN

Provinsi Jawa Barat terdiri atas 18% kawasan hutan, sedangkan sisanya merupakan lahan milik privat. Hak-hak yang melekat pada lahan milik cenderung mutlak untuk digunakan atau dimanfaatkan sesuai dengan kebutuhan atau kepentingannya. Tak jarang kepentingan pemilik lahan tersebut dapat merugikan kawasan lain. Sebaliknya, menjaga ekosistem dengan menyediakan keanekaragaman hayati yang diperlukan untuk berfungsinya

* Korespondensi Penulis
E-mail: yedidadilona@gmail.com

ekosistem secara sehat, akan menghasilkan banyak manfaat bagi masyarakat — dari rekreasi, perlindungan banjir hingga udara bersih. Seringkali, insentif tidak disediakan bagi pemilik lahan pribadi karena melestarikan dan memberikan manfaat-manfaat ini. Sementara itu, harga tanah yang dijual untuk pertanian juga jauh lebih kecil dari nilai tanah yang dijual untuk pembangunan sehingga banyak pemilik lahan pertanian di daerah pinggiran kota, cenderung menjual tanah pertanian untuk pembangunan bagi kebutuhan jangka panjang.

Penegakan hukum lingkungan yang selama ini dilakukan cenderung bersifat represif, yakni memberikan hukuman kepada perusak atau pencemar lingkungan hidup. Hal ini terkesan bersifat memaksa dan terlebih masyarakat tidak merasakan adanya manfaat langsung dari usahanya menjaga lingkungan. Terutama masyarakat di daerah-daerah pedesaan dengan kurangnya pengetahuan dan kesadaran akan kehidupan ekosistem yang seimbang. Sistem insentif dalam memberlakukan hukum lingkungan dapat lebih membantu masyarakat untuk merasakan efek dari regulasi yang dijalankan. Tomich *et al.* (2004) menyebutkan dua hal yang mempengaruhi praktik pengelolaan lahan terkait dengan peningkatan jasa lingkungan yakni (1) regulasi, berbasis pendekatan perintah dan kontrol dan pendekatan administratif yang lebih tradisional dan (2) penghargaan, mengacu pada berbagai ide baru pengaturan insentif jasa lingkungan, biasanya akan mendorong motivasi penyedia jasa lingkungan untuk mengelola dan melindungi lanskap mereka dengan lebih baik.

Program PDR (*Payment for Development Right*) atau Pembelian Hak Pembangunan adalah program bersifat sukarela dan berbasis insentif yang mengkompensasi pemilik jasa ekosistem dengan tujuan melindungi secara permanen lahan yang produktif, sensitif, atau estetis, namun tetap mempertahankan kepemilikan dan manajemen swasta. Program ini dinilai memberi manfaat besar bagi negara-negara yang telah mengimplementasikannya, seperti sebagian besar negara bagian di Amerika (seringkali disebut *Purchase of Development Right*). Program ini juga dirasakan sangat menguntungkan di Indonesia, sebab banyak pemilik lahan pertanian di Indonesia mempunyai tingkat kemiskinan (khususnya dalam bentuk uang tunai) yang cukup tinggi. Dengan hanya menjual hak pembangunannya, pemilik dapat mengubah sebagian kekayaan yang diikat di lahan mereka menjadi uang tunai, tanpa melepaskan kepemilikan lahan atau menggunakan kapasitas produktifnya (Miller and Krieger 2004).

Mengingat program *Payment for Development Right* ini bersifat sukarela, maka supaya dapat berjalan, diperlukan pengertian masyarakat mengenai manfaat dari jasa ekosistem yang dapat dihasilkan. Nurfatriani dan Handoyo (2007) menyatakan bahwa kawasan mata air yang menyediakan manfaat hidrologis masih dinilai rendah, khususnya untuk pemanfaatan air yang berasal

dari mata air yang langsung dimanfaatkan oleh masyarakat untuk kebutuhan rumah tangga. Pengertian masyarakat atas nilai manfaat, dalam hal ini sumber daya air, perlu diuji, apakah masyarakat mengerti bahwa fungsi tersebut didatangkan dari sebuah usaha konservasi di wilayah lain. Oleh karena itu, sebelum mengimplikasikan program PDR ini di Indonesia, sangat perlu untuk mengidentifikasi besar nilai manfaat pengguna terhadap jasa ekosistem.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Pengambilan data penelitian ini meliputi desa/wilayah pengguna jasa ekosistem yaitu Desa Cijeruk, Ciherang dan Girimukti, serta desa/wilayah penyedia jasa ekosistem yaitu Desa Cigendel. Keempat desa ini terletak di Kecamatan Pamulihan, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. Jasa ekosistem berupa manfaat hidrologis tepatnya berpusat di kawasan mata air Pelton. Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari–Mei 2019.

2.2. Prosedur analisis data

Prosedur analisis data dalam mengumpulkan data yang diperlukan untuk menjawab tujuan dari penelitian ini ditampilkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data yang dibutuhkan dalam penelitian.

No	Tujuan	Output yang diharapkan	Metode	Bahan dan Alat
1	Menganalisis kondisi wilayah penyedia serta dan pengguna jasa ekosistem	• Peta wilayah pengguna dan penyedia • Karakteristik air: kualitas, kuantitas, dan kontinuitas • Jumlah kebutuhan air wilayah pengguna	• <i>Hydro Ecosystem Services Spatial Assessment</i> (HESSA) atau Pemetaan • Kualitas air: uji laboratorium • Kuantitas: pengukuran debit mata air • Kontinuitas: wawancara • Jumlah kebutuhan air	ArcGIS
2	Mengestimasi nilai manfaat jasa ekosistem air yang berasal dari lahan milik	Nilai manfaat jasa ekosistem di dalam Rupiah per penggunaan air	• Nilai manfaat bagi wilayah pengguna: <i>Contingent Valuation Method (Willingness to Pay)</i> • Nilai manfaat bagi wilayah penyedia: Perhitungan biaya PDR	Kuesioner
3	Menyusun rekomendasi implementasi PDR	Strategi pengimplementasian PDR pada wilayah penelitian	Analisis SWOT-AHP	Alat 4Rs, wawancara expert

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik wilayah penyedia dan pengguna

Suatu jasa ekosistem air dalam wujud mata air, terletak di Desa Cigendel, Kelurahan Pamulihan, Kabupaten Sumedang. Mata air yang dinamakan Pelton ini tentu memberikan jasa ekosistem bagi lingkungannya. Adapun wilayah pemberi dan penerima jasa ekosistem dari mata air ini, dibatasi dan dianalisis secara spasial menggunakan HESSA (Ramdan 2015), dan terbentuklah peta wilayah, dengan wilayah penyedia jasa ekosistem dengan luas sebesar 151,189 hektar, dan luas wilayah pengguna sebesar 269,072 hektar.

Karakteristik mata air Pelton dideskripsikan dalam 3K: Kontinuitas, Kuantitas dan Kualitas yang penjelasannya tersaji pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Karakteristik mata air Pelton.

Kuantitas	Kualitas	Kontinuitas
Debit Air mata air Pelton yang terukur sebesar 0,41 L/detik	Berdasarkan hasil uji mutu air minum dengan standar baku air minum yang tertulis pada PerMenKes Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, maka air di mata air Pelton tidak memenuhi syarat air minum dikarenakan pH yang bernilai 4,5 (pH standar air minum 6–7,5).	Hasil wawancara pemilik mata air Pelton, jumlah air pada musim kemarau berkurang hingga 50% dibandingkan pada musim hujan. Namun tetap dapat memenuhi kebutuhan pengguna air secara langsung, sekalipun terkadang ada keluhan.

Suplai air dari mata air Pelton, diketahui berdasarkan debit air yang terekam, yakni sebesar 0,41 L/detik yang sama dengan 35.424 L/hari, atau 1.062.720 L/bulan. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan jumlah permintaan air dari setiap tutupan lahan. Hasil dari perhitungan, kebutuhan air wilayah pengguna jasa ekosistem ditampilkan pada **Tabel 3** berikut ini.

Tabel 3. Kebutuhan air wilayah pengguna jasa ekosistem.

Jenis Tutupan Lahan	Kebutuhan Air per Bulan (Liter)
Sawah	57.173.200
Pertanian	90.234.259
Pemukiman	7.319.700
Total Kebutuhan Air	154.727.159

Berdasarkan jumlah kebutuhan air tersebut, maka mata air Pelton hanya mampu mencukupi 0,69% kebutuhan air wilayah pengguna jasa ekosistem. Berdasarkan karakteristik mata air Pelton tersebut, maka debit air tidak dapat memenuhi seluruh permintaan pengguna jasa ekosistem. Sementara, ketersediaan air bersifat kontinu, namun kualitasnya kurang layak untuk diminum. Dari karakteristik tersebut, maka sebenarnya mata air Pelton ini memberikan manfaat, namun manfaat ini kurang dirasakan dengan maksimal.

3.2. Estimasi nilai manfaat jasa ekosistem

3.2.1. Wilayah pengguna jasa ekosistem

Pada wilayah pengguna jasa ekosistem, dilakukan estimasi nilai manfaat masyarakat dalam satuan Rupiah, yakni dengan menghitung *Willingness to Pay*. Alasan penggunaan WTP dalam barang atau jasa publik adalah karena harga atau nilai pasarnya gagal direfleksikan kepada masyarakat atau konsumen ataupun karena keabsenan transaksi-transaksi pasar (Camacho-Cuena *et al.* 2004). Berdasarkan hasil wawancara terhadap 30 orang responden yang berada di wilayah pengguna, sebanyak 33% responden bersedia membayar jasa ekosistem. Sisa 67% dari responden yang tidak mau membayar umumnya beralasan karena merasa jasa ekosistem yang diberikan wilayah penyedia tidak berpengaruh besar bagi kegiatan ekonomi dan kehidupan sehari-hari responden.

Kemudian dari 33% responden yang menyatakan bersedia membayar, diberikan pertanyaan lanjutan mengenai jumlah harga yang bersedia dibayarkan. Cara menanyakan kesediaan membayar dengan menggunakan *payment card model*, responden diberikan tawaran menggunakan kartu yang berisi nilai uang mulai dari yang terendah sampai batas responden mengatakan tidak untuk nilai yang ditawarkan.

Secara keseluruhan, rata-rata nilai WTP 10 orang responden dari yang bersedia membayar adalah sebesar Rp 44.000. Jika skala ini diperbesar dengan mengalikannya dengan total penduduk di wilayah pengguna jasa ekosistem yang sebesar 2.440, maka estimasi total WTP masyarakat adalah sebesar Rp 107.360.000. Nilai WTP sebesar Rp 107.360.000 ini merupakan kesediaan masyarakat untuk membayar jasa ekosistem yang disediakan oleh wilayah penyedia seluas 151,189 hektar, yang berarti untuk 1 hektar jasa ekosistem yang disediakan oleh wilayah penyedia, nilai yang bersedia dibayarkan masyarakat adalah Rp 710.105 per hektar pemilik lahan. Nilai ini memberikan arti, bahwa pengguna jasa ekosistem bersedia membayar Rp 710.105 untuk menjadi kompensasi atas hak pembangunan yang dijual dalam satu hektar tanah melalui program PDR ini. **Tabel 4** menunjukkan rata-rata nilai WTP masyarakat untuk setiap jenis tutupan lahan.

Tabel 4. Rata-rata kesediaan membayarkan per jenis tutupan lahan.

Jenis Tutupan Lahan	Rata-Rata Skor Persepsi Masyarakat	Rata-Rata WTP (Rp/ha)
Hutan	42,75	71.875
Sawah	29,75	0,00
Pertanian	32,67	12.500
Tanah Terbuka	32,50	4.166,67
Perkebunan	31,40	8.000
Pemukiman	27,75	6.250

Faktor-faktor yang mempengaruhi masyarakat dalam menentukan nilai *Willingness to Pay* (WTP) manfaat jasa lingkungan hidrologi mata air Pelton menggunakan beberapa variabel yakni: a) besar pendapatan, b) tingkat pendidikan, c) lama tinggal, d) jumlah anggota keluarga, serta e) tingkat pemahaman masyarakat terhadap nilai jasa ekosistem sebagai variabel independen (pengaruh) dan variabel nilai WTP sebagai variabel dependen (terpengaruh). Variabel-variabel tersebut dianalisis dengan menggunakan persamaan regresi berganda untuk mengetahui variabel yang diduga akan berpengaruh nyata terhadap nilai WTP responden. Hasil analisis menggunakan *Software* SPSS menunjukkan hasil yang dirangkum pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil analisis statistik.

Variabel	Koefisien Regresi	T hitung	Sig.
Konstanta	-29.387,83		0,397
Besar pendapatan per bulan (a)	31.769,63	2,478	0,038*
Tingkat pendidikan (b)	-	1,085	0,718
Lama tinggal (c)	-	-0,357	0,948
Jumlah anggota keluarga (d)	-	2,071	0,892
Skor valuasi ekosistem (e)	-	0,898	0,545

Keterangan: *signifikan pada taraf nyata 5%.

Hasil analisis regresi menggunakan metode *Stepwise* yang ditampilkan pada **Tabel 5**, menunjukkan bahwa variabel besar pendapatan memiliki nilai signifikansi 0,038, yang menandakan bahwa besar pendapatan berpengaruh signifikan terhadap nilai WTP masyarakat ($p < 0,05$). Sementara variabel tingkat pendidikan, lama tinggal, jumlah anggota keluarga dan skor valuasi ekosistem memiliki signifikansi $> 0,05$, yang artinya keempat variabel ini tidak mempengaruhi WTP masyarakat.

Nilai R^2 atau koefisien determinasi yang diperoleh menggunakan analisis regresi menggunakan variabel a, b, c, d dan e adalah 0,434. Nilai R^2 ini menunjukkan bahwa korelasi antara variabel besar pendapatan, tingkat pendidikan, lama tinggal dan jumlah anggota keluarga, serta pemahaman masyarakat mengenai nilai manfaat memiliki pengaruh kontribusi 43,4% terhadap variabel Y (*Willingness to Pay*).

3.2.2. Wilayah penyedia jasa ekosistem

Nilai manfaat jasa ekosistem, selain dinilai dari *Willingness to Pay* masyarakat pengguna jasa ekosistem, juga dihitung berdasarkan biaya yang akan diterima oleh penyedia jasa ekosistem untuk menggantikan hak pembangunan yang dijual. Besar insentif yaitu besar hak pembangunan merupakan Nilai Harapan Tanah (NHT) dikurang nilai harga jual setempat (Hernawan *et al.* 2010).

Besar *Discount Rate* dalam perhitungan NPV (*Net Present Value*) dan NJOP menggunakan acuan dari besar bunga Bank Indonesia (BI). Adapun BI *rate* Juli 2019 dan rata-rata inflasi Juli 2018 – Juli 2019 yang diumumkan BI berturut-turut adalah 5,75% dan 3,00%, sehingga bunga aktualnya adalah 2,75%. Waktu yang ditetapkan dalam perhitungan NPV dan NJOP adalah selama 20 tahun (analogi dari lamanya masa pakai bangunan).

Perhitungan NPV menggambarkan pendapatan yang akan diperoleh pemilik lahan dengan tidak menjual lahannya yang bersifat produktif. Nilai NPV yang akan dihitung adalah nilai NPV dari tutupan lahan perkebunan, pertanian dan sawah. Perhitungan NPV didasarkan pada arus kas setiap tahunnya, yang merupakan total pendapatan dikurang dengan biaya. Biaya tetap hanya diperhitungkan ke dalam arus kas pada tahun pertama, sedangkan biaya variabel diperhitungkan setiap tahunnya. Total keuntungan serta biaya-biaya yang diakumulasi menjadi arus kas dalam satu tahun ditampilkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Keuntungan per tahun jenis tutupan lahan pertanian, perkebunan dan sawah.

Keterangan	Pertanian	Perkebunan	Sawah
NJOP (Rp/m ²)	20.000	36.000	20.000
Harga Jual Komoditas (Rp/kg)	2.500	9.000	4.500
Produktivitas (kg/ha)	4000	3700	4500
Luas tanam (ha)	27,62	26,36	6,56
Penerimaan (Rp/panen)	276.200.000	877.788.000	132.840.000
Biaya Tetap (Rp)	14.942.420	65.925.437	9.525.120
Biaya Variabel (Rp)	88.494.480	323.924.860	6.896.000
Total Biaya Panen (Rp)	103.436.900	389.850.297	45.237.760
Keuntungan (Rp)	172.763.100	487.937.703	87.602.240
Keuntungan tanpa Biaya Tetap (Rp)	187.705.520	553.863.140	97.127.360

Keuntungan per tahun ini dikalikan dengan bunga 2,75% setiap tahunnya. Nilai Harapan Tanah dirata-rata, dan kemudian diselisihkan dengan besarnya nilai NJOP lahan tersebut. Nilai PDR yang diperoleh pada setiap jenis tutupan lahan ditampilkan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Nilai PDR atas dasar nilai harapan tanah (NHT) dan harga jual lahan per hektar.

Jenis Tutupan Lahan	NJOP	NPV	Nilai PDR
Pertanian (Rp)	156.460.016	58.447.287	98.012.728
Perkebunan (Rp)	281.628.028	179.897.956	101.730.072
Sawah (Rp)	156.460.016	127.069.234	29.390.782

Hasil perhitungan WTP yang telah diperoleh adalah sebesar Rp 710.105 per hektar, sedangkan biaya PDR yang diperoleh dari **Tabel 7** terlampaui jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai WTP masyarakat, baik pada jenis tutupan lahan pertanian, perkebunan maupun sawah. Hasil ini mengindikasikan bahwa pelaksanaan program PDR tidak dapat berjalan apabila masyarakat pengguna

jasa ekosistem diharuskan membayar biaya PDR dengan jumlah seperti yang tertera pada **Tabel 7** dalam satu tahun.

Kondisi ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain tingginya harga jual lahan, rendahnya pendapatan yang dihasilkan dari lahan pertanian, perkebunan dan sawah, serta rendahnya pemahaman masyarakat akan jasa ekosistem yang dihasilkan lahan penyedia. Padahal, jasa ekosistem yang disediakan selama ini sangat berguna bagi masyarakat di wilayah pengguna. Mata air di kawasan penyedia jasa ekosistem selama ini digunakan untuk kebutuhan hidup sehari-hari seperti air minum, masak, irigasi dan MCK.

Selain terhadap manfaat hidrologi, rendahnya persepsi masyarakat juga terjadi pada hasil pertanian. Masyarakat sepenuhnya menyerahkan pendapatan pertanian pada mekanisme pasar, sehingga pada saat panen raya harga jual hasil pertanian berupa sayur-sayuran dan padi menjadi jatuh. Hal ini mendorong petani menjual lahan tempat bekerjanya yang umumnya kemudian dikonversi menjadi permukiman atau guna lahan lain. Hal tersebut mencerminkan belum adanya kesadaran publik terhadap kemungkinan kehilangan sumber daya air, sumber makanan, dan buah-buahan. Hal ini merupakan penyebab utama kesulitan implementasi PDR pada wilayah penelitian.

Besarnya biaya insentif PDR harus tetap diperoleh pemilik lahan sebesar biaya penjualan hak pembangunan yang terhitung. Jika dilakukan hal sebaliknya, yakni dengan mengurangi biaya PDR sesuai dengan kesediaan masyarakat, maka jasa ekosistem tidak terpelihara dengan maksimal, karena tidak dihargai seperti sebagaimana seharusnya. Hal ini juga menimbulkan ketimpangan keadilan antar pemilik lahan dan pengguna jasa ekosistem. Menyiasati nilai *Willingness to Pay* masyarakat yang lebih kecil dibandingkan dengan biaya PDR ini, maka diperlukan subsidi dari pemerintah untuk menggantikan total kompensasi atas penjualan hak pembangunan.

3.3. Analisis SWOT

Sebelumnya, telah diperoleh hasil penelitian mengenai pengimplementasian program PDR di wilayah Kecamatan Pamulihan, Kabupaten Sumedang, mulai dari studi literatur mengenai program ini, karakteristik wilayah, karakteristik sosial dan ekonomi masyarakat, dan analisis nilai manfaat. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, maka kondisi-kondisi yang terjadi dikategorikan sebagai *Strength*, *Weakness*, *Opportunities* dan *Threat* yang dirangkum dalam **Tabel 8**.

3.3.1. *Strength* (kekuatan)

1) Peningkatan partisipasi masyarakat

Program PDR ini merupakan program yang berbasis kesepakatan bersama. Oleh karena itu, masyarakat perlu berpartisipasi dalam pengambilan keputusan

mengenai perjanjian konservasi dalam program ini. Tak hanya itu, sistem kesepakatan ini mampu meningkatkan tanggung jawab pribadi masyarakat, dalam hal ini sebagai pengambil keputusan. Keterlibatan masyarakat dalam penyelenggaraan jasa lingkungan hidup ditulis dalam Bab IX PerGub Jawa Barat Nomor 33 Tahun 2019 tentang Petunjuk Pelaksanaan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 5 Tahun 2015 tentang Pengelolaan Jasa Lingkungan Hidup.

2) Menitikberatkan keadilan dan kesetaraan hak

Pemahaman masyarakat Indonesia selama ini, sumber daya air adalah milik negara dan dikuasai oleh negara untuk dipergunakan sebesar-besarnya bagi kemakmuran rakyat, sesuai dengan bunyi pasal 33 ayat 3 UUD 1945. Akibatnya, sumber daya air dipandang sebagai barang bebas (*free goods*) sehingga diambil dan dimanfaatkan secara berlebihan, sehingga menimbulkan pengikisan sumber daya (*dissipasipation resource*), sumber daya air tidak terdistribusi sesuai dengan tempat dan waktu yang dibutuhkan, dimana menimbulkan kekeringan dan banjir pada wilayah tertentu (Arsyad dan Rustiadi 2012). Di satu sisi, sumber daya air yang ada pada lahan milik tersebut, selama ini digunakan oleh masyarakat lain untuk kegiatan produksi dan konsumsi, tetapi tidak adanya kompensasi atas pemanfaatan air tersebut, yang mana pengadaannya mungkin melibatkan tindakan-tindakan konservasi dari pihak penyedia air. Di sisi lain, apabila pemilik lahan tidak menjaga ekosistem lahan, fungsi hidrologis dapat mengalami penurunan, sehingga berakibat pada kegiatan produksi masyarakat yang selama ini memanfaatkan air mengalami penurunan juga. Dengan kesepakatan melalui Program PDR, hak pembangunan penyedia sumber daya air dijual-belikan, sehingga pengguna air dapat membeli dan memanfaatkan secara bebas, sementara pemilik lahan yang menyediakan sumber daya air bertanggung jawab atas hak bangun yang telah ia jual, untuk mentaati perjanjiannya dengan pembeli hak.

3) Meningkatkan pertumbuhan ekonomi desa

Pengimplementasian program ini mampu meningkatkan ekonomi desa, baik pada wilayah desa penyedia jasa ekosistem, serta pengguna jasa ekosistem. Pada wilayah penyedia jasa ekosistem, masyarakat difasilitasi untuk menjual suatu fungsi, masyarakat tidak perlu melakukan banyak usaha untuk menjualnya. Uang yang diperoleh dari hasil penjualan inipun dapat digunakan masyarakat secara langsung. Hal ini dapat meningkatkan pendapatan masyarakat per bulan, dan secara regional dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi desa di wilayah penyedia. Sementara di wilayah pengguna jasa ekosistem, peningkatan perlindungan terhadap ekosistem di wilayah penyedia dengan program PDR mampu meningkatkan hasil produksi, dan keberlanjutan

usaha masyarakat, dan pada akhirnya mampu meningkatkan perekonomian desa di wilayah pengguna jasa ekosistem.

3.3.2. Weaknesses (kelemahan)

1) Sistem administrasi dan regulasi yang kompleks

Jika merujuk pada teknis pelaksanaan PDR di negara bagian Amerika (Virginia), maka kesepakatan yang terjadi harus didata dengan baik dan teratur, termasuk soal pendaftaran, pendanaan, dan pemeliharaan wilayah. Hal ini akan cukup sulit dan memakan waktu untuk membentuk sistem administrasi dan regulasi di wilayah penelitian, terutama jika kewajiban ini dibebankan kepada pemerintah desa.

2) Perlu bergantung dengan pihak luar

Pelaksanaan program PDR ini melibatkan penilaian terhadap nilai suatu lahan. Penilaian bagi lahan tidak hanya berkenaan dengan administrasi, namun juga mengenai manfaat ekosistem. Penilaiannya perlu dilakukan oleh lembaga yang tersertifikasi dalam memberikan penilaian, seperti asesor dari bank, konsultan lingkungan atau akademisi. Kondisi di wilayah ini, belum ada lembaga, atau bagian dari pemberdayaan masyarakat yang dapat menghitung total nilai manfaat jasa ekosistem. Tidak hanya itu saja, kuasa hukum juga perlu terlibat untuk mewadahi perjanjian yang telah disepakati. Artinya kesepakatan dalam program PDR ini tidak hanya melibatkan dua pihak: masyarakat serta pemerintah daerah, tetapi pihak atau lembaga luar, dan isu sumber daya manusia ini menjadi pertimbangan dalam keberlanjutan program PDR.

3) Luas lahan per individu di wilayah penyedia kecil

Apabila berkaca dengan sistem pelaksanaan PDR di Amerika, yang mana penjualan hak pembangunan merupakan inisiatif dari pemilik lahan, maka hal ini menjadi sulit karena kondisi di wilayah penelitian, luas lahan yang dimiliki tiap-tiap individu ukurannya kecil. Oleh karena itu, penjualan satu pemilik lahan tidak memberikan efek berarti bagi penyedia jasa ekosistem. Penjualan hak pembangunan perlu dilakukan secara simultan oleh beberapa pemilik lahan, atau satu pemilik lahan namun dengan areal yang luas supaya memberikan dampak yang terasa bagi lahan pengguna jasa ekosistem. Luas lahan yang kecil ini mengakibatkan perlunya ada kesamaan persepsi antar sesama pemilik lahan di wilayah penyedia jasa ekosistem untuk bersama-sama menjual hak membangunnya.

3.3.3. Opportunities (peluang)

1) Desa terletak di wilayah pembangunan

Letak desa yang berada di wilayah pembangunan. Wilayah penyedia jasa ekosistem berjarak sekitar 2 kilometer dengan pintu tol Cisumdawu, yang kini

tengah (Mei 2019) dalam tahap pembangunan. Selanjutnya, diprediksi ada kemungkinan muncul banyaknya kebutuhan lahan untuk pembangunan. Hal ini menjadi kesempatan bagi Program PDR berkembang di wilayah penelitian karena akan adanya peningkatan tekanan penjualan lahan untuk pembangunan di wilayah penyedia ekosistem (Desa Cigendel), sementara masyarakat perlu menjaga lahan-lahan produktif.

2) Telah banyak berkembang metode dan penelitian mengenai pemetaan wilayah jasa ekosistem

Pemetaan dalam program PDR ini berfungsi untuk mengetahui batasan wilayah yang merupakan pengguna, dengan wilayah yang menjadi penyedia jasa ekosistem. Saat ini, adanya metode HESSA, serta metode-metode lain yang terus berkembang seiring dengan perkembangan teknologi, akan memudahkan pemetaan identifikasi wilayah penyedia dan pengguna, yang kelak akan sangat berguna membatasi wilayah dalam pelaksanaan program PDR.

3) Dukungan pemerintah mengenai pengalokasian dana bagi konservasi wilayah

Adanya perintah bagi BUMN, BUMS untuk mengalokasikan dana CSR sebesar 10%, dan bagi gubernur, bupati/wali kota untuk mengalokasikan 1% dana APBD bagi konservasi sumber daya alam yang artinya ada besar bantuan yang tersedia untuk pelaksanaan konservasi, yang termasuk salah satunya adalah program PDR ini.

4) Konsep imbal jasa lingkungan atau PES (*payment for ecosystem service*) yang sudah diterapkan di Indonesia

Konsep PES ini sudah diterapkan di beberapa lokasi di Indonesia antara lain Sumber Jaya (Provinsi Lampung), Kuningan-Cirebon (Provinsi Jawa Barat), Sungai Wain (Provinsi Kalimantan Timur), dan sebagainya (Fauzi and Anna 2013). Skema PES berbasis mekanisme pasar dan bersifat sukarela dalam pengelolaan dan perlindungan lingkungan (Herbert *et al.* 2010). Karena kemiripan kedua konsep ini, maka penelitian dan lembaga yang terlibat dalam penerapan konsep PES dapat digunakan kembali, atau digunakan dengan perubahan untuk penerapan konsep PDR di Indonesia.

3.3.4. Threats (ancaman)

1) Valuasi masyarakat terhadap jasa ekosistem rendah

Seperti pada penelitian yang telah dilakukan, tingkat pengertian masyarakat mengenai jasa ekosistem keduanya ada pada tingkatan yang *non-sustainable*. Hal ini dapat terlihat dari nilai WTP yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai manfaat wilayah penyedia jasa ekosistem. Masyarakat di wilayah pengguna jasa ekosistem tidak menyadari bahwa air yang digunakannya selama

ini merupakan hasil perlindungan terhadap jasa ekosistem di wilayah penyedia. Kesadaran masyarakat soal jasa ekosistem ini berpengaruh besar terhadap minat masyarakat untuk melakukan penjualan dan pembelian jasa ekosistem.

2) Jasa hidrologis tidak memenuhi permintaan wilayah pengguna

Dalam penelitian yang telah dilakukan, kuantitas air yang disediakan mata air Pelton hanya memenuhi 0,69% dari permintaan masyarakat di wilayah penyedia akan air (mata air Pelton bukanlah satu-satunya mata air di wilayah penyedia jasa ekosistem yang menjadi sumber bagi wilayah penyedia). Selain rendah secara kuantitas, kualitas air yang bersumber dari mata air Pelton memiliki pH yang rendah sehingga air ini tidak layak dikonsumsi.

3) Belum adanya lembaga independen yang khusus menangani konservasi lahan di Indonesia

Diperlukan lembaga yang secara khusus menangani konservasi lahan, yang akan berfungsi secara teknis untuk melakukan pengadaan dana, sumber daya manusia, dan bantuan-bantuan yang diperlukan dalam pelaksanaan program ini. Seperti halnya pelaksanaan PDR di Amerika, lembaga yang disebut dengan *Land Trust* adalah lembaga independen yang memberi kemudahan bagi pelaksana program PDR dengan mengambil peran sebagai pihak perantara, khususnya dalam pendanaan dan pelaksanaan penilaian manfaat terhadap wilayah yang akan dijual hak bangunnya.

Tabel 8. Analisis SWOT.

<i>Strength</i>	<i>Weakness</i>
(S1) Peningkatan partisipasi masyarakat	(W1) Sistem administrasi dan regulasi yang kompleks
(S2) Menitikberatkan keadilan dan kesetaraan hak	(W2) Perlu bergantung dengan pihak luar
(S3) Meningkatkan pertumbuhan ekonomi desa	(W3) Luas lahan per individu di wilayah penyedia kecil
<i>Opportunities</i>	<i>Threats</i>
(O1) Desa terletak di wilayah pembangunan	(T1) Valuasi masyarakat terhadap jasa ekosistem rendah
(O2) Telah banyak berkembang metode dan penelitian mengenai pemetaan wilayah jasa ekosistem	(T2) Jasa hidrologis tidak memenuhi permintaan wilayah pengguna
(O3) Dukungan pemerintah mengenai pengalokasian dana bagi konservasi wilayah	(T3) Belum adanya lembaga independen yang khusus menangani konservasi lahan di Indonesia
(O4) Konsep imbal jasa lingkungan atau PES (<i>Payment for Ecosystem Service</i>) yang sudah diterapkan di Indonesia	

3.3.5. Penggunaan metode AHP

Berdasarkan hasil identifikasi SWOT, dilakukan pembobotan untuk masing-masing faktor ini dengan metode AHP yang bertujuan untuk

menentukan kepentingan relatif antar faktor-faktor dalam SWOT. Dalam AHP, dilakukan perbandingan berpasangan yang didasari oleh skala perbandingan yang sudah terstandarisasi (Albayrak and Erensal 2004). Pada penelitian ini, *expert* yang melakukan pembobotan ini antara lain dosen-dosen, serta Dinas Lingkungan Hidup Jawa Barat. Hasil pembobotan ditunjukkan pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Prioritas dan *consistency ratio* dari perbandingan kelompok dan faktor SWOT dalam pengimplementasian PDR.

Kelompok SWOT	Nilai Prioritas		Faktor SWOT	CR	Nilai Prioritas Lokal	Nilai Prioritas Global
<i>Strength</i> (Kekuatan)	0,425	(S1)	Peningkatan partisipasi masyarakat	0,00	0,473	0,201
		(S2)	Menitikberatkan keadilan dan kesetaraan hak		0,255	0,108
		(S3)	Meningkatkan pertumbuhan ekonomi		0,272	0,116
<i>Weakness</i> (Kelemahan)	0,173	(W1)	Sistem administrasi dan regulasi yang kompleks	0,10	0,517	0,089
		(W2)	Perlu bergantung dengan pihak luar		0,125	0,022
		(W4)	Luas lahan per individu di wilayah penyedia kecil		0,358	0,062
<i>Opportunities</i> (Peluang)	0,199	(O1)	Desa terletak di wilayah pembangunan	0,07	0,213	0,042
		(O2)	Telah banyak berkembang metode dan penelitian mengenai pemetaan jasa ekosistem		0,207	0,041
		(O3)	Dukungan pemerintah mengenai pengalokasian dana bagi konservasi wilayah		0,312	0,062
		(O4)	Konsep Imbal Jasa Lingkungan atau PES (<i>Payment for Ecosystem Service</i>) yang sudah diterapkan di Indonesia		0,269	0,054
<i>Threat</i> (Ancaman)	0,203	(T1)	Valuasi masyarakat terhadap jasa ekosistem rendah	0,00	0,594	0,121
		(T2)	Jasa hidrologis tidak memenuhi permintaan wilayah pengguna		0,157	0,031
		(T3)	Belum adanya lembaga independen yang khusus menangani konservasi lahan di Indonesia		0,249	0,051

Berdasarkan kuesioner kepada pakar mengenai prioritas masing-masing faktor SWOT, maka diperoleh faktor SWOT tertinggi yaitu *Strength*, dengan nilai prioritas 0,425. Jika dibagi menjadi faktor internal (S dan W) serta faktor eksternal (O dan T), maka dalam faktor internal, *Strength* yang menjadi faktor terkuat sementara pada faktor eksternal, *Threat*, atau ancaman yang juga menjadi faktor terkuat.

Dalam kelompok *Strength*, faktor *Strength* yang paling berbobot paling besar yaitu S1 (peningkatan partisipasi masyarakat). Faktor inipun menjadi nilai prioritas tertinggi diantara faktor lain dalam seluruh kelompok SWOT. Peningkatan partisipasi masyarakat menjadi kekuatan yang dapat digunakan untuk mengatasi ancaman (*Threat*). Sementara, di kelompok *Threat*, faktor yang paling kuat yaitu T1 antara lain tingkat valuasi masyarakat yang rendah. Dari kedua kondisi yang paling mempengaruhi pengimplementasian program PDR di wilayah penelitian, maka disusunlah rekomendasi yang sekiranya mampu memanfaatkan kekuatan (*Strength*) khususnya kekuatan berupa faktor partisipasi masyarakat, untuk mengatasi ancaman (*Threat*), khususnya valuasi masyarakat yang rendah.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kondisi lingkungan di wilayah penyedia jasa ekosistem tidak dapat memenuhi kebutuhan masyarakat pengguna jasa ekosistem dan tidak bersifat berkelanjutan sehingga diperlukan perbaikan lingkungan untuk memaksimalkan jasa ekosistem. Biaya *Payment for Development Right* (PDR) untuk mengkompensasi penjualan hak pembangunan lebih besar nilainya, baik pada tutupan lahan pertanian, perkebunan dan sawah dibandingkan dengan kesediaan masyarakat untuk membayar jasa ekosistem (WTP). Harga penjualan hak pembangunan yang tidak dapat dipenuhi oleh masyarakat, yang berimplikasi kepada tidak dapat berjalannya PDR jika seluruh biaya kompensasi ditanggung oleh masyarakat pengguna jasa ekosistem. Pengimplementasian program PDR terancam oleh rendahnya valuasi masyarakat pada wilayah penelitian. Sementara, kekuatan dari terlaksananya program ini adalah peningkatan partisipasi masyarakat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Albayrak E and Erensal YC. 2004. Using analytic hierarchy process (AHP) to improve human performance: an application of multiple criteria decision making problem. *Journal of Intelligent Manufacturing* 15:491-503.
- Arsyad S dan Rustiadi E. 2012. *Penyelamat tanah, air, dan lingkungan*. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Camacho-Cuena E, García-Gallego A, Georgantzís N and Sabater-Grande G. 2004. An experimental validation of hypothetical willingness to pay for a recyclable product. *Environmental and Resource Economics* 27:313-335.
- Fauzi A and Anna Z. 2013. The complexity of the institution of payment for environmental services: a case study of two Indonesian PES scheme. *Ecosystem Services* 6:54-63.

- Herbert T, Vonada R, Jenkins M and Bayon R. 2010. Environmental funds and payments for ecosystem services. RedLAC. Rio de Janeiro.
- Hernawan E, Kartodiharjo H, Darusman D dan Soedomo S. 2010. Prinsip pembagian biaya-manfaat menggunakan model pembelian hak membangun (PDR). JMHT 2:73-83.
- Miller G and Krieger D. 2004. Payment for development rights: preserving farmland and open space. Planning Commissioners Journal 23:1-7.
- Nurfatriani F dan Handoyo. 2007. Nilai ekonomi manfaat hidrologis hutan di DAS Brantas Hulu untuk pemanfaatan non komersial. Jurnal Sosial Ekonomi 3:193-234.
- PerGub (Peraturan Gubernur) Jawa Barat Nomor 33 Tahun 2019 tentang petunjuk pelaksanaan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 5 Tahun 2015 tentang pengelolaan jasa lingkungan hidup.
- PerMenKes (Peraturan Menteri Kesehatan) Nomor 492 Tahun 2010 tentang persyaratan kualitas air minum.
- Ramdan H. 2015. Aplikasi HESSA (*Hydro Ecosystem Services Spatial Assessment*) untuk pemetaan wilayah penyedia dan pengguna air di kawasan hutan pegunungan [Prosiding]. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Diversitas Indonesia 1(7):1719-1724.
- UUD (Undang-Undang Dasar) Negara Republik Indonesia Tahun 1945.
- Tomich TP, Thomas DE and van Noordwijk M. 2004. Environmental services and land use change in Southeast Asia: from recognition to regulation or reward?. Agriculture, Ecosystems & Environment 104:229-244.

Model of sustainable land management (study at Bukit Sepuluh Ribu area of Bungursari Sub-District, Tasikmalaya City, West Java)

D. Ramdhani¹, S. W. Utomo^{1,2*}, H. Thayib¹, Y. Wardhana¹

¹Environmental Science Study Program, School of Environmental Sciences, University of Indonesia, Jakarta, Indonesia

²Department of Environmental Health, Faculty of Public Health, University of Indonesia, Jakarta, Indonesia

Abstrak.

Penelitian ini berkaitan dengan meningkatnya tekanan pada sumber daya di bukit akibat konversi lahan yang menyebabkan degradasi lingkungan dan mengarah pada ketidakberlanjutan lingkungan. Bukit yang tersebar merata yang dikenal dengan nama Bukit Sepuluh Ribu adalah sumber kehidupan bagi masyarakat sekitarnya. Bukit yang dibentuk oleh letusan gunung berapi ini memiliki tutupan lahan yaitu dekat dengan vegetasi hutan. Lokasi penelitian berada di kawasan Bukit Sepuluh Ribu yang memiliki fungsi lingkungan secara ekologis, hidrologis, geologis dan estetika. Konsep pemberdayaan masyarakat melalui Agroekosistem dapat menjadi solusi, sehingga pemanfaatan bukit ini menguntungkan secara ekonomi dan berkelanjutan secara lingkungan. Terdapat penggunaan lahan seluas 682,9 Ha yang tidak sesuai dengan rencana tata ruang, yaitu digunakan sebagai daerah pemukiman padat (264,67 Ha), pertanian lainnya (359,21 Ha) dan daerah pertambangan (58,51 Ha). Melalui konsep pemberdayaan masyarakat yang tepat sesuai dengan aturan dan tipologi kawasan perbukitan diyakini dapat memberikan manfaat ekosistem dan menghasilkan produk bernilai ekonomi tanpa merusak alam. Konsep pemberdayaan melalui agroekosistem lahan kering dengan menggabungkan kegiatan pertanian berbasis hutan adalah salah satu solusi untuk masalah pengelolaan lahan.

Kata kunci: alih guna lahan, degradasi lingkungan, sumber daya Bukit Sepuluh Ribu

Abstract.

This study is associated with the increased pressure on hill resources due to land conversion that causes environmental degradation and leads to environmental unsustainability. The evenly spread hill known as Bukit Sepuluh Ribu, is a source of community life. The hill formed by the eruption of a volcano, has a land cover, namely close to forest vegetation. The study location is in Bukit Sepuluh Ribu area that has ecological, hydrological, geological and aesthetic environmental function. The concept of community empowerment through Agro-ecosystem can be a solution, thus the utilization of the hill is economically profitable and environmentally sustainable. There are land use unsuitability referring to the existing spatial plan (682.9 Ha), namely high densely settlement area (264.67 Ha), other agriculture (359.21 Ha) and mining areas (58.51 Ha). Through the concept of appropriate community empowerment in accordance with the rules and typology of hill areas can provide the potential benefits of ecosystems and produce products of economic value without damaging them. The concept of empowerment through dryland agro-ecosystem by combining forest-based agriculture activities is one of the solutions to the problem of land management.

Keywords: land use transfer, environmental degradation, Bukit Sepuluh Ribu resources

1. INTRODUCTION

The increased population in Bukit Sepuluh Ribu area caused massive change in the function of the hill land into non hill which lead to environmental unsustainability due to the living necessities and the economy of the surrounding community. This cycle needs to be limited by the implementation of sustainable development strategies in order to restore the environmental degradation, livelihood and primarily reduce poverty. It is important to ensure local livelihoods of communities on environmental conservation and conservation

* Korespondensi Penulis
Email : suyudwarno@gmail.com

programs to pursue a strategy that can outline issues directly at the household and community levels. The importance of land-use policies and land-use planning ensures that land use is sustainable and useful for people's livelihoods (Kombo and Ekisa 2015).

Community involvement in natural resource management, in principle is as a form of integration of public participation into the development system in order to strengthen the economic, institutional and social community (Mukhtar 2010). The concept of community empowerment through Agro-ecosystem can improve the quality of the environment, provide economic value by not degrading environmental functions and benefits (Pranadji 2015).

The definition of empowerment according to Sulistiyani (2004) derives from the word "power" which means strength and ability. It is a process of obtaining the power, strength and ability from the party with power to less or less powerful party. The goal of empowerment is to ensure livelihoods of local communities in environmental conservation and conservation programs to pursue strategies that can address problems directly at both household and community levels (Kombo and Ekisa 2015).

According to Pranadji (2015) the concept of dry land agro-ecosystem is one of the community empowerment strategies, by directing the environmental utilization economically without damaging it. A critical plantation greening program with perennials can fertilize dry land and produce high value economic products (environmental services for communities who manage local dryland).

Agro-ecosystem is a reciprocal agriculture between a group of people (community) and the physical environment of its environment in order to enable the survival of the group of people (the community). Agro-ecosystem derived from the word system, ecology and agro (Anonymous 2011). A system is a unity of interrelated and influencing components thus there is a harmonious process. Ecology is the science of the reciprocal relationship between an organism and its environment. Meanwhile ecosystem is a system consisting of biotic and abiotic components involved in a joint process (energy flow and nutrient cycle).

According to Odum (1993) ecosystem means an entire and whole order of unity between all elements of abiotic and biotic environment that interact. It is therefore possible that one or more of its components may indicate or as an indicator of other components of the same ecosystem.

Agricultural activities are always associated with agroecological factors, which include both biotic and abiotic components interacting with agro-ecosystem. Man-managed farming systems, cultivated crops planted will interact with the surrounding ecology. The ecological mechanism occurred is determined by the composition of agricultural crops and also determined by abiotic factors such as soil chemistry, climate and management or agricultural degradation. To

maintain the interaction between these biotic and abiotic components, a sustainable agriculture system is needed, namely agriculture that maintains the environmental quality and conservation of natural resources (Warren *et al.* 2008).

2. METHODOLOGY

The study location is in Bukit Sepuluh Ribu Area, Bungursari Sub-District, Tasikmalaya City. This study uses quantitative approach. Nevertheless, the study method used is a combination of quantitative and qualitative methods (mix method). The quantitative method is used for data collection through satellite image digitization, questionnaires, laboratory identification and direct measurement, while the qualitative method uses interviews with community leaders, relevant offices and other stakeholders. Sampling is done by using slovin formula and the determination of respondent is using purposive sampling. From 9,477 head of families is obtained in total 383 respondents and 33 stakeholder respondents. The environmental samples are air quality and surface water. The types of data collected are primary and secondary data. Questionnaire items on the questionnaire are arranged by Likert scale.

3. RESULT AND DISCUSSION

Land use analysis, environmental, social and economic conditions analysis and stakeholder role analysis will be the basis for modelling that can be applied to Bukit Sepuluh Ribu Area.

3.1. Analysis of land use suitability in Bukit Sepuluh Ribu Area

The spatial use pattern of Tasikmalaya City area covers the protected and cultivation areas, set at Tasikmalaya City Spatial Plan of 2011-2031 on Local Regulation No. 4 Year 2012 about regional spatial plan for Tasikmalaya City in 2011-2031(**Figure 1**).

Comparison of land use based on the Tasikmalaya City Spatial Plan of 2011-2031 and the existing condition shown at **Table 1**. The results of the analysis indicate that there is deviation or unsuitability of land use to the area that exceeds the provision or planning in the spatial plan already defined, i.e 682.9 Ha for high densely settlement area (264.67 Ha), other agricultures (359.21 Ha) and mining area (58.51 Ha).

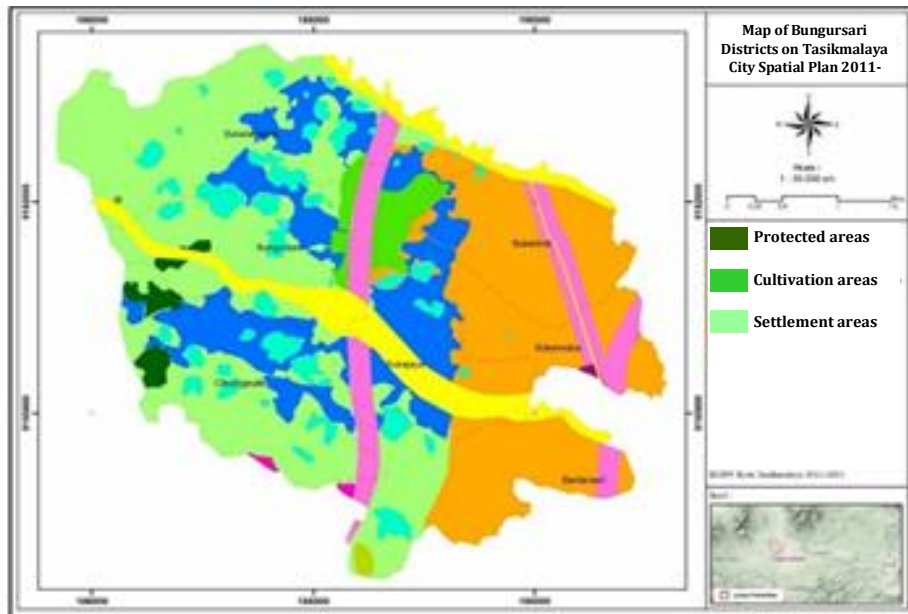


Figure 1. Land use map of Bukit Sepuluh Ribu area.

Table 1. Comparison of land use based on the spatial plan and the existing condition.

Land use	Spatial Plan (Ha)	Existing (Ha)	Δ Delta (Ha)
Water absorption	23.47	22.76	0.71
Situ Borderline	4.38	4.38	0.00
Low density	580.90	283.07	297.83
Medium density	407.86	252.92	154.93
High density	0.06	264.73	-264.67
Other agricultures	50.31	409.52	-359.21
Industrial warehouse	3.46	3.46	0.00
Minapolitan	258.70	174.31	84.39
Trade & services	128.83	65.67	63.16
Offices	1.35	1.35	0.00
Mining	118.75	187.25	-58.51
High-tension transmission lines	4.10	4.10	0.00
General Cemetery	0.50	0.50	0.00
Lava flow	135.45	28.37	107.07
Total	1,718.59	1,718.59	

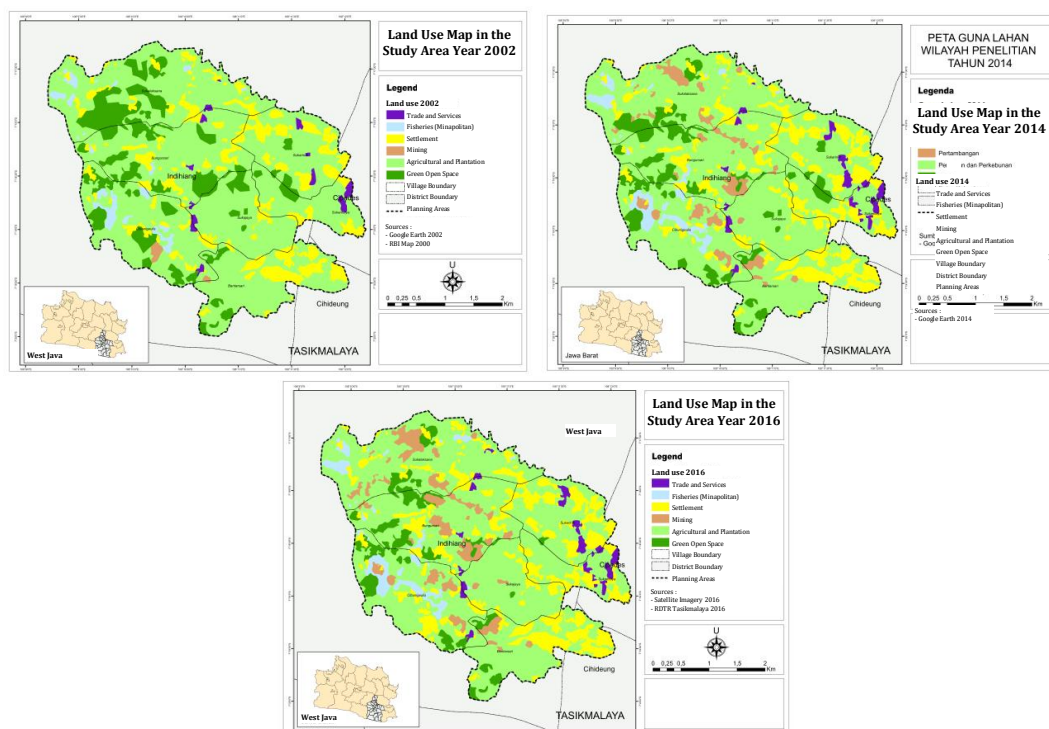
3.2. Land use based on time series of 2002, 2014 and 2016

Based on the digitization of land cover satellite image, land use change class of Bukit Sepuluh Ribu Area in Bungursari Sub-District in 2016 most in the form of agriculture and plantation (409.52 Ha), settlement (802.06 Ha) and mining (187.25 Ha). Changes in the land use of Bukit Sepuluh Ribu area are related to the population growth rate, economic activity and regional development. **Table 2** show the land use of Bukit Sepuluh Ribu area in time series.

Table 2. Changes in the land use of Bukit Sepuluh Ribu area in 2002, 2014, 2016.

Year	Trade and Service (Ha)	Minapolitan (Ha)	Settlement (Ha)	Mining (Ha)	Agriculture & Plantation (Ha)	Open Green Space (Ha)
2002	19.40	36.86	243.97	6.49	1,184.90	227
2014	30.87	53.08	294.58	72.70	1,126.40	141
2016	69.13	57.6	802.06	187.25	409.52	102.10

Based on **Table 2** the land use increase occurs in the land use types of trade and services, minapolitan, settlement and mining. In contrast, agricultural land and plantations and open green space have decreased, where in 2014-2016 the agricultural and plantation areas decreased by 42.34%. The changes in the land use of Bukit Sepuluh Ribu area in time series can be seen in **Figure 2**.

**Figure 2.** Time-series of land use map in 2000, 2014 and 2016.

3.3. Environmental, social and economic condition of the people in hill area

The turbidity of water and air monitoring are necessary, especially the water is used directly by the community for agricultural, plantations and fisheries activities. The test results show that the existing water quality based on the Government Regulation No. 82 Year 2001 is still below the quality standard

which means that it can still be used for agricultural and freshwater fishery cultivation activities. As for the air quality is at the observation point of a distance of ± 250 meters from the community settlement, with reference to the Government Regulation No. 41 Year 1999, i.e 0.37 mg/m^3 already above the standard quality. The following sample locations (water and air) are shown in **Figure 3**.

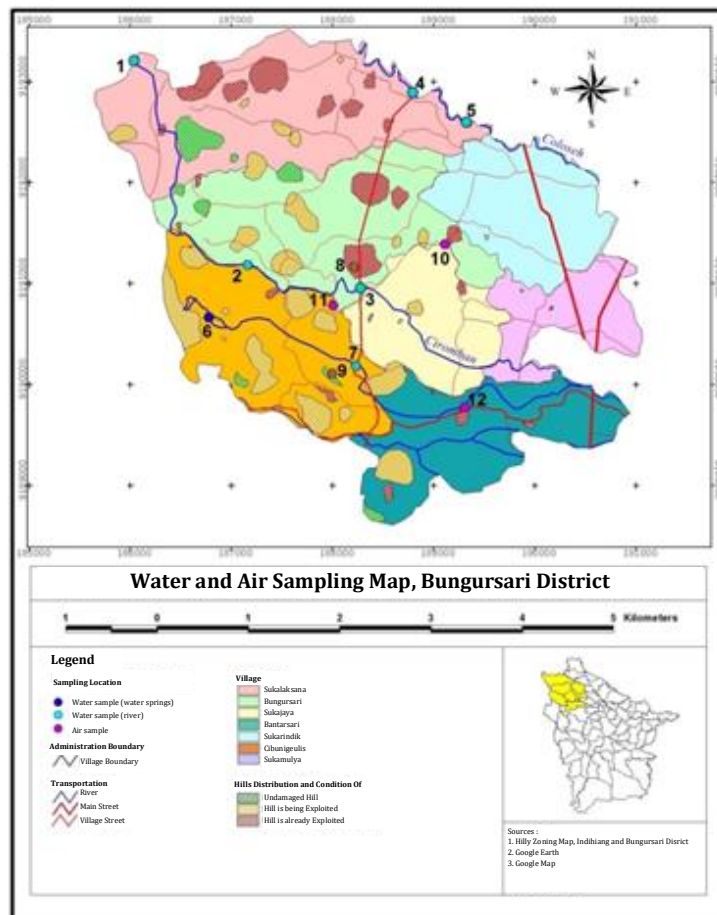


Figure 3. Location of water and air sampling map.

The economic impacts of the efforts of development activities, especially the land function transfer has not been able to provide the economic equity of the people. The improved communities are migrants and the people who suffer from a decrease in income levels are local farmer groups. The opening of job opportunities are services of vehicles, leased house and food stalls. The decrease in agricultural land affects the current pattern of work, starting to shift to non-agricultural sectors. The large number of employments arising from non-agricultural activities in this case is the mining activity of 0.65.

Impact on the social aspects is the emergence of disputes within the community consisting of vertical and horizontal constellations. Horizontal conflict occurs between individuals who are still siblings or still have family relationships. This conflict is a conflict of ownership of land and hill which is claimed as the right of each party or group of disputes. The land has no proof of ownership, thus there is a difference of principle in one of the parties in conflict. Further vertical conflicts between communities and mining entrepreneurs occur, because the study location is in massive hill mining activities. The people are disturbed as a result of heavy equipment activities that sometimes operate until night. The disturbance in water sources such as drought in a dry season becomes the most common problem complained by the community.

3.4. Stakeholder role analysis

The role of community measured through the level of public participation with the instrument of participation from Arnstein with eight ladders of public participation is at the level of manipulation which means there is no communication or dialogue between the government and the community. The limited number of people who know about information on activities related to the hill land indicates that communication between the government and the community has not gone well.

The role of government in this case is seen from the implementation of duty and authority of the Office of Environment, namely from a special policy device related to the management or protection of Bukit Sepuluh Ribu Area is still not available and has not been able to make efforts to realize, increase and develop partnerships with the community in supporting the sustainability of the hill area.

3.5. Sustainable land management model

Hill management efforts are currently already conducted by the community although minimal but still can be improved to reach the optimum level. The concept of a combination of agriculture and hill land can be developed through agro-ecosystem. The concept of agro-ecosystem through planting of wood species and fruit plants initiated by community groups has been done by some people. Benefits generated will be enjoyed by the surrounding community such as the sale of wood later for social and religious activities and village cash. In addition to wood, the fruits will also be enjoyed by the community.

In accordance with the existing potential natural resources and the result of incentive discussion with stakeholders, Bukit Sepuluh Ribu Area can be developed for the concept of community empowerment through a forest-based dry land agro-ecosystem model that combines the components or activities of agriculture (species of wood and fruit trees) and hill ecosystem in the hill and former hill land.

4. CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

The high level of land transfer function is closely related to the factors of increasing population, the economic needs of infrastructure and community development. The development or management of the potential resources has tended to pursue improvements in the productivity and quality of agricultural products, but has little regard for stability and sustainability. The involvement of communities in natural resource management, in principle is as a form of integration of public participation into the development system in order to strengthen the economic, institutional and social community.

The conclusions of this research are there is the unsuitability of land use in the Bukit Sepuluh Ribu Area according to the designated spatial plan, a decline on environmental, economic and social functions caused by development activities, especially the land transfer, and also the lack of role and participation of stakeholders in the existence of the hill sustainability. The dryland agro-ecosystem model can be a solution as a suitable community empowerment strategy based on the regional typology and the community characteristic in the hill area.

5. REFERENCES

- Anonymous. 2011. Pengertian agroekosistem [internet]. Tersedia di: <http://www.artikata.com/arti-318031-agroekosistem.html>.
- Government Regulation No. 41 Year 1999 on air pollution control.
- Government Regulation No. 82 of 2001 on water quality management and water pollution control.
- Kombo NP and Ekisa GT. 2015. The Impact of land use change on livelihood of the massai community in Kajiado Country, Kenya. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management* 8(4):433-441.
- Local Regulation No. 4 Year 2012 on regional spatial plan for Tasikmalaya City in 2011-2031.
- Mukhtar. 2010. Pengelolaan program hutan kemasyarakatan berbasis kearifan lokal: studi kasus di kawasan hutan lindung Sesaot Lombok Barat. *Jurnal Wacana* 13(1):132-151.
- Odum EP. 1993. *Dasar-dasar ekologi: volume ke 3*. Terjemahan dari: *Fundamentals of Ecology*. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.
- Pranadji T. 2015. Model pemberdayaan masyarakat pedesaan untuk pengelolaan agroekosistem lahan kering [Tesis]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sulistiyan AT. 2004. *Kemitraan dan model-model pemberdayaan*. Gaya Media. Yogyakarta.
- Warren J, Lawson C and Ken B. 2008. *The agri-environment*. Cambridge University Press. New York.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY MANAGEMENT

ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025

Vol. 3 No. 2, Agustus 2019

Konsentrasi C-organik dan substrat sedimen di perairan Pelabuhan Belawan Medan (Y. Yolanda, H. Effendi, B. Sartono)	300-308
Makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas perairan Pulau Penyengat, Kepulauan Riau (Y. Rosdatina, T. Apriadi, W. R. Melani)	309-317
Analisis sumber utama emisi gas rumah kaca pada perkebunan kelapa sawit dengan pendekatan <i>life cycle assessment</i> (D. Harimurti, Hariyadi, E. Noor)	318-330
Pengembangan <i>payment for development right</i> (PDR) untuk konservasi air pada lahan milik di Kecamatan Pamulihan, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat (Y. Barus, H. Ramdan)	331-345
Model of sustainable land management (study at Bukit Sepuluh Ribu area of Bungursari Sub-District, Tasikmalaya City, West Java) (D. Ramdhani, S. W. Utomo, H. Thayib, Y. Wardhana)	346-353

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