

Volume 3 Nomor 1 Tahun 2019
April 2019

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 Karliansyah, M.Si (UI)

Alamat Redaksi

Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (JPLB)

Gedung Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH-IPB) Lantai 4

Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

Telp. 0251 – 8621262, 8621085; Fax. 0251 – 8622134

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

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

Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL) se-Indonesia bekerjasama dengan Pusat Penelitian Lingkungan Hidup – Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor (PPLH-LPPM, IPB) mengelola bersama penerbitan JPLB sejak tahun 2017, dengan periode terbit tiga nomor per tahun. Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (JPLB) menyajikan artikel ilmiah mengenai pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan dari segala aspek. Setiap naskah yang dikirimkan ke Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan ditelaah oleh mitra bestari.

Efektivitas IPAL portabel sebagai alternatif pengelolaan limbah cair domestik

I. B. Priyambada¹, Purwono^{2*}

¹Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

²Ilmu Lingkungan, Institut Agama Islam Negeri, Surakarta, Indonesia

Abstrak.

Di Indonesia, selain sebagai saluran air alamiah, sungai sering pula digunakan sebagai tempat pembuangan air limbah kegiatan rumah tangga (domestik). Penggunaan teknologi yang efisien dan alami merupakan solusi sederhana dan murah untuk mengolah air limbah domestik dengan sistem desentralisasi. Tujuan penelitian ini adalah mengolah air limbah domestik menggunakan IPAL portabel dengan dimensi kecil, sehingga aplikatif untuk skala rumah tangga. Penelitian dilakukan di Laboratorium Lingkungan, Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Diponegoro selama 3 bulan. Metode penelitian menggunakan IPAL portabel untuk mengolah air limbah domestik skala rumah tangga dengan sistem kontinu. Limbah domestik berasal dari kantin kampus Universitas Diponegoro. IPAL portabel menggunakan sistem kombinasi anaerob-aerob yang dilengkapi dengan bak penampung limbah awal, bak penangkap lemak dan bak efluen. Waktu tinggal hidrolis atau *Hydraulic Retention Time* (HRT) dilakukan pada 3 variasi yaitu 4 jam, 8 jam dan 12 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi amoniak mengalami penurunan terbesar pada HRT 12 jam dengan efisiensi penyisihan sebesar 60%. Konsentrasi awal sebesar 40,99 mg/l turun menjadi 16,4 mg/l. Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan minyak & lemak juga mengalami penurunan terbesar pada HRT 12 jam, masing-masing turun sebesar 71% dan 91% dari konsentrasi awal. IPAL portabel ini paling efektif dalam menyetir minyak & lemak.

Kata kunci: amoniak, COD, IPAL portabel, limbah domestik, minyak & lemak

Abstract.

The reality in Indonesia shows that rivers beside as natural channels of water, often the river is used as a household or domestic waste water disposal. The use of efficient and natural technologies is a simple and inexpensive solution for treating domestic wastewater with a decentralized system. The purpose of this research was to treat domestic wastewater using portable and small dimension of WWTP, so that it is applicable for household scale. The research was conducted in Environmental Laboratory, Department of Environmental Engineering, Diponegoro University for 3 months. This research method used portable WWTP for treating domestic wastewater adopting continue system. Domestic waste came from the canteen of Diponegoro University. Portable WWTP used an anaerobic-aerobic combination system equipped with an initial waste basin, a grease catcher tube, and an effluent bath. Hydraulic retention time (HRT) was performed on 3 variations i.e. 4 hours, 8 hours, and 12 hours. The results showed that ammonia concentrations experienced the greatest decrease in HRT 12 hours with efficiency of 60%. Initial concentrations of 40.99 mg/l dropped to 16.4 mg/l. Chemical Oxygen Demand (COD) and oil and grease concentrations also experienced the largest decrease in HRT 12 hours by 71% and 91% of initial concentration. This portable WWTP was the most effective at removing oil and grease.

Keywords: ammonia, COD, portable WWTP, domestic waste water, oil and grease

1. PENDAHULUAN

Pengumpulan dan pembuangan air limbah domestik di Indonesia masih menjadi permasalahan lingkungan yang cukup besar. Air limbah adalah campuran air dengan sejumlah besar bahan kimia (termasuk organik dan anorganik) dan logam berat yang berasal dari kegiatan domestik, industri dan komersial (Dixit *et al.* 2011). Sebagian besar air limbah kegiatan rumah tangga (domestik) dibuang secara langsung ke badan air seperti sungai dan danau.

* Korespondensi Penulis
Email : purwono.ga@gmail.com

Manajemen limbah domestik yang tidak baik menyebabkan pencemaran terhadap badan air (Chen *et al.* 2006).

Penggunaan teknologi yang efisien dan alami merupakan solusi sederhana dan murah untuk mengolah air limbah domestik dengan sistem desentralisasi (Latrach 2016). Sistem desentralisasi memiliki ciri khas mengolah dan menggunakan kembali air limbah di lokasi yang sama (misalnya kebun, rumah dan kantor). Pengelolaan limbah domestik secara desentralisasi menekankan penyelesaian masalah limbah domestik tidak pada pengolahan komunal semata, akan tetapi tersebar di sumbernya masing-masing yaitu di tingkat rumah tangga. Sistem desentralisasi telah terbukti menjadi pilihan yang jauh lebih baik karena menghindari sistem pemipaan dan pengumpulan limbah ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal. Teknologi yang ekonomis, terjangkau, ramah lingkungan dan dapat diterima secara sosial, maka teknologi harus murah, hemat energi, pemeliharaan mudah, efektif dan stabil (Aiyuk *et al.* 2004). Teknologi pengolahan air limbah terdesentralisasi telah berhasil digunakan untuk mengolah air limbah domestik di Jepang dan Thailand (Wakatsuki *et al.* 1993; Masunaga *et al.* 2007).

Pada umumnya, pengelolaan air limbah menggunakan sistem desentralisasi terdiri dari *septic tank* untuk *pre-treatment* dan efluen dialirkan ke badan air. Selanjutnya penyisihan parameter nitrogen dan fosfor menggunakan sistem *wetland* dan filter pasir. Namun, seiring pertumbuhan penduduk, biaya dan ketersediaan lahan menjadi faktor pembatas sistem *wetland* dan filter pasir (Aiyuk *et al.* 2004). IPAL portabel merupakan alternatif teknologi yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Menurut Everhard (2001), industri di Australia telah memproduksi alat pengolah limbah dengan kapasitas 3000 liter/tangki. Kapasitas termasuk cukup besar apabila diterapkan dalam skala rumah tangga. IPAL portabel ini dilengkapi reaktor pengolahan primer, sekunder dan tersier yang tersusun dalam 2 tangki polimer. Pengolahan limbah cair menggunakan media lekat anaerob (biofilter) merupakan teknologi pengolahan yang murah, mudah operasinya serta hemat energi. Media lekat dapat berupa PVC, batu, pasir, *biochart* dan ijuk. Biofilter dapat digunakan untuk air limbah dengan beban COD yang cukup besar dan dapat menghilangkan padatan tersuspensi dengan baik. Air limbah domestik termasuk dalam kategori *grey water*.

Menurut Ajit (2016), karakteristik dari *grey water* sangat bervariasi, tergantung pada kebiasaan makanan dan tingkat kehidupan masing-masing individu. Air limbah yang berasal dari dapur kaya akan kandungan *Total Suspended Solid* (TSS), senyawa nitrogen (nitrat, nitrit, amonia dan nitrogen organik), minyak, lemak dan *Biological Oxygen Demand* (BOD). Air bekas kegiatan mandi dan mencuci akan menghasilkan lebih banyak *Chemical Oxygen*

Demand (COD) dan fosfor. Kandungan tersebut mendukung adanya pencemaran. Selain itu juga terdapat polutan kimia seperti detergen dan pembersih lainnya (Lambe 2010; Suharto 2011).

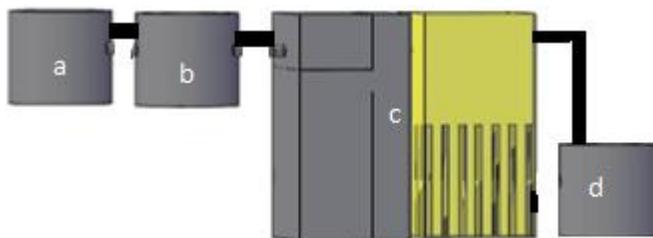
Penelitian ini bertujuan untuk mengolah air limbah domestik menggunakan IPAL portabel dengan dimensi yang kecil sehingga aplikatif untuk skala rumah tangga. Dalam upaya mengatasi kelemahan timbulnya lapisan padat (*scum*) yang mengapung dan berbau, maka ditambahkan reaktor pemisah lemak dan minyak secara terpisah sebelum reaktor anaerob. Media lekat yang digunakan berupa ijuk yang tersedia dalam jumlah banyak, murah dan awet.

2. METODOLOGI

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu rangkaian IPAL Portabel. Air limbah mengalir secara gravitasi seperti ditampilkan pada **Gambar 1** dengan pemasangan keran pada selang untuk mengatur debit seperti yang masuk ke dalam reaktor IPAL portabel. Dimensi reaktor sebesar 30×30×60 cm dengan volume efektif sebesar 45 L. Reaktor terbuat dari bahan *acrylic*. Penelitian dilakukan di Laboratorium Lingkungan, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro selama 3 bulan.

2.1. Tahap aklimatisasi

Proses ini dilakukan dengan melakukan *seeding* dengan starter limbah domestik selama 4 hari, kemudian melakukan aklimatisasi dengan mengisi IPAL portabel menggunakan air limbah selama kurang lebih 14 hari.



Gambar 1. Rangkaian alat IPAL portabel yang terdiri dari (a) bak penampung limbah awal (p= 19 cm, l=18 cm dan t=23 cm); (b) bak penangkap lemak (p = 19 cm, l=18 cm, t=23 cm); (c) reaktor IPAL portabel (p= 30 cm, l= 30 cm, t = 60 cm); (d) bak penampung efluen (p= 19 cm, l=18 cm dan t=23 cm).

2.2. Tahap *running*

Gambar 1 menunjukkan rangkaian alat IPAL portabel. Ketika IPAL portabel siap digunakan, limbah siap diolah dengan mengalirkan air limbah ke dalam bak pengolahan pertama dan kedua diikuti variasi nilai HRT selama 4 jam, 8 jam dan 12 jam. Namun, sebelum dialirkan ke dalam reaktor dilakukan

pengambilan sampel terlebih dahulu pada titik *inlet* IPAL portabel untuk uji laboratorium sebagai data konsentrasi awal limbah sebelum adanya perlakuan.

2.3. Uji konsentrasi efluen IPAL portabel

Melakukan uji laboratorium terhadap efluen IPAL portabel untuk parameter amoniak (metode Nessler), COD (metode spektrofotometri) SNI 06-6989.2-2004 dan minyak & lemak (metode gravimetri). Pengujian dilakukan secara duplo untuk setiap sampel. Kemudian menganalisis hasil uji air limbah sebelum dan sesudah penggunaan IPAL portabel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Air limbah domestik yang digunakan dalam penelitian termasuk *grey water*. Limbah berasal dari dapur kantin Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro yang dihasilkan dari kegiatan mencuci peralatan makan dan masak. Jenis makanan yang disajikan setiap harinya relatif sama, jumlah pengunjung setiap harinya berbeda. Hal tersebut menyebabkan perbedaan karakteristik air limbah berbeda setiap harinya. Air limbah mengalir melalui saluran drainase yang terpelihara dengan baik. Konstruksi drainase sebagian berupa beton dan sebagian tanah. Ketika air limbah mengalir sekitar ± 100 m, volume air limbah berkurang bahkan habis meresap ke dalam tanah. Karakteristik awal air limbah domestik tersebut ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik awal air limbah yang berasal dari dapur kantin Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro.

No.	Parameter	Satuan	Nilai	Baku mutu (PerMenLHK Nomor 68 Tahun 2016)	Keterangan*
1	Suhu	°C	27	-	-
2	pH	-	6,9	6-9	M
3	BOD	mg/l	312	30	TM
4	COD	mg/l	3184,93	100	TM
5	TSS	mg/l	597	30	TM
6	TDS	mg/l	2488	-	-
7	Kekeruhan	NTU	>1100	-	-
8	Minyak dan lemak	mg/l	1982	5	TM
9	Nitrat	mg/l	78,3	-	-
10	Amonia	mg/l	24,75	10	TM
11	Total fosfat	mg/l	4,74	-	-

*Keterangan: TM menandakan kadar parameter terukur tidak memenuhi baku mutu, sedangkan M menandakan memenuhi baku mutu.

Berdasarkan **Tabel 1**, konsentrasi COD, amoniak, serta minyak & lemak masing-masing sebesar 3184,93 mg/l, 24,75 mg/l dan 1982 mg/l dengan nilai rasio BOD/COD sebesar 0,09. Ketiga parameter tersebut melebihi baku mutu

yang ditetapkan dalam PerMenLHK Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik masing-masing sebesar 100 mg/l (COD), 100 mg/l (amonia) dan 5 mg/l (minyak & lemak). Oleh karena itu, air limbah perlu diolah terlebih dahulu sebelum dilakukan pembuangan supaya tidak mencemari lingkungan. Parameter pH telah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan sehingga tidak perlu dilakukan pemantauan. Parameter yang melebihi baku mutu yaitu BOD dan TSS akan dilakukan penelitian pada tahap berikutnya sesuai dengan *roadmap* penelitian tahun 2018. Pada tahun yang sama juga akan dilakukan penelitian tentang nitrat dan total fosfat.

Air limbah tersebut digunakan untuk menganalisis penyisihan kadar COD, amoniak, serta minyak & lemak menggunakan IPAL portabel. Tahap awal penelitian melakukan *seeding* dan aklimatisasi. *Seeding* merupakan proses pembenihan atau pemasukan mikroorganisme ke dalam reaktor hingga terlekat, tumbuh dan berkembang. Aklimatisasi adalah proses pengadaptasian mikroorganisme yang telah terbentuk dalam proses *seeding* (Indriyati 2003). Proses *seeding* dan aklimatisasi ditandai oleh efisiensi penyisihan COD yang relatif konstan (deviasi 10%). Proses ini tercapai pada hari ke-9.

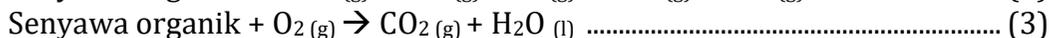
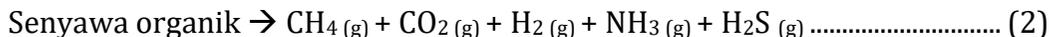
3.1. Penyisihan *chemical oxygen demand* (COD)

Pengukuran konsentrasi COD bertujuan untuk mengetahui jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik dan anorganik menggunakan oksidator kuat berupa kalium dikromat (APHA 1998). Suhu tinggi (150°C) dan suasana asam (H₂SO₄ pekat) diperlukan agar kalium dikromat secara efektif mengoksidasi bahan-bahan organik dan anorganik. Reaksi yang terjadi ditunjukkan pada persamaan (1).



Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu tinggal atau HRT selama 4 jam hanya mampu menyisihkan konsentrasi COD sebesar 24% dari konsentrasi awal sebesar 3544,52 mg/l. HRT 4 jam kemungkinan terlalu kecil sehingga laju pertumbuhan bakteri tidak cukup untuk menyisihkan polutan (Schnurer and Jarvis 2009). Efisiensi penyisihan meningkat menjadi 34% pada HRT 8 jam. Efisiensi penyisihan tertinggi dicapai pada HRT 12 jam sebesar 71% dengan nilai konsentrasi COD *outlet* sebesar 1078,77 mg/l. Semakin besar HRT memungkinkan proses hidrolisis senyawa organik dan pembentukan lumpur anaerob menjadi lebih stabil (Pillay *et al.* 2006), akibatnya penyisihan COD semakin besar. Fenomena penurunan konsentrasi COD dalam IPAL portabel diakibatkan adanya proses anaerob pada bak 1, kemudian dilanjutkan proses aerob pada bak 2. Menurut Ajit (2016), apabila konsentrasi COD tinggi, maka proses anaerob dilakukan terlebih dahulu agar beban pengolahan pada proses aerob menjadi lebih ringan.

Pada proses anaerob terjadi proses asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis, dengan produk akhir gas CH₄ dan CO₂. Senyawa organik pada proses anaerob mengalami reaksi sesuai persamaan (2), sedangkan pada bak 2 terjadi proses aerob sesuai persamaan (3) (Said dan Arie 2002).



Secara keseluruhan, IPAL portabel ini belum mampu menyisihkan kandungan COD sampai 100 mg/l sesuai baku mutu PerMenLHK Nomor 68 Tahun 2016.

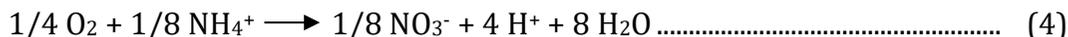
3.2. Penyisihan Amoniak (NH₄-N)

Baku mutu amoniak menurut PerMenLHK Nomor 68 Tahun 2016 sebesar 10 mg/l. Hasil penelitian penyisihan amoniak menggunakan IPAL portabel ditampilkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Efisiensi penyisihan kandungan amoniak terhadap variasi HRT.

HRT (jam)	Kandungan amonia (mg/l)					Efisiensi (%)
	<i>Inlet</i>	Setelah bak penangkap lemak	Antara bak anaerob dan aerob	<i>Outlet</i>	(<i>inlet- outlet</i>)	
4	25	24,24	23,84	22,48	2,52	10
8	40,11	39,15	32,78	23,05	17,06	43
12	40,999	40,71	30,04	16,4	24,599	60

Berdasarkan **Tabel 2**, efisiensi penyisihan amoniak meningkat seiring dengan HRT yang semakin lama. Pada HRT 4 jam, IPAL portabel mampu menyisihkan amoniak 10% dari konsentrasi awal 25 mg/l. Efisiensi penyisihan amoniak sebesar 43% dan 60% masing-masing dihasilkan pada HRT 8 dan 12 jam. Menurut Herald dan Diana (2001), penurunan konsentrasi amoniak akibat proses nitrifikasi secara aerob. Nitrogen dalam keadaan oksidasi N (III) dikonversi menjadi N (V) seperti persamaan reaksi (4).



Media lekat berupa ijuk berperan sebagai media lekat biofilm. Lapisan terluar biofilm merupakan lapisan aerob, yang mana akan terjadi proses oksidasi senyawa amoniak menjadi senyawa transisi nitrit. Selanjutnya diikuti proses oksidasi nitrit menjadi senyawa nitrat atau disebut proses nitrifikasi. Setelah itu akan terjadi pengolahan anaerob pada lapisan biofilm. Pada lapisan ini, senyawa nitrat yang terbentuk dari proses oksidasi amoniak, diolah lebih lanjut menjadi gas nitrogen (N₂). *Nitrosomonas* terlibat dalam tahapan nitrifikasi yaitu tahap oksidasi ion amonium (NH₄⁺) menjadi ion nitrit (NO₂⁻) dan *Nitrobacter* terlibat di dalam tahap nitrasi, yaitu tahap kedua proses nitrifikasi.

Secara keseluruhan variasi ketiga HRT tersebut belum mampu menyisihkan amoniak sampai baku mutu yang ditetapkan sebesar 10 mg/l. Konsentrasi amoniak terendah sebesar 16,4 mg/l. IPAL portabel ini belum cukup efektif menyisihkan kadar amoniak dalam air limbah dapur kantin Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro.

3.3. Penyisihan minyak dan lemak

Penyisihan konsentrasi minyak dan lemak dalam limbah kantin Departemen Teknik Elektro ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Efisiensi penyisihan kandungan minyak dan lemak terhadap variasi HRT.

HRT (jam)	Kandungan minyak dan lemak (mg/l)					
	Kandungan awal	Setelah bak penangkap lemak	Antara bak anaerob dan aerob	Outlet	(awal-outlet)	Efisiensi (%)
4	1788	1294	1098	680	1108	62
8	508	300	288	112	396	78
12	428	236	210	40	388	91

Efisiensi penyisihan minyak dan lemak tertinggi sebesar 91% dicapai pada saat HRT 12 jam dengan konsentrasi efluen sebesar 40 mg/l. HRT 4 jam dan 8 jam menghasilkan efisiensi penyisihan masing-masing 62% dan 78%. Peran bak penangkap lemak dan minyak cukup efektif menyisihkan lemak & minyak. Sebagai contoh pada HRT 12 jam konsentrasi minyak & lemak awal sebesar 428 mg/l turun menjadi 40 mg/l, dengan kata lain IPAL portabel mampu menyisihkan minyak & lemak sebesar 388 mg/l. Bak penangkap lemak didesain berdasarkan perbedaan massa jenis, minyak dan air akan terpisah karena massa jenisnya yang berbeda. Menurut Syafila *et al.* (2013) berat jenis air pada kondisi *Standard Temperature and Pressure* (STP) sebesar 1 g/cm³ (setiap 1 cm³ air beratnya adalah 1 g), sedangkan berat jenis minyak sekitar 0,8 g/cm³. Ketinggian bak penangkap minyak & lemak hampir sama dengan *outlet* IPAL Portabel. Hal tersebut dilakukan dengan harapan minyak yang terapung akan mengalir ke terjunan sebelum keluar melalui pipa *outlet*.

Menurut Ahmad *et al.* (2011) selain bak penangkap lemak, penyisihan minyak dan lemak terjadi akibat proses anaerob dan aerob pada IPAL Portabel. Pada proses anaerob, terjadi hidrolisis senyawa minyak dan lemak melalui beberapa tahap yakni tahap pembentukan asam (proses hidrolisis, asidogenesis dan asetogenesis) dan tahap pembentukan metana (proses metanogenesis).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) portabel untuk mengolah air limbah domestik skala rumah tangga sangat efisien untuk menyisihkan minyak & lemak mencapai 91% dengan HRT 12 jam. Penyisihan COD dan amoniak

masing-masing sebesar 60% dan 71%. Dalam penelitian hanya difokuskan pada variasi HRT terhadap penyisihan polutan limbah domestik dan kriteria desain IPAL portabel tidak dipertimbangkan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro atas pendanaan penelitian ini melalui DIPA anggaran tahun 2017.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad A, Syarfi dan Atikalidia M. 2011. Penyisihan chemical oxygen demand (COD) dan produksi biogas limbah cair kelapa sawit dengan bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit [Prosiding]. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" A03:1-8.
- Aiyuk S, Amoako J, Raskin L, van Haandel A and Verstraete W. 2004. Removal of carbon and nutrients from domestic wastewater using a low investment, integrated treatment concept. *Water Research* 38(13):3031-3042.
- Ajit K. 2016. A review on grey water treatment and reuse. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 3(5):2665-2668.
- [APHA] American Public Health Association. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater 17th ed. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. Washington DC.
- Chen M, Chen J and Du P. 2006. An inventory analysis of rural pollution loads in China. *Water Science Technology* 54(11-12):65-74.
- Dixit A, Dixit S and Goswami CS. 2011. Process and plants for wastewater remediation: a review. *Scientific Reviews and Chemical Communications* 11:71-77.
- Everhard. 2001. Clearwater treatment industries: aqua nova. Everhard Industries. Queensland.
- Herald D dan Diana A. 2001. Penyisihan amonia, nitrit dan nitrat dari limbah cair hotel dengan metode multi soil layering (MSL) studi kasus: limbah Hotel Pangeran Beach, Padang [internet]. Tersedia di: <http://repo.unand.ac.id/2908>.
- Indriyati. 2003. Proses pembenihan (seeding) dan aklimatisasi pada reaktor tipe fixed bed. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 4(2):54-60.
- Lambe JS. 2010. Greywater-treatment and reuse. *Journal of Mechanical and Civil Engineering* 10(3):20-26.

- Latrach L. 2016. Domestic wastewater disinfection by combined treatment using multi-soil-layering system and sand filters (MSL-SF): a laboratory pilot study. *Ecological Engineering* 19(91):294-301.
- Masunaga T, Sato K, Mori J, Shirahama M, Kudo H and Wakatsuki T. 2007. Characteristics of wastewater treatment using a multi-soil-layering system in relation to wastewater contamination levels and hydraulic loading rates. *Soil Science Plant Nutrition* 53(2):215-223.
- PerMenLHK (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan) Nomor 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik.
- Pillay S, Foxon K, Rodda N, Smith MT and Buckley CA. 2006. Microbiological studies of an anaerobic baffled reactor (ABR). South African National Research Foundation and University of KwaZulu-Natal. South African.
- Said NI dan Arie H. 2002. Teknologi pengolahan air limbah. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Jakarta.
- Schnurer A and Jarvis A. 2009. Microbiological handbook for biogas plants. Svenskt gastekniskt center AB. Malmo.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 06-6989.2-2004. 2004. Air dan air limbah-bagian 2: cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Suharto I. 2011. Limbah kimia dalam pencemaran udara dan air. Andi Offset. Yogyakarta.
- Syafila M, Djajadiningrat A dan Handajani M. 2013. Kinerja bioreaktor hibrid anaerob dengan media batu untuk pengolahan air buangan yang mengandung molase. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences* 35(1):19-31.
- Wakatsuki T, Esumi H and Omura S. 1993. High performance and N and P removable on-site domestic waste water treatment system by multi-soil-layering method. *Water Science Technology* 27(1):31-40.

Studi identifikasi keanekaragaman hayati pada habitat Jalak Lawu, wilayah lereng Gunung Lawu, Kabupaten Magetan

O. P. Astirin^{1,3*}, Sugiyarto¹, S. Nugraha^{2,3}

¹Program Studi Biologi, FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

²Program Studi Pendidikan Geografi, FKIP, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

³Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

Abstrak.

Jalak Lawu (*Turdus* sp.) merupakan spesies endemik yang banyak hidup di kawasan Gunung Lawu, Kabupaten Magetan dengan ketinggian 3265 mdpl. Populasi burung Jalak Lawu semakin menurun. Pemerintah Kabupaten Magetan menggunakan satwa ini sebagai salah satu ikon pariwisata. Penurunan populasi ini perlu diantisipasi dengan pemahaman atas perilaku, konservasi jenis pakan, maupun upaya untuk melakukan konservasinya. Penelitian dilakukan dengan observasi langsung terhadap burung dan vegetasi sekitarnya. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa Jalak Lawu lebih banyak muncul pada sore hari dan berada di pos 2 (ketinggian 700 mdpl). Tanaman pakan yang tersedia dan terdapat di kawasan studi ada 7 spesies yaitu Manis Rejo (*Vaccinium varingaefolium* [Bl.] Miq.), Putat (*Planchonia valida* [B.] B1), *Rubus alpestris* Bl., *Rubus lineatus* Bl., *Rubus fraxinifolius* Poir, *Rubus niveus* Thunb dan *Rubus rosafolius* J.E. Upaya konservasi Jalak Lawu dapat dilakukan secara *ex-situ* maupun *in-situ*, tergantung kebijakan yang ditetapkan oleh instansi yang terkait dan berwenang.

Kata kunci: Jalak Lawu (*Turdus* sp.), biodiversitas Gunung Lawu, konservasi burung

Abstract.

Jalak Lawu (Turdus sp.) is an endemic species living in a Mount Lawu, Central Java, with a height up to 3265 meters above sea level. However, the population of Jalak Lawu is decreasing. The government of Magetan Regency is tried to protect them and declare it as a tourism mascot. This situation should be anticipated by increasing the knowledge of bird behaviour, bird food conservation, and bird conservation. The study was conducted by direct observation of birds and surrounding vegetation. It was concluded that Jalak Lawu mostly appears on the afternoon at station 2, up to 700 meters above sea level. There are 7 kinds of food that can be eaten by the Jalak Lawu in the conservation area, namely, Manis Rejo (Vaccinium varingaefolium [Bl.] Miq.), Putat (Planchonia valida [B.] B1), Rubus alpestris Bl., Rubus lineatus Bl., Rubus fraxinifolius Poir, Rubus niveus Thunb, and Rubus rosafolius J.E. An attempt to conserve the Jalak Lawu can be achieved by ex-situ or in-situ method, depending on the policy from the authority.

Keywords: Jalak Lawu (*Turdus* sp.), Mount Lawu biodiversity, bird conservation

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, terdapat tiga isu penting yang saling berkaitan dalam kehidupan yakni ketahanan pangan, keanekaragaman hayati dan perubahan iklim. Dampak dari perubahan iklim seperti banjir, kekeringan dan badai merupakan hal yang perlu diantisipasi oleh sektor pertanian. Ketersediaan pangan penduduk akan bergantung pada ketersediaan sumber daya hayati berupa tumbuh-tumbuhan, hewan dan mikroba. Secara sederhana, keanekaragaman hayati merupakan keanekaragaman tumbuhan atau satwa yang terdapat di suatu daerah tertentu. Indonesia sebagai salah satu negara mega *biodiversity* di dunia memiliki peranan penting bagi dunia dalam mewujudkan ketahanan pangan, kesejahteraan dan pembangunan berkelanjutan melalui perlindungan aset keanekaragaman hayatinya.

* Korespondensi Penulis
Email : parama_astirin@yahoo.com

Kabupaten Magetan terletak pada koordinat 7°38'30" LS dan 111°20'30" BT, berbatasan dengan Kabupaten Ngawi di sebelah Utara, Kabupaten Madiun di sebelah Timur, Kabupaten Wonogiri dan Ponorogo di sebelah Selatan serta Kabupaten Karanganyar di sebelah barat. Suhu udara berkisar 16–20 °C di dataran tinggi dan 22–26 °C di dataran rendah. Curah hujan rata-rata berkisar 2500–3000 mm di dataran tinggi dan berkisar 1300–1600 mm di dataran rendah. Keberagaman topografi yang ada di Kabupaten Magetan tentunya menyimpan keanekaragaman hayati yang khas di tiap-tiap kecamatan. Selain itu, Gunung Lawu yang merupakan bagian dari Kabupaten Magetan dengan ketinggian 3265 mdpl tentunya memiliki keanekaragaman hayati yang banyak. Salah satu hewan endemiknya adalah burung Jalak Lawu (*Turdus* sp.) yang populasinya semakin menurun. Burung Jalak Gading (*Turdus poliocephalus stresemanni* Bartels) merupakan burung endemik di kawasan lereng gunung tersebut (Natus 2005; Peterson 2007). Ada pula jenis Jalak lain yang kekurangan pigmen karena faktor genetik sehingga bulunya berwarna putih. Jenis Jalak yang mengalami malformasi pada kelenjar pembentuk pigmen adalah jenis *Turdus merula*, yang menurut Izquierdo *et al.* (2018) Jalak ini disebut menderita *leucism* (albino). Jenis burung Jalak Lawu (*Turdus* sp.) yang berwarna hitam digunakan sebagai salah satu ikon pariwisata oleh Pemerintah Kabupaten Magetan.

Jalak Lawu merupakan spesies burung *endemik* yang sering terlihat oleh para pendaki. Jalak Lawu disebut juga sebagai Jalak Gading oleh penduduk sekitar. Burung ini biasanya menjadi teman perjalanan para pendaki di Gunung Lawu, karena perilakunya yang ramah dan jinak. Jalak Lawu akan mengikuti dan menunjukkan jalan ke arah puncak gunung kepada para pendaki atau peziarah. Burung Jalak Lawu ini dianggap keramat, bahkan ada kepercayaan bahwa para pendaki yang diikuti dan ditunjukkan jalan menuju Hargo Dumilah (puncak Gunung Lawu) oleh burung ini adalah para pendaki yang mendapat berkah dari Sunan Lawu (PMPA KOMPOS 2003). Ciri Jalak Lawu adalah memiliki bulu berwarna cokelat, berwarna kuning emas pada bagian dada, berwarna kuning gading pada bagian kaki dan paruh yang berbentuk lancip, serta tampak begitu jinak namun langsung terbang begitu didekati. Gerakan-gerakan dari burung ini relatif sama dengan jenis Jalak yang lain. Makanan utama Jalak Lawu adalah serangga dan buah-buahan.

Kerusakan lingkungan telah menjadi masalah bersama, perubahan alih fungsi lahan, penggundulan hutan dan pencemaran memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap kerusakan alam. Kerusakan alam tentunya membuat ketidakseimbangan dalam ekosistem yang berdampak terhadap berkurangnya keanekaragaman hayati. Mengingat sifat endemisitasnya, maka diperlukan upaya pelestariannya melalui berbagai pendekatan. Dengan mengetahui cara konservasi terhadap keanekaragaman hayati yang ada, diharapkan dapat

mengurangi dampak kerusakan alam. Oleh karena itu, perlu adanya inventarisasi keanekaragaman hayati dan strategi pengelolaannya (konservasi *in-situ* dan *ex-situ*) di Kabupaten Magetan. Untuk kepentingan konservasi sumber daya hayati, diperlukan data lingkungan (biotik maupun abiotik) yang menyeluruh. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi *database* keanekaragaman hayati spesies dan ekosistem habitat pendukung kehidupan burung Jalak Lawu di lereng Gunung Lawu, Kabupaten Magetan. Prioritas keragaman flora yang dikaji adalah yang dapat berfungsi sebagai tempat bersarang, bereproduksi, sumber pangan, serta sebagai predator/musuh alaminya. Disamping itu juga diharapkan dapat tersusun strategi konservasi Jalak Lawu di Kabupaten Magetan.

2. METODOLOGI

Data studi diambil di jalur pendakian Cemoro Sewu Gunung Lawu Kabupaten Magetan. Pengambilan data dilakukan pada 5 pos di sepanjang jalur pendakian. Dalam studi ini ada 3 sub tema studi, yakni sebagai berikut:

- a. *Pertama*, kelimpahan populasi dan tingkah laku burung Jalak Lawu: dipilih satu lokasi yang strategis, yang memungkinkan untuk melakukan pengamatan ke ruang terbuka di sekelilingnya. Sebanyak 4 pengamat duduk/berdiri di posisi tersebut dengan saling membelakangi (menghadap utara, selatan, barat dan timur). Dilakukan penghitungan jumlah burung Jalak Lawu yang berada di masing-masing sektor pengamatan selama satu jam; mengamati tingkah laku burung Jalak Lawu, misal sedang makan, istirahat, bersarang, dll. Hasil penghitungan burung Jalak Lawu dari keempat pengamat dijumlahkan untuk mendapatkan total populasi. Pengamatan dilakukan pada 3 waktu berbeda, yaitu pagi (06.00-08.00 WIB), siang (11.00-13.00 WIB) dan sore (15.00-17.00 WIB).
- b. *Kedua*, jenis-jenis tumbuhan sumber pakan dan bersarang burung Jalak Lawu: dilakukan penggalian informasi tentang jenis-jenis tumbuhan yang digunakan sebagai sarang maupun sumber pakan burung Jalak Lawu berdasarkan pengamatan langsung maupun informasi dari warga setempat. Dilakukan koleksi, identifikasi, karakterisasi serta estimasi populasinya pada masing-masing pos pengamatan. Dilakukan pengamatan tingkah laku burung yang diamati.
- c. *Ketiga*, struktur dan komposisi vegetasi di habitat burung Jalak Lawu: dipilih 4 lokasi/titik sampling yang representatif untuk pos pengamatan tersebut serta terjangkau secara teknis kemudian. Dibuat transek kuadrat seluas 100 m² untuk pengamatan vegetasi. Pengamatan vegetasi pakan mengacu pada metode Gauthier *et al.* (2010) yang menetapkan spesies pakan yang didasarkan pada tiga kriteria. Dua kriteria utama yang terkait

dengan kelangkaan spesies adalah (a) ukuran kisaran kecil dan dengan demikian tanggung jawab regional dan (b) jumlah populasi yang rendah dan dengan demikian kelangkaan lokal, sedangkan kriteria ketiga adalah (c) kerentanan habitat untuk membedakan spesies yang saat ini terancam oleh kegiatan manusia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gunung Lawu yang dikenal pula dengan nama Wukir Mahendra merupakan pegunungan vulkanik tua yang secara geografis terletak pada posisi $7^{\circ}30'$ LS dan $111^{\circ}15'$ BT dengan luasan areal sekitar 15 ribu hektar. Berdasarkan keterangan warga masyarakat Plaosan, Jalak Lawu sering muncul dan memandu para pendaki gunung. Terdapat dua teknik dalam mengamati keberadaan Jalak Lawu ini yakni dengan melihat arah terbangnya (jika cuaca cerah) dan dengan mencermati suara pekikannya (jika cuaca berkabut). Burung Jalak Lawu yang hidup di Gunung Lawu ini belum diketahui secara pasti jumlahnya. Menurut warga sekitar, saat ini Jalak Lawu sudah jarang dijumpai di kawasan setempat. Kualitas habitat yang menurun akibat dari aktivitas manusia, rendahnya kesadaran masyarakat, serta lemahnya pengamanan, pengawasan dan penerapan sanksi hukum menjadi faktor-faktor penyebab terjadinya kondisi penurunan populasi burung ini.

Gambaran rute pendakian lewat Dusun Cemoro Sewu dimulai dari *start* pendakian di posko Cemoro Sewu s/d pos 1 yang memiliki kemiringan berkisar 30–40 derajat, sedikit demi sedikit menanjak, banyak kelokan, serta jalan setapak yang berupa makadam sepanjang ± 500 m. Selanjutnya, antara pos 1 dengan pos 2 kurang lebih terletak pada ketinggian 2000 mdpl, dengan medan yang semakin terjal dan kemiringan sekitar 40–50 derajat. Semakin ke atas sejauh 1500 m yakni antara pos 2 s/d pos 5, kondisinya benar-benar curam dan terjal dengan kemiringan mencapai 50–80 derajat dan jalan yang berbatu. Selanjutnya, antara leher gunung (pos 5) sampai puncak Hargo Dumilah sejauh 1000 m, medan yang curam sudah tidak tampak, daerah sedikit landai, naik turun dan melingkar mengelilingi puncak.

Kondisi di puncak Gunung Lawu terdapat bukit-bukit kecil seperti Hargo Dumilah dan Cokro Suryo, jurang-jurang kawah Condrodimuko, Cokrosrengenge, Pawon Sewu yang terlihat mengerikan dan terkesan mistis, serta lembah bekas muntahan gunung ratusan ribu tahun lalu yang sudah membeku. Panorama di bagian belahan selatan berupa hutan alam yang berbukit-bukit sampai turun ke lereng bawah. Pada bagian belahan utara berupa lembah-lembah, serta terlihat jelas pula bukit pasar Dieng dan Selo Pundutan. Total jarak tempuh dari Dusun Cemoro Sewu hingga Puncak Hargo Dumilah sekitar 7 km, yaitu posko pemberangkatan–pos 1 sepanjang 1,99 km, pos 1–pos

2 sepanjang 2,25 km, pos 2–pos 3 sepanjang 0,70 km, pos 3–pos 4 sepanjang 1,75 km dan pos terakhir yaitu pos 4, pos 5 hingga ke puncak sepanjang 0,30 km.

Tabel 1 . Data individu Jalak Lawu.

Pos	Waktu			Total (ekor)
	Pagi	Siang	Sore	
1	5	-	24	29
2	14	7	23	44
3	10	6	15	31
4	12	5	7	24
5	-	4	-	4
Total				132

Burung Jalak Lawu terus mengikuti pendakian tim selama hampir sepanjang jalan pendakian (**Tabel 1**). Kegiatan burung yang terlihat adalah mencari makan di pohon, mencari makan di tanah dan bertengger.

3.1. Jenis tumbuhan pakan dan bersarang

Ditemukan 7 jenis tumbuhan sebagai sumber makanan Jalak Lawu yaitu Manis Rejo (*Vaccinium varingiaefolium* [Bl.] Miq.), Putat (*Planchonia valida* [B.] B1), *Rubus alpestris* Bl., *Rubus linaetus* Bl., *Rubus fraxinifolius* Poir., *Rubus niveus* Thunb dan *Rubus rosafolius* J.E. Bagian tumbuhan yang dimakan adalah buah yang sudah masak. Selain tumbuhan tersebut juga ditemukan aktivitas burung Jalak Lawu yang sedang memakan sisa makanan pendaki seperti mi instan dan nasi, namun belum terdokumentasi. Jalak Lawu yang dijumpai di pos, 1, pos 2, pos 3, pos 4 dan pos 5 dapat ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Jalak Lawu yang dijumpai di pos 1, pos 2, pos 3, pos 4 dan pos 5.

3.2. Struktur komposisi vegetasi

Pada elevasi 2100-2200 mdpl terdapat lahan pertanian di sebelah kanan dan kiri jalur pengamatan. Pos 2 merupakan batas lahan pertanian di jalur

Cemoro Sewu. Setelah pos 2, vegetasi terdiri dari struktur hutan yang rendah dengan pohon cemara gunung yang tinggi. Dari keseluruhan pos pengamatan ditemukan 32 jenis tumbuhan dari golongan pohon (12 spesies), perdu (15 spesies), semak dan herba (5 spesies) dan 7 diantaranya sebagai sumber pakan Jalak Lawu (*Vaccinium varingiaefolium* [Bl.] Miq., *Planchonia valida* [B.] B1., *Rubus alpestris* Bl., *Rubus linaetus* Bl., *Rubus fraxinifolius* Poir., *Rubus niveus* Thunb., *Rubus rosafolius* J.E.), sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar 2** dan status kelangkaannya sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2**. Bagian tumbuhan yang dimakan adalah buah yang sudah masak. Aktivitas makan lebih banyak ditemui pada siang dan sore hari meskipun banyak dijumpai burung pada pagi hari.

Jalak Lawu ternyata menyukai jenis buah-buahan yang memiliki warna merah dan ungu. Pernyataan yang sama disampaikan oleh Murray *et al.* (1993) dan Johansen *et al.* (2014) bahwa burung lebih menyukai buah dan biji-bijian. Hasil penelitian Duan *et al.* (2014) juga menunjukkan bahwa burung yang ditangkap liar lebih menyukai buah alami berdaging hitam dan merah, sedangkan burung peliharaan yang dibesarkan dalam sangkar lebih memilih buah berdaging hitam daripada buah berdaging alami merah dan yang berwarna lain. Hasil penelitian Stostad *et al.* (2017) menunjukkan bahwa burung lebih suka jenis pakan kaya protein dan energi, namun apabila jenis ini tidak dijumpai maka burung juga akan memakan pakan artifisial seperti roti dan bahan makanan yang kaya akan karbohidrat. Burung Jalak Lawu juga memakan beberapa jenis serangga dengan cara mematak-matak permukaan tanah untuk mencari serangga.

Jenis burung Jalak memang memiliki jenis makanan yang beragam mulai dari jenis buah-buahan kecil, serangga dan biji-bijian. Jenis makanan tersebut dikonsumsi untuk memenuhi banyaknya jenis nutrisi. Namun untuk Jalak Lawu terlihat lebih banyak memakan jenis buah seperti manis rejo (*Vaccinium varingiaefolium* [Bl.] Miq.) dan jenis beri hutan. Selain digunakan sebagai sumber pakan, beberapa jenis pohon digunakan pula sebagai tempat bersarang.

Pola bersarang burung Jalak Lawu cenderung lebih menyukai tempat yang tinggi. Posisi sarang terletak di percabangan yang banyak agar terlindungi. Jenis tumbuhan yang dipakai dalam membuat sarang lebih banyak dari rumput-rumputan, namun di sela-sela terdapat ranting dan daun kering. Spesies *Vaccinium varingiaefolium*, *Albizia lophantha* dan *Anaphalis javanica* adalah jenis-jenis pohon yang dipilih Jalak Lawu untuk bersarang. Ketinggian sarang dari tanah berkisar 0,2–7 m. Sarang justru banyak ditemukan tidak jauh dari jalur dan pos pendakian dimana banyak aktivitas manusia (Budiharjo 2005).

Buah *Debregeasia longifolia* juga dapat ditemukan cukup melimpah di beberapa tempat sepanjang pos 3 dan 4, namun tumbuhan ini tidak berbuah

sepanjang tahun. Produksi buah yang cukup melimpah dijumpai pada bulan September dan Desember, sedangkan tumbuhan ini tidak dalam kondisi berbuah pada bulan Maret dan April. Menurut Sasidharan (2004), *D. Longifolia* adalah perdu, tingginya dapat mencapai 3–5 m, merupakan tumbuhan *evergreen* dan penyusun lapisan kedua hutan pegunungan.



Gambar 2. Jenis tumbuhan sebagai sumber pakan Jalak lawu yang dijumpai di pos 1, pos 2, pos 3, pos 4 dan pos 5.

Tabel 2. Vegetasi yang teridentifikasi sebagai sumber pakan dari Jalak Lawu.

No.	Nama Ilmiah	Nama Lokal/ Nama Umum	Status Konservasi IUCN ¹⁾	Status Perlindungan (PP Nomor 7 Tahun 1999 ²⁾ dan PerMenLHK Nomor P.92 Tahun 2018 ³⁾)	Konvensi Perdagangan <i>Appendix</i> CITES ⁴⁾
1.	<i>Vaccinium varingaefolium</i> [Bl.] Miq.	Manis rejo	LC	-	-
2.	<i>Planchonia valida</i> [B.] B1.	Putat	LC	-	-
3.	<i>Rubus alpestris</i> Bl.	Berri hutan	-	-	-
4.	<i>Rubus linaetus</i> Bl.	Berri hutan	-	-	-
5.	<i>Rubus fraxinifolius</i> Poir.	Berri hutan	-	-	-
6.	<i>Rubus niveus</i> Thunb.	Berri hutan	-	-	-
7.	<i>Rubus rosafolius</i> J.E	Berri hutan	-	-	-

Keterangan:

Status Konservasi menurut IUCN Red List:

DD : *Data Deficient* (Informasi Kurang)

LC : *Least Concern* (Beresiko Rendah)

NT : *Near Threatened* (Hampir Terancam)

VU : *Vulnerable* (Rentan)

EN : *Endangered* (Genting atau Terancam)

CR : *Critically Endangered* (Kritis)

EX : *Extinction* (Punah)

- : Status Belum ada di IUCN Red List

Status Konvensi Perdagangan Internasional Tumbuhan dan Satwa Liar Spesies Terancam menurut CITES:

Appendix I (App I) : Daftar seluruh spesies tumbuhan dan satwa liar yang dilarang dalam segala bentuk perdagangan internasional.

Appendix II (App II) : Daftar spesies yang tidak terancam kepunahan, tetapi mungkin terancam punah bila perdagangan terus berlanjut tanpa adanya pengaturan.

Appendix III (App III) : Daftar spesies tumbuhan dan satwa liar yang dilindungi di negara tertentu dalam batas-batas kawasan habitatnya, serta suatu saat peringkatnya bisa dinaikkan ke dalam *Appendix II* atau *Appendix I*.

Sumber :

¹⁾ *The IUCN Red List of Threatened Species* (2018-2)

²⁾ Lampiran PP Nomor 7 Tahun 1999 tentang Pengawetan Jenis Tumbuhan dan Satwa

³⁾ PerMenLHK Nomor P.92 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas PerMenLHK Nomor P.20 Tahun 2018 tentang Jenis Tumbuhan dan Satwa yang Dilindungi

⁴⁾ *Species+ /CITES Checklist* (2018)

Jenis vegetasi yang menjadi sumber pakan Jalak Lawu bukan merupakan tumbuhan langka dan dilindungi, sesuai PP Nomor 7 Tahun 1999 tentang Pengawetan Jenis Tumbuhan dan Satwa di Indonesia, dan sesuai PerMenLHK Nomor P.92 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas PerMenLHK Nomor P.20 Tahun 2018 tentang Jenis Tumbuhan dan Satwa yang dilindungi. Berdasarkan Status Konvensi Perdagangan Internasional Tumbuhan dan Satwa Liar (*Appendix CITES*) diketahui tidak terdapat vegetasi yang terancam kepunahan.

Vegetasi pohon diperhitungkan dan diamati kemanfaatannya untuk burung Jalak Lawu. Berbagai jenis tanaman rimba seperti cemara, puspa, kipres dan *Tristania* spp., kemudian empon-empon seperti kunyit, laos, jahe dan bunga-bunga berwarna kuning dan merah yang berbaur dengan rerumputan di bawah pohon-pohon, banyak dijumpai di daerah kaki Gunung Lawu yang sebagian

besar merupakan hutan lindung. Jenis pohon *Acasia decurent*, Mlandingan gunung dan sebagian *Tristania* spp. banyak juga dijumpai di daerah perut Gunung Lawu (**Tabel 3**). Pada wilayah perut gunung ini pepohonan amat lebat dengan sinar matahari yang tidak sepenuhnya mencapai tanah, sehingga wilayah pos 4 dan pos 5 cenderung redup dan dingin.

Tabel 3. Analisis vegetasi pohon.

Pos	Jumlah Spesies	Jumlah Individu	Elevasi (mdpl)
Pos 1	6	26	2037
Pos 2	3	10	2204
Pos 3	3	26	2500
Pos 4	5	54	2800
Pos 5	5	110	3265

Pada puncak Gunung Lawu, menghampar luas jenis *Acasia decurent* dan manis rejo hingga menutup permukaan puncak, serta nyaris tidak ada pohon besar. Di sebelah barat juga tidak tampak tumbuhan, karena berupa tebing gunung yang menjulang. Ketiadaan pohon besar ini membuat sinar matahari langsung dapat menerpa kulit, namun suhu udara di lokasi cenderung dingin.

3.3. Strategi konservasi Jalak Lawu

Jenis-jenis burung di Indonesia memiliki nilai ekonomi yang cukup tinggi bila dilihat berdasarkan keunikan dan keragaman morfologis, tingkah laku, suara dan dipandang dari perannya sebagai sumber protein hewani. Hal ini menjadi penyebab tingginya perburuan yang berakibat pada penurunan populasi burung di alam. Akibat eksploitasi hutan dan konversi lahan, kualitas maupun kuantitas habitat burung juga semakin berkurang. Permasalahan-permasalahan tersebut mengganggu kelestarian satwa burung yang akhirnya dapat menyebabkan kelangkaan. Oleh karena itu, tindakan konservasi perlu dilakukan baik secara *in-situ* (di dalam habitat alaminya) maupun *ex-situ* (di luar habitat alaminya).

Kegiatan penangkaran burung sebagai salah satu langkah tindakan konservasi memiliki manfaat dalam kepentingan konservasi jenis, peningkatan populasi, pengembangan ekowisata dan sarana edukasi serta riset. Hasil penangkaran dapat dilepasliarkan ke habitat alam sesuai regulasi dan syarat-syarat yang berlaku. Selain itu, sebagian dari hasil penangkaran terutama mulai dari hasil keturunan kedua (F2), dapat dimanfaatkan secara komersial.

Penangkaran burung harus mempertimbangkan kesiapan lingkungan penangkaran, baik lingkungan biologi (habitat hidup burung) maupun lingkungan fisik (kandang/sangkar), yang mana sistem pemeliharaan beserta lingkungannya mengacu pada perilaku dan habitat alami. Kegiatan teknis yang dapat dilakukan yaitu pemilihan bentuk dan ukuran kandang, pengelolaan

penangkaran (kesehatan, pakan, reproduksi dan *sex ratio*), penyiapan tumbuhan pelindung dan sumber pakan, serta sistem pencatatan. Kegiatan penangkaran burung didasarkan kepada PP Nomor 7 Tahun 1999 tentang Pengawetan Jenis Tumbuhan dan Satwa, serta PP Nomor 8 Tahun 1999 tentang Pemanfaatan Jenis Tumbuhan dan Satwa Liar. Kegiatan penangkaran dan koleksi sebagaimana diatur dalam PP Nomor 8 Tahun 1999 merupakan bagian dari upaya pemanfaatan dan pendayagunaan jenis flora-fauna liar secara lestari. Namun, jenis-jenis burung yang telah berstatus dilindungi berdasarkan regulasi-regulasi tersebut dan oleh pemerintah daerah dimana habitat jenis burung itu berada, hingga saat ini masih tetap banyak diburu secara liar.

3.3.1. Konservasi *ex-situ*

Konservasi burung secara *ex situ* melalui pemeliharaan, tidak hanya menitikberatkan pada obyek burung saja, namun harus pula mempertimbangkan kesiapan lingkungan. Tujuannya agar burung-burung yang hendak dipelihara dapat beradaptasi dengan baik dan cepat, terutama untuk jenis-jenis yang membutuhkan lingkungan khusus (Setio dan Takandjandji 2006).

Lingkungan pemeliharaan biologi merupakan lingkungan pemeliharaan yang di dalamnya terdapat tumbuhan (baik ditanam maupun tumbuh secara alami) dengan populasi, kerapatan dan arsitektur tajuk yang mendekati habitat alam. Lingkungan biologi akan menciptakan iklim mikro dan suasana teduh, yang pada umumnya disukai oleh burung-burung untuk hidup dan berkembang biak dengan baik.

Lingkungan biologi akan menjadi lebih baik lagi untuk burung dengan adanya jenis tumbuhan yang secara alami digunakan burung sebagai tempat berteduh dan sumber pakan. Hal tersebut juga akan mengundang burung-burung liar lainnya untuk datang, sehingga timbul suasana alami yang akan memudahkan adaptasi burung yang akan dipelihara. Tata letak tumbuhan dapat disesuaikan dengan rencana pembangunan kandang/sangkar dan sarana pendukung lainnya (unit karantina, laboratorium, klinik), serta dengan pertimbangan faktor estetika misalnya berfungsi pula sebagai taman. Cahaya matahari diusahakan tidak banyak terhalang oleh padatnya tumbuhan agar Jalak Lawu mampu mengenali lokasi pakan (Hart *et al.* 2000). Agar tercipta suasana iklim mikro setempat yang teduh (tidak terlalu panas), setidaknya satu individu tumbuhan harus dapat menaungi satu unit kandang/sangkar.

Kandang/sangkar dari burung itu sendiri dan sarana pendukung lainnya merupakan jenis lingkungan pemeliharaan fisik. Persiapan lingkungan biologi dan lingkungan fisik dapat dilakukan secara bersamaan, namun penempatan burung ke dalam kandang/sangkar tidak boleh dilakukan bersamaan apabila lingkungan biologi buatan sebagai habitat hidup burung masih belum siap.

3.3.2. Konservasi *in-situ*

Penangkaran merupakan kegiatan pengembangbiakan jenis satwa liar dan tumbuhan alam untuk memperbanyak populasi dengan tetap mempertahankan kemurnian jenisnya, sehingga kelestarian dan keberadaannya dapat dipertahankan. Prinsip kebijakan penangkaran jenis satwa liar yang dilakukan di Taman Nasional Bali Barat (TNBB 2010) adalah:

1. Mengupayakan jenis-jenis langka menjadi tidak langka dan pemanfaatannya berasaskan kelestarian.
2. Upaya pelestarian jenis perlu dilakukan di dalam kawasan konservasi dan di luar habitat alaminya. Di luar habitat alami berbentuk penangkaran, baik di kebun binatang maupun lokasi lainnya yang ditangani secara intensif.
3. Peliaran kembali satwa hasil penangkaran ke habitat alaminya adalah untuk meningkatkan populasi sesuai dengan daya dukung habitatnya tanpa mengakibatkan adanya polusi genetik ataupun sifat-sifat yang menyimpang dari aslinya.

Pelaksanaan kegiatan penyelamatan Jalak Lawu dilakukan melalui kerja sama dengan Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Pelestarian Alam, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Kegiatan penangkaran ini terus dilakukan secara berkelanjutan, sehingga kebutuhan cikal bakal peliaran dalam rangka pemulihan populasi liar Jalak Lawu dan kebutuhan masyarakat peminat penangkar dan peneliti dapat terpenuhi setiap tahunnya. Konservasi *in-situ* dapat dilakukan pada lokasi yang dibatasi dengan kemungkinan predasi (Slagsvold 1980), maka mekanisme konservasi harus mempertimbangkan spesies predator terhadap kehidupan Jalak Lawu (*Thurdus sp.*).

Sarang biak disesuaikan dengan kebiasaan Jalak Lawu di alam. Jalak Lawu di kehidupan liarnya, menggunakan media biak pada batang pohon yang berlubang, umumnya jenis pohon digunakan adalah pohon Talok (*Grewia koordersiana*) dan Walikukun (*Shoutenia ovata*). Pada kandang penangkaran, media biak tersebut dapat menggunakan bahan kayu berbentuk silindris yang dibuat dengan bagian dalam gerowong, memiliki ukuran diameter 15 cm, panjang/tinggi 50 cm dan dibuatkan lubang berbentuk lingkaran di salah satu bagian depan dengan diameter 7-8 cm (untuk keluar masuk burung). Media biak ini ditempatkan dengan posisi tegak dan ditempelkan pada dinding atau penyangga. Sangkar saphan juga diperlukan guna menampung anakan usia saphan yakni individu anakan mulai usia mandiri (35 hari). Sangkar ini berukuran lebih lebar dari sangkar biak sesuai peruntukannya, setidaknya dapat menampung sebanyak 10 ekor. Sangkar yang ada dan digunakan untuk kepentingan ini yaitu 1 unit ukuran 3×3×2,5 m, 1 unit ukuran 4×3×2,5 m dan 1 unit berukuran 4×4×2,5 m.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Jalak Lawu lebih banyak muncul pada sore hari dan berada di pos 2. Tanaman pakan yang tersedia dan terdapat di kawasan studi ada 7 spesies yaitu *Vaccinium varingiaefolium* [Bl.] Miq., *Planchonia valida* [B.] B1., *Rubus alpestris* Bl., *Rubus linaetus* Bl., *Rubus fraxinifolius* Poir, *Rubus niveus* Thunb dan *Rubus rosafolius* J.E. Upaya konservasi Jalak Lawu dapat dilakukan secara *ex-situ* maupun *in-situ*, tergantung kebijakan yang ditetapkan oleh instansi yang terkait dan berwenang.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih dan penghargaan kepada Badan Lingkungan Hidup, Kabupaten Magetan atas dukungan pendanaan, Mahasiswa Kelompok Studi Biodiversitas PS Biologi FMIPA UNS yang terlibat dalam kegiatan survei dan pelaporan kegiatan: Muhammad Ridwan, Wahyu H., Aru D., Umi F., Wahid F., Risna M.A., Deni Wahyu, N. Hari, Tony S., Hanni T., S Mulyani, Citra A.M, Annisa F.S., Ida R.S., Thiara M., Isnaniar N., Dwi P., Widyatama P.M., Fanji A.G., Aken P.W., Nunung R.H., Imam T., Putri D.A.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Budiharjo A. 2005. Pola reproduksi burung Jalak Gading (*Turdus sp*) di Gunung Lawu Jawa Tengah. Biodiversitas 6(4):272-275.
- Duan Q, Goodale E and Quan RC. 2014. Bird fruit preferences match the frequency of fruit colours in tropical Asia. Scientific Reports 4:5627.
- Gauthier P, Debussche M and Thompson JD. 2010. Regional priority setting for rare species based on a method combining three criteria. Journal Biological Conservation 143(6):1501-1509.
- Hart NS, Partridge NJC, Cuthill IC and Bennett ATD. 2000. Visual pigments, oil droplets, ocular media and cone photoreceptor distribution in two species of passerine bird: the blue tit (*Parus caeruleus* L.) and the blackbird (*Turdus merula* L.). Journal of Comparative Physiology 186(4):375-287.
- Izquierdo L, Thomson RL, Aguirre JI, Fernández AD, Faivre B, Figuerola J and Ibáñez-Álamo JD. 2018. Factors associated with leucism in the common blackbird (*Turdus merula*). Willey Journal of Avian (on progress publication), cite this article as doi: [10.1111/jav.01778].
- Johansen SM, Horn DJ and Wilcoxon TE. 2014. Factors influencing seed species selection by wild birds at feeders. The Wilson Journal of Ornithology 126(2):374-381.

- Murray KG, Murray KW, Cromie EA, Miror M and Meyers E. 1993. The influence of seed packaging and fruit color on feeding preferences of American robins. *Plant Ecology* 107:217-226.
- Natus IR. 2005. Biodiversity and endemic centres of Indonesian terrestrial vertebrates [Dissertation]. Department of VI (Geography/EarthScience), University of Trier. Trier.
- PerMenLHK (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan) Nomor P.92 Tahun 2018 tentang perubahan atas PerMenLHK Nomor P.20 Tahun 2018 tentang jenis tumbuhan dan satwa yang dilindungi.
- Peterson AT. 2007. Geographic variation in size and coloration in the *Turdus poliocephalus* Complex: a first review of species limits. *Scientific Papers Natural History Museum* 40:1-17.
- PP (Peraturan Pemerintah) Nomor 7 Tahun 1999 tentang pengawetan jenis tumbuhan dan satwa.
- PP (Peraturan Pemerintah) Nomor 8 Tahun 1999 tentang pemanfaatan jenis tumbuhan dan satwa liar.
- [PMPA KOMPOS] Perhimpunan Mahasiswa Pecinta Alam KOMPOS. 2003. Laporan ekspedisi lawu I dan II. Seminar Nasional Lawu. PMPA KOMPOS, Fakultas Pertanian UNS. Surakarta.
- Sasidharan N. 2004. Biodiversity documentation for kerala, part 6: flowering plants. Kerala Forest Research Institute. Kerala.
- Setio P dan Takandjandji M. 2006. Konservasi *ex situ* burung endemik langka melalui penangkaran [Prosiding]. Prosiding Ekspose Hasil-Hasil Penelitian: Konservasi dan Rehabilitasi Sumberdaya Hutan. Padang.
- Slagsvold T. 1980. Habitat selection in birds: on the presence of other bird species with special regard to *Turdus pilaris*. *Journal of Animal Ecology* 49(2):523-536.
- Stostad HN, Aldwinckle P, Allan A and Arnold KE. 2017. Foraging on human-derived foods by urban bird species. *Journal Bird Study* 64(2):178-186.
- [TNBB] Taman Nasional Bali Barat. 2010. Pengelolaan penangkaran Jalak bali (*Leucopsar rothschildi*) di Taman Nasional Bali Barat [internet]. Tersedia di: <http://www.tnbalibarat.com>.

Konservasi dengan *rain water harvesting system* sebagai solusi efektif bagi bangunan sekolah

S. Utami^{1,2*}, A. M. Nugroho¹, Nikita¹

¹Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

²Pusat Studi Lingkungan Hidup, LPPM Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Abstrak

Air merupakan kebutuhan utama makhluk hidup. Upaya konservasi air pada semua perencanaan dan perancangan bangunan dibutuhkan dalam menghadapi perubahan iklim yang kini terjadi. Konservasi air menjadi penting ketika air bersih untuk utama dalam proses belajar mengajar siswa di sekolah kejuruan. *Rain water harvesting system* sebagai alternatif konservasi yang paling tradisional, mudah dan efektif. Tujuan utamanya adalah pemenuhan kebutuhan air bersih untuk operasional sekolah tersebut. Metode penelitian adalah deskriptif kualitatif terutama untuk menampilkan karakter fisik alam, tapak dan pola tata airnya. Hasil dan pembahasan berupa perencanaan *rain water harvesting system* pada kompleks bangunan sekolah dalam menangkap air hujan, termasuk elemen pelengkapannya. Selain itu, dilakukan pula proses daur ulang air limbah pada setiap bangunan untuk mengurangi efektivitas penggunaan air. Kesimpulannya *rain water harvesting system* sebagai upaya konservasi air yang paling sederhana, efektif dan mudah untuk direncanakan, dirancang dan dilaksanakan, terutama untuk bangunan sekolah kejuruan yang berbasis pengelolaan sumber daya air.

Kata kunci: konservasi, *rain water harvesting system*, bangunan sekolah

Abstract

Water is the main need for living things. Even though water can be renewed, the impact of climate change requires water conservation efforts in building planning and design. Water conservation becomes important when water is the main element in the learning process of students in vocational schools. Rain water harvesting system is the most traditional, easy and effective conservation alternative. The main objective was to meet the needs of clean water for the operation of the school. The research method was qualitative descriptive mainly to display the physical character of nature, the site and the pattern of the water system. The results and discussion in the form of planning the rain water harvesting system in the school building complex in capturing rainwater, including its complementary elements. In addition, recycling of waste water in each building was also carried out to reduce the effectiveness of water use. The conclusion was rain water harvesting system as the simplest, effective and easy water conservation effort to be planned, designed and implemented, especially for building vocational schools based on water resources management.

Keywords: conservation, *rain water harvesting system*, building of schools

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki dua iklim yakni musim kemarau dan musim hujan. Siklus perubahan musim ini telah banyak mengalami pergeseran waktu dan besaran. Secara umum, bulan-bulan musim penghujan dan kemarau telah berubah. Ketika di wilayah Indonesia seharusnya musim kemarau, namun terjadi musim penghujan dengan hujan yang lebat, sementara pada saat musim penghujan telah terjadi hal yang sebaliknya. Dampak perubahan iklim telah dirasakan dan mengubah siklus bulan dan tahunan pada suatu wilayah tertentu. Worm and Hattum (2006) menyatakan bahwa mayoritas penduduk di dunia sulit untuk mendapatkan akses terhadap air bersih. Sementara target LEAD (2016) dalam *Sustainable Development Goals (goal 6)* adalah kemudahan akses air minum, sanitasi serta pemanfaatan, pengelolaan dan pelestarian sumber

* Korespondensi Penulis
Email : sriutamiazis@gmail.com

daya air, termasuk ketersediaan air untuk proses pendidikan di sekolah. Perencanaan pengelolaan sumber daya air menjadi penting untuk dilakukan sesuai PerMenDikNas Nomor 40 Tahun 2008 tentang Standar Sarana dan Prasarana Sekolah Menengah Kejuruan. Sistem penampung air hujan merupakan salah satu alternatif pemenuhan kebutuhan air bersih (Nadia dan Mardyanto 2016), terutama bagi sekolah yang berbasis manajemen pengelolaan sumber daya air. Konservasi air di sekolah sebagai suatu kebutuhan untuk mendapatkan air bersih sebagai bagian dari proses belajar siswa.

Konservasi air merupakan manajemen penggunaan dan pengolahan air di areal tapak dan bangunan yang dilakukan secara sistematis, efisien dan tepat guna (Kwok and Grondzik 2004; Kwok and Grondzik 2007). Prinsip konservasi air ini bisa dilakukan dari skala bangunan (semua bangunan termasuk bangunan sekolah) hingga skala tapak. Konservasi air di skala bangunan dilakukan dengan mempertimbangkan standar kebutuhan air, penggunaan fitur air, penggunaan sistem daur ulang air limbah (*grey water*) dan pemanfaatan *rain water harvesting system* atau sistem pemanenan air hujan. Prinsip daur ulang ini diharapkan dapat mengurangi volume air kotor yang berasal dari *septic tank* untuk bisa digunakan kembali (*re-use*), sehingga bangunan tidak mengganggu kualitas lingkungan sekitarnya. Konservasi air pada skala tapak dilakukan dengan menjaga keseimbangan jumlah air tanah dengan cara memperluas area penyerapan air, penggunaan tipe perkerasan memudahkan penyerapan air ke dalam tanah (*pervious surfaces*), pembuatan lubang biopori dan efisiensi penggunaan air dari lanskap untuk penyiraman tanaman.

Metode konservasi air dengan pemanfaatan *rain water harvesting system* ini merupakan metode paling tradisional dan berkelanjutan, karena mudah digunakan untuk tujuan konservasi (Rahman *et al.* 2014). Pada sistem ini air hujan ditampung, lalu diolah menjadi air bersih melalui tahap filtrasi. Pengolahan dilakukan karena air hujan yang ditampung oleh permukaan penangkap sama sekali tidak layak minum.

Menurut Asdak (2007), sistem pemanenan air hujan ini dibedakan menjadi dua yakni atap bangunan (*roof catchment*) sebagai penampung air hujan dan permukaan tanah (*ground catchment*) sebagai penampung air hujan. Sistem *roof catchment* berupa penyaluran dan pengumpulan air hujan dari atap rumah atau bangunan besar dan di atas permukaan tanah (*surface run off*). Volume air hujan yang terkumpul sangat ditentukan oleh kemiringan dan topografi bidang tangkapan, serta kemampuan lapisan tanah atas dalam menahan air (Li *et al.* 2003). Oleh karena itu, Sistem Pemanfaatan Air Hujan (SPAH) berupa penampungan air hujan (PAH) dan pengolahan air hujan yang selalu dilengkapi oleh penyalur air (talang), pasir sebagai penyaring, bak sebagai penampung dan sumur untuk meresapkan (KELAIR 2016).

Sistem *rain water harvesting* sudah digunakan sejak zaman dahulu dan hal ini dibuktikan dari atap bagian belakang zaman Romawi Kuno. Rumah orang Romawi di daerah perkotaan pada umumnya desainnya rata. Hal ini digunakan untuk menerima air hujan yang turun, dengan pengertian bahwa air hujan tersebut bisa untuk kebutuhan air minum dan rumah tangga (Southface Energy Institute 2002). Hasil studi Nurrisqi *et al.* (2016) menunjukkan bahwa terjadi pengurangan dampak bencana banjir di DAS Penguluran, Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang melalui penerapan *rain water harvesting system*.

Berdasarkan hal tersebut, muncul gagasan perlunya analisis terhadap upaya konservasi air melalui sistem *rain water harvesting* pada semua bangunan sekolah sebagai bagian dari proses pendidikan, khususnya SMK Perikanan di Kabupaten Malang. Analisis neraca air sangat diperlukan terkait konservasi air, terutama bagi sekolah kejuruan perikanan yang berbasis pengelolaan sumber daya air. Hal ini sejalan pula dengan salah satu program yang dikembangkan di Kabupaten Malang yaitu mewujudkan kawasan minapolitan (KepBup Malang Nomor 180 Tahun 2008 tentang Penetapan Lokasi Pengembangan Kawasan Minapolitan) dengan komoditas utama ikan nila.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Lokasi penelitian di Desa Wajak, Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang. Lokasi ini berada di kaki Gunung Semeru bagian barat, terletak pada koordinat 8°21'45" LS dan 112°37'32"-122° 54'56" BT, dengan luas areal sekitar 9456 Ha. Lokasi tapak di Jalan Panglima Sudirman, yang menjadi jalan utama Kecamatan Wajak, jauhnya sekitar 1 km dari Kantor Kecamatan Wajak dan sekitar 35 km dari Kota Malang. Suhu udara di lokasi tapak berkisar 20–32°C dengan curah hujan mencapai 1297–1925 mm.

2.2. Prosedur analisis data

Penelitian berawal dari pemikiran evaluasi terhadap target SDGs (LEAD 2016) yaitu pelestarian dan pemanfaatan sumber daya air. Pemikiran ini dilatarbelakangi oleh tingginya kebutuhan air untuk pemenuhan proses belajar mengajar pada bangunan pendidikan yang berbasis pada pengelolaan sumber daya air, khususnya SMK Perikanan (hasil studi pendahuluan dengan obyek yang sama atau hampir sama). Sementara, kebutuhan air bersih untuk siswa sekolah umum adalah 15–30 liter/orang/hari.

Metode yang digunakan adalah deskriptif kualitatif dengan memaparkan beberapa fakta lapangan dari hasil studi mengenai aktivitas pemanfaatan sumber daya air. Proses penelitian terbagi menjadi 2 (dua) tahap. Tahap pertama adalah

pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diambil dari observasi langsung di lokasi penelitian melalui pencatatan aspek lingkungan (topografi/kemiringan, curah hujan, iklim) sebagai bahan analisis. Pengumpulan data melalui foto eksisting untuk memahami karakter tapak (aksesibilitas, jaringan utilitas) dan kebutuhan sumber daya air untuk mendukung aktivitas pendidikan. Selanjutnya, dilakukan wawancara terhadap pihak terkait (pengelola, siswa dan masyarakat sekitar).

Data sekunder didapatkan dari instansi terkait dan referensi (artikel, jurnal ilmiah, skripsi, tesis, buku, dsb.) yang berhubungan dengan penerapan tata air pada lingkungan dan bangunan. Data curah hujan sebagai data sekunder dibutuhkan untuk menghitung debit, kebutuhan tampungan air, serta pola tata aliran air dalam *site* dan bangunan. Bila rata-rata curah hujan di sekitar *site* sangat tinggi, maka sangat disayangkan apabila air hujan tidak dimanfaatkan secara maksimal. Data sekunder juga dikumpulkan dari beberapa sumber, antara lain:

- RTRW Kabupaten Malang.
- Deskripsi dan teori mengenai fasilitas dan aktivitas sekolah kejuruan perikanan.
- Penerapan sumber daya air pada sistem bangunan.
- Standar fungsional bangunan sekolah.

Tahap Kedua adalah analisis kebutuhan air dengan metode prakiraan laju aliran puncak (debit banjir atau debit rencana) dengan Metode Rasional USSCS (1973). Asumsi dalam metode ini adalah curah hujan yang terjadi memiliki intensitas seragam dan merata pada semua daerah pengaliran, selama setidaknya sama dengan waktu konsentrasi (t_c). Formula matematisnya adalah:

$$Q = 0,278.C.I.A$$

Keterangan :

Q = Debit ($m^3/detik$)

0,278 = Konstanta, dipergunakan jika satuan luas daerah menggunakan km^2

C = Koefisien aliran

I = Intensitas curah hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = Luas daerah aliran (km^2)

Rumus pragmatik tersebut digunakan sebagai bahan analisis kebutuhan air dan besarann sumur PAH di dalam *site*. Selanjutnya dilakukan sintesis untuk mendapatkan perencanaan dan perancangan pada skala tapak dan bangunan .

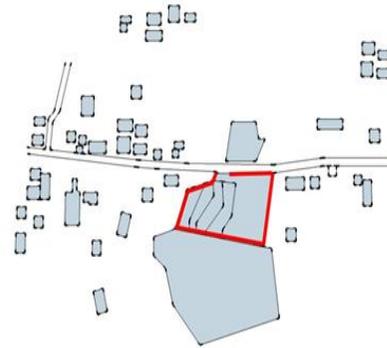
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tapak memiliki luas sebesar 2,65 ha dengan ketinggian wilayah 525 mdpl dengan ketinggian kontur 1,5 m dan kemiringan $<15^0$. Orientasi tapak menghadap ke arah utara, sehingga bentuk tapak membujur dari arah barat

menuju timur. Kontur tertinggi berada di sisi barat tapak dan terendah berada di sisi timur, seperti **Gambar 1 dan 2**.

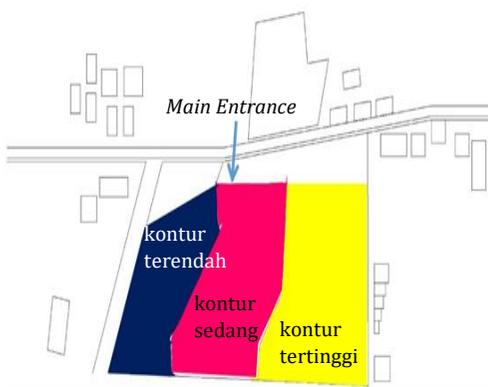


Gambar 1. Lokasi tapak.

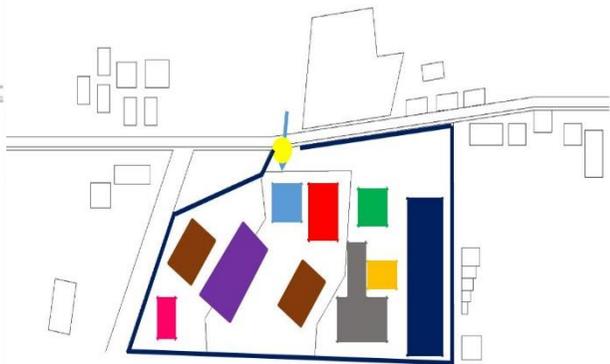


Gambar 2. Tapak dan lingkungan sekitar.

Setelah dilakukan analisis terhadap curah hujan, kontur tapak dan arah aliran air, maka diperoleh pembagian zonasi dan perencanaan, seperti pada **Gambar 3 dan 4**.



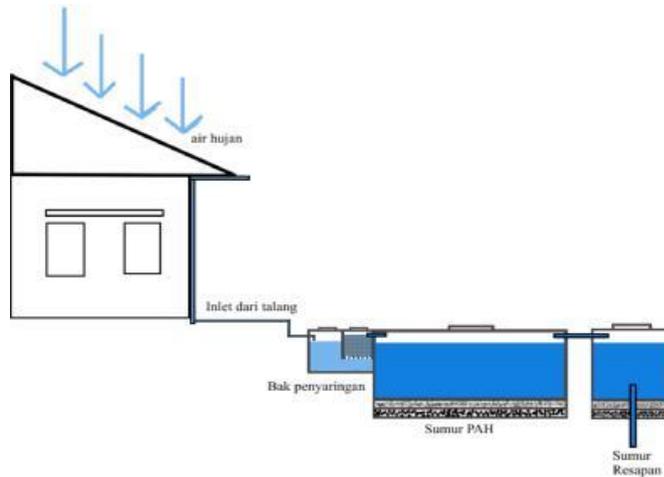
Gambar 3. Pembagian zonasi.



Gambar 4. Site plan.

3.1. Hasil analisis kebutuhan air

Konservasi air pada bangunan sekolah ini mengikuti prinsip efisiensi. Penerapan *rain water harvesting system* adalah dengan menangkap air hujan pada bagian atap, selanjutnya dialirkan dan ditampung pada sumur penampungan air hujan (PAH) yang kemudian dapat digunakan sebagai pemenuhan kebutuhan air bersih utama, seperti yang tersaji pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Skema *rain water harvesting system*.

Besaran PAH bangunan menyesuaikan keperluan air bersih dalam 1 bulan pada 1 bangunan, sedangkan besaran sumur PAH komunal menyesuaikan keperluan air bersih dalam 6 bulan pada seluruh bangunan di lokasi *site*. Rumus yang digunakan adalah (Goldman *et al.* 1986):

$$Q \text{ hujan-maks} = (0,278).C.I.A$$

Keterangan :

- Q hujan-maks = Debit maksimum (m^3/detik)
 C = Koefisien aliran
 I = Curah hujan ($\text{mm}/\text{m}^2/\text{jam}$)
 A = Luas area yang dihitung (km^2)

Besaran C diperoleh dari tabel koefisien aliran dalam buku Struktur Bangunan Tinggi. Nilai koefisien aliran air pada atap sebesar 0,70–0,95. Besaran I diperoleh dari analisis data 5 tahun terakhir curah hujan. Perhitungannya sebagai berikut:

$$I = \text{Total curah hujan} : \text{total hari hujan} : \text{estimasi waktu turun hujan} \\ = 11417 : 664 : 6 = 2,85 \text{ mm}/\text{m}^2/\text{jam}$$

Besaran A diperoleh dari penjumlahan luasan seluruh atap massa bangunan di dalam *site* yakni sebesar $5225 \text{ m}^2 = 0,05 \text{ km}^2$. Debit curah hujan pada *site* adalah:

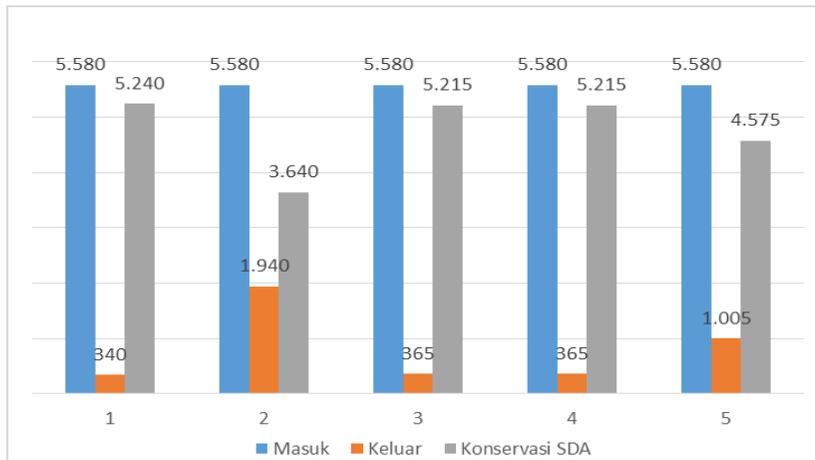
$$Q = (0,278).C.I.A \\ = (0,278) . 0,8 . 2,85 . 0,05 \\ = 0,031 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Lamanya hujan turun diperkirakan 30 menit, maka total jumlah hujan yang turun adalah:

$$\text{Debit air hujan} \times \text{lama hujan turun} = 31 \times (60 \times 30) = 31 \times 180 = 5580 \text{ } \ell, \text{ seperti pada Tabel 1 dan Gambar 6.}$$

Tabel 1. Kebutuhan air di musim penghujan.

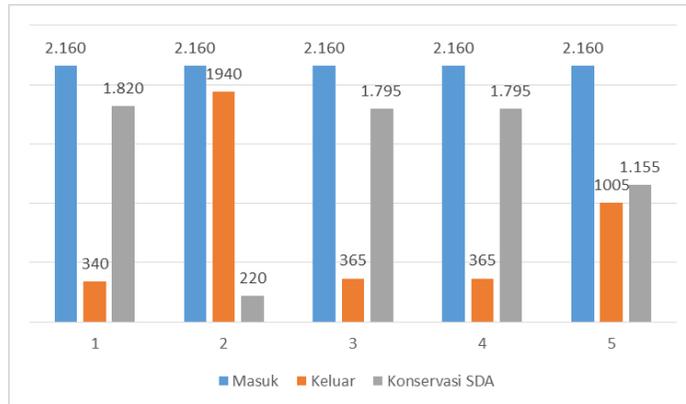
No	Massa Bangunan	Musim Hujan	
		Masuk	Keluar
1	Massa Bangunan Administrasi	5580 ℓ/hari	340 ℓ/hari
2	Massa Bangunan Pembelajaran Umum	5580 ℓ/hari	1940 ℓ/hari
3	Jurusan Teknik	5580 ℓ/hari	365 ℓ/hari
4	Jurusan Pengolahan	5580 ℓ/hari	365 ℓ/hari
5	Jurusan Budidaya	5580 ℓ/hari	1005 ℓ/hari

**Gambar 6.** Konservasi air (*cash-flow* air) di musim penghujan.

Berdasarkan **Gambar 6**, pada musim penghujan terjadi peningkatan jumlah air yang tersimpan, sehingga jumlah volume air tersebut cukup aman untuk ketersediaan operasional sekolah 6 (enam) bulan mendatang. Jumlah air yang bisa dikonservasi pada massa bangunan 1 (5240 ℓ/hari), massa bangunan 2 (3640 ℓ/hari), massa bangunan 3 (5215 ℓ/hari), massa bangunan 4 (5215 ℓ/hari) dan massa bangunan 5 (4575 ℓ/hari). Khusus bangunan dengan fungsi pembelajaran umum harus mempunyai *treatment* perencanaan khusus agar dapat meningkatkan jumlah volume simpanan airnya agar lebih dari 3640 ℓ/hari, seperti pada **Tabel 2 dan Gambar 7**.

Tabel 2. Perhitungan kebutuhan air di musim kemarau.

No	Massa Bangunan	Musim Kemarau	
		Masuk	Keluar
1	Massa Bangunan Administrasi	2160 ℓ/hari	340 ℓ/hari
2	Massa Bangunan Pembelajaran Umum	2160 ℓ/hari	1940 ℓ/hari
3	Jurusan Teknik	2160 ℓ/hari	365 ℓ/hari
4	Jurusan Pengolahan	2160 ℓ/hari	365 ℓ/hari
5	Jurusan Budidaya	2160 ℓ/hari	1005 ℓ/hari



Gambar 7. Konservasi air (*cash-flow air*) di musim kemarau.

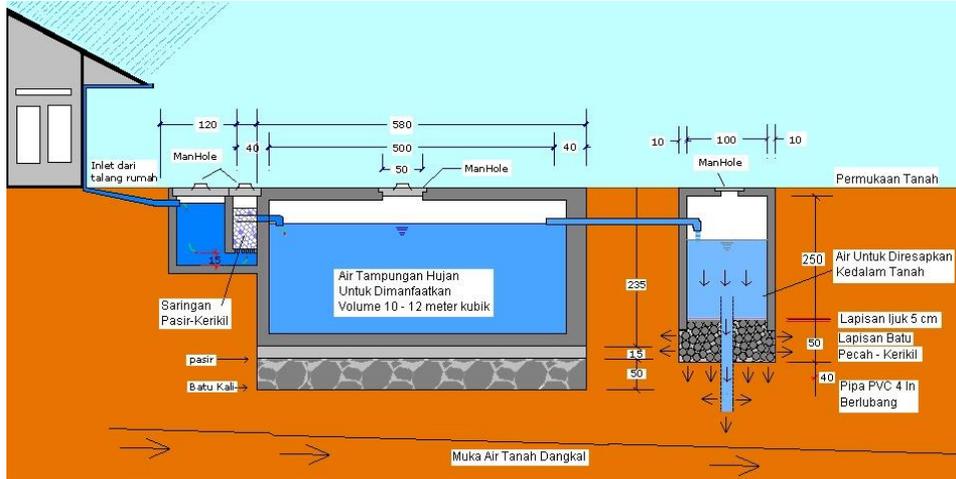
Berdasarkan **Gambar 7**, pada musim kemarau terjadi peningkatan kebutuhan air terutama pada massa bangunan 2 (Massa Bangunan Pembelajaran Umum), sehingga penyimpanan air hanya 220 ℓ /hari. Khusus pada massa bangunan 1, volume air yang disimpan mencapai 1820 ℓ /hari. Massa Bangunan 3, sebesar 1795 ℓ /hari, massa bangunan 4 sebesar 1795 ℓ /hari dan massa bangunan 5 sebesar 1155 ℓ /hari. Namun kondisi ini masih dipenuhi oleh penyimpanan air dari bangunan 1 (Massa Bangunan Administrasi) karena operasional PAH komunal pada *site*. PAH tersebut dapat berbentuk balok, yang konstruksinya berupa beton, dilengkapi penyalur berupa pipa HDPE, serta ukuran PAH disesuaikan terhadap kebutuhan air di setiap massa bangunan.

Hasil analisis curah hujan dan kebutuhan air pada setiap bangunan akan saling terkoneksi bila setiap massa bangunan dilengkapi sumur PAH. Sumur PAH ini bertujuan memudahkan pendistribusian air bersih dari setiap massa bangunan. Alur distribusi air bersih ditunjukkan oleh **Gambar 8**.



Gambar 8. Distribusi air bersih dari atap bangunan ke sumur PAH.
sumber: KELAIR (2016)

Alur sistem pemanfaatan air hujan (SPA) dimulai dari penyaluran air hujan yang jatuh pada atap bangunan melalui pipa menuju bak penampung awal yang berisi saringan pasir-kerikil. Selanjutnya, air disalurkan ke bak tampungan yang didesain memiliki volume antara 10–12 m³. Kelebihan air akan diresapkan ke dalam tanah. Selengkapny mengenai SPAH ini disajikan pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Sistem pemanfaatan air hujan (SPA) dan sumur resapan di dalam tapak. sumber: KELAIR (2016)

Sesuai perencanaan, pada musim kemarau, air dari sumur PAH komunal akan digunakan sebagai pemenuhan kebutuhan air bersih pada bangunan, dengan cara dialirkan menuju sumur PAH di setiap massa bangunan. Sebagai alternatif, manakala kebutuhan air bersih tidak dapat dipenuhi oleh air sumur PAH komunal, maka akan diperlukan sumur bor. Proses tersebut digambarkan pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Posisi PAH bangunan.

Air kotor dari *septic tank* dan kolam praktikum dialirkan ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang diolah dengan sistem aerob-anaerob, lalu dimanfaatkan kembali bagi penyiraman tanaman dan toilet. Proses tersebut seperti digambarkan pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Aliran air kotor dan IPAL.

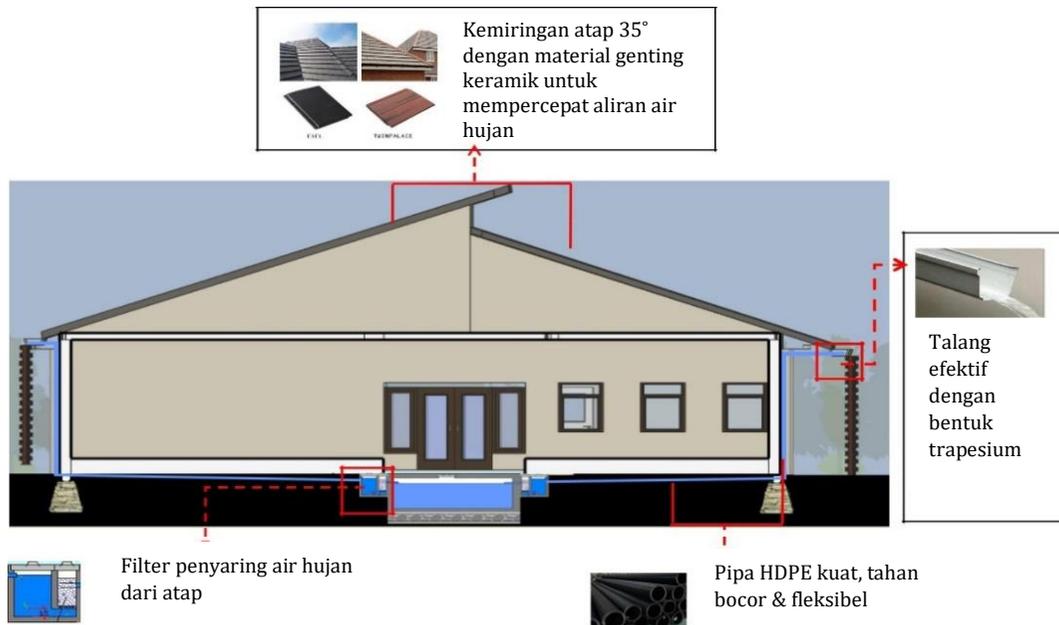
Kolam praktikum berada di dalam massa bangunan Jurusan Budidaya Perikanan Air Tawar yang berlokasi di daerah berkontur guna kemudahan dalam proses irigasi kolam praktikum. Kolam yang berukuran lebih kecil (kolam induk jantan, induk betina dan pemijahan) diposisikan di daerah yang lebih tinggi, sedangkan kolam yang lebih besar (pendederan dan produksi) diposisikan di daerah yang lebih rendah.

Sistem filtrasi pada kolam praktikum akan efektif dengan penerapan filtrasi sederhana (tradisional) yang telah ditetapkan oleh Kementerian PUPR (2016). Filtrasi ini juga digunakan untuk penjernihan air sungai, air banjir dan air danau agar layak minum. Filtrasinya terdiri dari kerikil untuk penyaringan kotoran kasar, ijuk sebagai penyaringan kotoran halus dan pasir halus untuk mengendapkan kotoran berukuran halus yang tidak tersaring oleh ijuk. Arang berfungsi untuk menghilangkan bau. Kerikil berfungsi untuk mengalirkan air ke bagian bawah melalui celah-celahnya. Batu besar memiliki dengan kerikil, namun memiliki celah yang lebih besar. Perawatan rutin dilakukan secara berkala setiap 2–3 bulan, disertai dengan penggantian media ijuk setiap 6 bulan.

Hasil analisis, menunjukkan bahwa konservasi air dengan SPAH bisa mengurangi jumlah limpasan air dan mengurangi eksploitasi sumber daya air sekitarnya hingga mencapai 1500 liter/hari. Konsep ini bisa pula dilakukan untuk semua massa bangunan, terutama massa bangunan sekolah yang membutuhkan ketersediaan air yang cukup sebagai penunjang utama proses pendidikan.

3.2. Rekomendasi dan arahan desain

Hasil analisis menunjukkan bahwa atap massa bangunan dengan tritisan lebar akan dapat menampung air hujan secara maksimal (SNI 03-706-2005). Penutup material keramik pada atap massa bangunan akan membantu mempercepat aliran air untuk menuju sumur PAH (Chang *et al.* 2004). Namun, Smotherman (2013) menyatakan untuk desain massa bangunan dengan *rain water harvesting system*, material atap perlu diperhatikan. Pertimbangan pemilihan material atap berdasarkan pada kemudahan mengalirkan air serta sifat material atap yang cenderung menyerap air atau tidak. Kecepatan aliran air hujan berbanding lurus dengan jumlah air yang akan ditampung. Material atap dengan tekstur kasar cenderung mengalirkan air lebih lambat daripada material atap bertekstur licin. Semakin cepat air hujan yang dialirkan, maka semakin banyak pula air hujan yang akan ditampung. Sumur PAH, filter dan arah aliran air hujan, seperti pada **Gambar 12**.



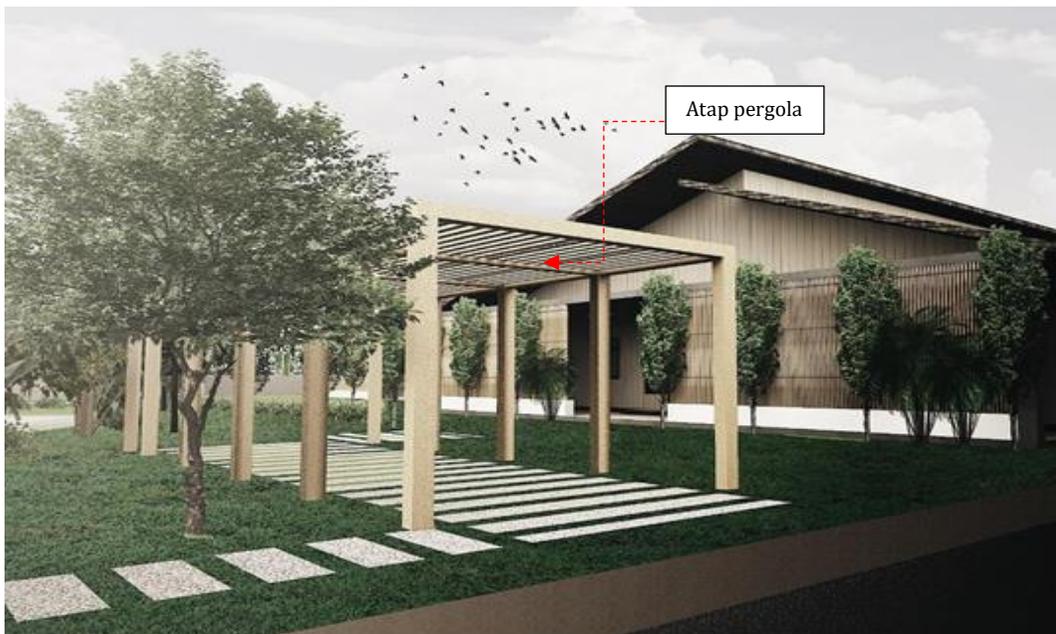
Gambar 12. Kemiringan dan material atap untuk konservasi air.

Pemanfaatan *secondary skin* sangat disarankan, karena bermanfaat guna menutupi sejumlah talang pada dinding massa bangunan, agar tetap terlihat rapi dan serasi, seperti ditunjukkan pada **Gambar 13**.



Gambar 13. Penggunaan *secondary skin* pada dinding massa bangunan.

Perencanaan ruang luar terutama area *pedestrian way* menggunakan *grass block*, sehingga dapat membantu mengurangi banjir pada area pejalan kaki guna membantu memaksimalkan proses penampungan air hujan ke dalam tanah. Pada bagian atapnya menggunakan pergola dengan kisi-kisi berlubang untuk meningkatkan peresapan air hujan, seperti **Gambar 14**.



Gambar 14. Kisi-kita pada atap pergola sebagai peneduh dan mempermudah resapan air hujan ke dalam tanah.

Berdasarkan hasil analisis dan sintesa, diketahui bahwa:

- Pada konsep *rain water harvesting system*, atap bangunan berfungsi sebagai elemen utama dalam menangkap air hujan. Bentuk atap dan material bangunan dapat dibentuk dan dipilih sesuai tuntutan karakter tampungan air.

- Sumur PAH yang menyimpan air dapat digunakan sebagai sumber air bersih utama pada bangunan, setelah melalui sistem filtrasi yang menyaring kotoran serta zat-zat yang terkandung dalam air (Desain Pemanfaatan Air Hujan dan Sumur Resapan (KELAIR 2016)).
- Aplikasi IPAL yang menggunakan sistem biofilter aerob-anaerob disarankan bagi pengolahan *grey water* dari *septic tank* dan air limbah kolam praktikum, agar air bisa dimanfaatkan kembali guna penyiraman tanaman dan toilet.
- Sumur bor dapat digunakan sebagai pilihan, agar bangunan tidak perlu memanfaatkan PDAM sebagai sumber air bersih.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Konservasi melalui *rain water harvesting system* sangat dibutuhkan bagi bangunan pendidikan yang mengandalkan pengelolaan sumber daya air, seperti sekolah kejuruan perikanan yang berbasis pengelolaan sumber daya air. Prinsip konservasi model ini akan tidak mengganggu kestabilan dan ketersediaan air di lingkungan sekitarnya. Konsep ini sangat mudah dan efektif untuk direncanakan pada semua massa bangunan dimulai dari skala tapak hingga massa bangunan sebagai bentuk adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Asdak C. 2007. Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Chang M, McBroom MW and Beasley RS. 2004. Roofing as a source of nonpoint water pollution. *Journal of Environmental Management* 73:307–315.
- Goldman SJ, Jackson K and Bursztynsky TA. 1986. Erosion and sediment control handbook. McGraw-Hill. New York.
- [KELAIR] Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2016. Sistem pemanfaatan air hujan (SPAH) dan pengolahan air siap minum (ARSINUM) [internet]. Tersedia di: <http://www.kelair.bppt.go.id/Sitpa/Artikel/Spah/spah.html>.
- [Kementerian PUPR] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2016. Panduan pendampingan sistem penyediaan air minum (SPAM) perpipaan berbasis masyarakat. Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian PUPR. Jakarta.
- KepBup (Keputusan Bupati) Malang Nomor 180 Tahun 2008 tentang penetapan lokasi pengembangan kawasan minapolitan.
- Kwok AG and Grondzik WT. 2004. *The green studio handbook: environmental strategies for schematic design*. Architectural Press. Oxford.
- Kwok A and Grondzik W. 2007. *The green studio handbook: environmental strategies for schematic design*. Architectural Press. Oxford.

- [LEAD] Leadership for Environment and Development. 2016. Knowledge hub on sustainable development goals (SDGs) 2015-2030: briefing note. LEAD. Islamabad.
- Li XY, Xie ZK and Yan XK. 2003. Run off characteristics of artificial catchment materials for rainwater harvesting in the semiarid regions of China. *Agricultural Water Management* 65(3):211-224.
- Nadia F dan Mardiyanto MA. 2016. Perencanaan sistem penampung air hujan sebagai salah satu alternatif sumber air bersih di Rusunawa Penjaringan Sari, Surabaya. *Jurnal Teknik ITS* 5(2):D241-D246.
- Nurrizqi EH, Hadi MP dan Suprayogi S. 2016. Model pemanenan air hujan (*rainwater harvesting*) untuk mengurangi dampak bencana banjir di DAS Penguluran, Kec. Sumbermanjing Wetan, Kab. Malang [Tesis]. Program Studi S2 Geografi, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- PerMenDikNas (Peraturan Menteri Pendidikan Nasional) Nomor 40 Tahun 2008 tentang standar sarana dan prasarana Sekolah Menengah Kejuruan/ Madrasah Aliyah Kejuruan (SMK/MAK).
- Rahman S, Khan M, Akib S, Din NBC, Biswas S and Shirazi SM. 2014. Sustainability of rainwater harvesting system in terms of water quality. *The Scientific World Journal* 2014:1-10. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/721357>.
- Smotherman F. 2013. *Designing rainwater harvesting systems integrating rainwater into building systems*. John Wiley & Sons, Inc. Ontario.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 03-706-2005. 2005. Tata cara perencanaan sistem plambing. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Southface Energy Institute. 2002. *Rainwater harvesting: energy technical bulletin* [internet]. Tersedia di: http://www.southface.org/factsheets/27_rainwater-recovery-v2.pdf.
- [USSCS] USDA Soil Conservation Service. 1973. *Drainage of agricultural lands: a practical handbook for the planning, design, construction and maintenance of agricultural drainage systems*. USSCS. Washington.
- Worm J and Hattum TV. 2006. *Rain water harvesting for domestic use*, first edition. Digrafi. Wageningen.

Uji toksisitas akut (LC₅₀) limbah pengeboran minyak bumi terhadap *Daphnia magna*

D. A. Anggraini¹, H. Effendi^{2*}, M. Krisanti¹

¹Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

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

Abstrak.

Kegiatan eksplorasi minyak dan gas bumi dapat menghasilkan limbah yang berpotensi toksik bagi lingkungan perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung konsentrasi supernatan *cutting* yang dapat mematikan 50% biota uji dengan waktu paparan 96 jam. Percobaan menggunakan wadah kaca untuk menentukan nilai LC₅₀ pada waktu paparan 24, 48, 72 dan 96 jam. Kegiatan penelitian dibagi menjadi dua tahapan, yaitu uji pendahuluan dan uji utama. Berdasarkan hasil penelitian, nilai LC₅₀-96 jam dari supernatan *cutting* sebesar 58.241 ppm. Dengan demikian, sesuai PerMenESDM Nomor 45 Tahun 2006 bahwa limbah minyak bumi tersebut dapat dibuang langsung ke perairan, karena nilai LC₅₀-96 jam >30.000 ppm. Semakin lama *D. magna* terpapar *cutting*, semakin banyak bagian tubuh *D. magna* yang mengalami kerusakan.

Kata kunci: *cutting*, *Daphnia magna*, uji toksisitas akut, LC₅₀

Abstract.

*Oil and gas exploration activities can potentially produce toxic waste for the aquatic environment. This study aimed to calculate the concentration of cutting supernatant which can kill 50% of the test biota with 96 hours exposure time. The experiment used a glass container to determine the LC₅₀ value at the time of exposure 24, 48, 72, and 96 hours. Research activities were divided into two stages, namely the preliminary test and the main test. Based on the results of the study, the LC₅₀-96 hour value of the supernatant cutting was 58,241 ppm. Accordingly, according to Minister of Energy and Mineral Resources Regulation No. 45 of 2006 that petroleum waste can be disposed directly into the waters, because the value of LC₅₀-96 hours > 30,000 ppm. The longer *D. magna* is exposed to cutting, the more body parts of *D. magna* are damaged.*

Keywords: *cutting*, *Daphnia magna*, acute toxicity test, LC₅₀

1. PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan salah satu sumber daya alam yang melimpah dan dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi bagi pengembangan industri, rumah tangga, angkutan, perdagangan, dll. Kegiatan pertambangan minyak bumi terdiri dari eksplorasi, eksploitasi, pengolahan atau pemurnian dan pemasaran hasil. Kegiatan eksploitasi minyak bumi, yaitu melakukan pengeboran minyak bumi secara bertahap dan setiap tahapannya akan menghasilkan limbah baik padat maupun cair. Beberapa bahan yang terkait dengan kegiatan pengeboran minyak bumi diantaranya *drilling mud* dan *soil cutting* (Breuer *et al.* 2004). Kegiatan eksploitasi, pengolahan atau pemurnian dapat mengakibatkan gangguan keseimbangan yang cukup besar, salah satunya adalah lingkungan perairan. Penambangan minyak bumi dapat mengakibatkan dampak terhadap lingkungan, seperti penurunan kualitas air, perubahan tata guna lahan dan air, serta gangguan terhadap organisme perairan (Fikirdesici *et al.* 2010).

Salah satu organisme yang memegang peranan penting di dalam ekosistem perairan tawar adalah *Daphnia magna*. Organisme *D. magna* memiliki siklus hidup yang relatif singkat, mudah dikultur dalam skala laboratorium dan

* Korespondensi Penulis
Email : ditta.anggraini2@gmail.com

merupakan mata rantai dalam jaring-jaring makanan di perairan (Tyagi *et al.* 2007). Dodson *et al.* (2000) menyatakan bahwa *D. magna* merupakan hewan yang sensitif terhadap berbagai zat pencemar. Organisme tersebut juga telah digunakan sebagai standar dalam uji toksisitas (USEPA 1987). Asupan limbah pengeboran minyak ke dalam perairan akan menimbulkan pencemaran yang berpengaruh terhadap kelangsungan hidup *D. magna*.

Pencemaran yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan minyak dapat dicegah, yaitu dengan menentukan batasan volume dari limbah pengeboran minyak. Ketentuan tentang limbah pengeboran minyak terdapat pada PerMenESDM Nomor 45 Tahun 2006 tentang Pengelolaan Lumpur Bor, Limbah Lumpur dan Serbuk Bor pada Kegiatan Pengeboran Minyak dan Gas Bumi. Ketentuan tentang limbah pengeboran minyak dilihat dari ukuran nilai LC₅₀₋₉₆ jam yang memiliki nilai ≥ 30.000 ppm. Nilai LC₅₀ digunakan untuk melihat konsentrasi efektif toksikan yang mampu mematikan 50% biota uji dalam waktu tertentu. Jika limbah pengeboran minyak mempunyai nilai LC₅₀₋₉₆ jam ≤ 30.000 ppm, maka limbah tidak dapat langsung dibuang ke perairan melainkan harus melewati pengolahan terlebih dahulu. Jika nilai LC₅₀₋₉₆ jam limbah pengeboran minyak ≥ 30.000 ppm, maka limbah dapat langsung dibuang ke perairan karena limbah tidak bersifat toksik (PerMenESDM Nomor 45 Tahun 2006). Berdasarkan uraian di atas, maka diperlukan penelitian mengenai toksisitas limbah pengeboran minyak terhadap *D. magna* melalui studi *bioassay* untuk menentukan nilai LC₅₀₋₉₆ jam.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung konsentrasi supernatan dari limbah serbuk bor (*cutting*) yang dapat mematikan 50% *D. magna* sebagai biota uji dengan waktu pemaparan 96 jam. Penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai limbah pengeboran minyak bumi yang dapat dibuang langsung ke lingkungan sekitar atau melalui pengolahan terlebih dahulu berdasarkan pada PerMenESDM Nomor 45 Tahun 2006.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari hingga Mei tahun 2016. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Riset Plankton, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

2.2. Prosedur penelitian

Sebagian besar metode kerja dalam penelitian ini diadopsi dari *Procedures for Conducting Daphnia magna Toxicity Bioassay* (USEPA 1987).

2.2.1. Aklimatisasi dan pemeliharaan hewan uji

Hewan uji yang digunakan dalam penelitian adalah *D. magna* yang berasal dari pembudidaya *D. magna* yang berlokasi di daerah Dramaga, Bogor. Induk diaklimatisasi di dalam wadah agar dapat hidup sesuai kondisi fisik dan kimia yang diinginkan (Mehdipour *et al.* 2011). Induk *D. magna* diaklimatisasi ke dalam akuarium (30×30×30 cm). Air yang digunakan sebagai media hidup adalah Air PDAM. Pada proses aklimatisasi, media lama diganti dengan media baru. Air PDAM ditampung dalam bak penampung dan diaerasi sekurang-kurangnya 24 jam sebelum digunakan untuk mengurangi kandungan klor.

Pemeliharaan *D. magna* dilakukan setelah air yang digunakan diberi pupuk berupa kotoran ayam. Bahan pupuk berupa kotoran ayam kering yang dimasukkan ke dalam kain kemudian dibenamkan ke dasar akuarium. Pemupukan ini dapat menimbulkan efek pada warna air setelah 4 hari, yaitu perubahan pada warna air dari bening menjadi kuning kecokelatan. Sebelum digunakan, air kotoran ayam tersebut disaring terlebih dahulu. Selain untuk memberikan kondisi lingkungan yang sesuai, kotoran ayam ini merupakan bahan organik yang menjadi pakan alami *D. magna* (Zahidah *et al.* 2012).

Selama tahap pemeliharaan, diberikan pakan buatan berupa EM₄ dan ragi (Jusadi *et al.* 2008). Pembagian waktu kultur *D. magna* dalam 1 hari dengan menggunakan 16 jam cahaya dan 8 jam tidak menggunakan cahaya, serta kisaran suhu antara 24–28°C (Guilhermino *et al.* 2000).

2.2.2. Penyediaan neonat

Kegiatan penyediaan neonat diawali dengan memisahkan 10 induk yang memiliki embrio dari wadah kultur yang dilakukan 24 jam sebelum uji. Ciri-ciri induk yang memiliki embrio matang (siap menetas) biasanya terlihat dari telur yang ada di punggungnya (*brood chamber*) telah berwarna oranye (Stollewerk 2010). Induk-induk ini kemudian ditempatkan di dalam cawan petri yang sudah dicampurkan air tawar dan pakan. Dalam kurun waktu kurang dari 24 jam induk-induk tersebut akan menetas neonat. Instar pertama *D. magna* yang berumur ≤24 jam merupakan neonat (Barata and Baird 2000). Neonat inilah yang akan digunakan sebagai biota uji dalam penelitian.

2.2.3. Pembuatan toksikan

Toksikan yang digunakan berupa limbah serbuk bor (*cutting*) yang berasal dari salah satu perusahaan minyak dan gas di Balikpapan, Kalimantan Timur. Air tawar yang digunakan adalah air PDAM yang telah diaerasi selama 24 jam.

Toksikan yang akan digunakan untuk uji pendahuluan dan uji toksisitas adalah supernatan yang merupakan hasil pencampuran antara limbah pengeboran minyak dengan air tawar. Perbandingan antara bobot limbah dengan volume air tawar yaitu sebesar 1 kg/l. Konsentrasi supernatan limbah

(hasil pelarutan limbah dengan air tawar) yaitu sebesar 1.000.000 ppm, dengan asumsi pelarutan limbah bersifat homogen. Setelah itu dilakukan pengenceran limbah dengan volume tertentu pada uji pendahuluan dan uji toksisitas.

2.2.4. Uji pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan untuk menentukan selang konsentrasi limbah yang akan digunakan pada uji utama. Uji pendahuluan dilakukan dengan cara menguji beberapa konsentrasi supernatan limbah terhadap hewan uji. Hewan uji pada uji pendahuluan berjumlah 10 ekor yang dipaparkan terhadap toksikan di dalam wadah kaca selama 24 jam. Perlakuan berupa lima variasi pengenceran limbah dan kontrol, masing-masing dengan tiga kali ulangan. Setiap wadah uji berkapasitas 250 ml dan volume larutan 100 ml.

Uji pendahuluan digunakan untuk menentukan konsentrasi ambang atas (N) dan konsentrasi ambang bawah (n). Penentuan konsentrasi awal dan konsentrasi selanjutnya menggunakan rasio atau perbandingan sebesar 0,5 (APHA 1995). Konsentrasi ambang atas (N) adalah konsentrasi terendah dari toksikan yang menyebabkan seluruh hewan uji mati pada pemaparan waktu 24 jam, sedangkan konsentrasi ambang bawah (n) adalah konsentrasi tertinggi dari toksikan yang tidak menyebabkan kematian hewan uji pada pemaparan waktu 24 jam. Menurut Komisi Pestisida (1983) *in* Adhiarni (1997), penentuan selang kepercayaan dari konsentrasi tertinggi dan konsentrasi terendah dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Log } \frac{N}{n} = k \log \frac{a}{b} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{a}{n} = \frac{b}{a} = \frac{c}{b} = \frac{d}{c} = \frac{e}{d} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- N = Konsentrasi tertinggi
- n = Konsentrasi terendah
- k = Jumlah konsentrasi yang diuji
- a, b, c, d dan e = Konsentrasi antara konsentrasi terendah dan konsentrasi tertinggi, a adalah konsentrasi terkecil setelah uji pendahuluan dilakukan kemudian ditentukan konsentrasi tertinggi dan terendah untuk kontaminasi. Selang konsentrasi untuk kontaminasi (k=5) ditentukan menggunakan persamaan di atas.

2.2.5. Uji utama

Bentuk percobaan pada uji utama adalah *short term bioassay* dengan menggunakan tipe statik tes (USEPA 1991). *D. magna* yang telah diaklimatisasi, memiliki kondisi yang baik/sehat dan berukuran seragam, dipilih sebagai hewan uji (Hooper *et al.* 2008). Sebanyak 10 ekor neonat *D. magna* dimasukkan ke masing-masing wadah kaca yang sudah diberi kontaminasi dengan konsentrasi tertentu. Terdapat enam wadah kaca berukuran 250 ml, lima diantaranya diberi

perlakuan kontaminan dan sisanya sebagai kontrol, dengan ulangan sebanyak tiga kali. Selama percobaan 96 jam *D. magna* tidak diberi pakan.

2.2.6. Pengamatan tingkah laku dan kerusakan morfologi

Pengamatan tingkah laku dilakukan berdasarkan geometrik seri yaitu pada pemaparan waktu 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72 dan 96 jam (Novotny and Olem 1994). Pengamatan kerusakan morfologi organisme uji dilakukan pada pemaparan waktu 24, 48, 72 dan 96 jam (Wang *et al.* 2011). Pengamatan dilakukan terhadap kedua antena, badan malphigi, rostrum, ekor dan bulu sensorik pada hewan uji setelah kontaminasi. Pengamatan kerusakan morfologi dilakukan dengan menggunakan mikroskop binokuler (Wang *et al.* 2011).

2.3. Prosedur analisis data

2.3.1. Analisis probit manual

Pendugaan nilai LC₅₀ yaitu dengan menggunakan metode probit, yakni analisis regresi yang peubah tidak bebasnya berupa kategori. Metode probit mencakup transformasi proporsi mortalitas dengan transformasi probit dan transformasi konsentrasi toksikan ke dalam bentuk logaritma. Hubungan antara variabel yang digunakan pada analisis probit adalah linear dalam bentuk regresi. Transformasi yang dilakukan pada metode probit meliputi penentuan nilai probit empiris, probit harapan, probit kerja dan koefisien pemberat.

Menurut Busvine (1971), tahapan pada penentuan nilai LC₅₀ dengan menggunakan metode probit secara manual adalah:

1. Transformasi konsentrasi toksikan ke dalam bentuk logaritma basis 10.
2. Proporsi mortalitas yang akan ditransformasi dengan transformasi probit, terlebih dahulu dikoreksi dengan menggunakan persamaan Abbot's (1925) *in* Busvine (1971).

$$P = \frac{P_i - c}{100 - c} \times 100 \%$$

Keterangan:

- P = Mortalitas terkoreksi (%)
 P_i = Mortalitas pengamatan (%)
 c = Mortalitas pada kontrol (%)

3. Probit empiris ditentukan dari proporsi mortalitas yang ditransformasi dengan menggunakan tabel transformasi probit (Bliss 1957 *in* Busvine 1971).
4. Probit harapan ditentukan dari persamaan regresi linear antara log konsentrasi (x) dengan nilai probit empiris (y). Nilai probit harapan (Y) ditentukan dengan memasukkan nilai log konsentrasi (X) ke dalam persamaan regresi tersebut.

$$Y \text{ (probit harapan)} = a + bX$$

5. Probit kerja dan koefisien pembobot merupakan hasil penjumlahan probit kerja minimum (y_0) dengan konstanta (K), dikalikan dengan persen kematian hewan uji menggunakan nilai probit harapan (Y) yang di transformasikan dengan tabel koefisien dan nilai probit (Bliss 1935 *in* Busvine 1971). Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan di bawah.

$$Y (\text{Probit Kerja}) = y_0 + (K (\text{Tabel Probit}) \times \text{persen kematian})$$

6. Nilai pemberat (w) ditentukan dengan mengalikan antara nilai koefisien pembobot pada tabel Bliss dengan jumlah hewan uji.
7. Tentukan nilai wx dengan mengalikan antara log volume (x) dengan nilai pemberat (w).
8. Tentukan nilai wy dengan mengalikan antara probit kerja (y) dengan nilai pemberat (w).
9. Tentukan nilai wx^2 dengan mengalikan antara nilai pemberat (w) dengan log volume (x) yang telah dikuadratkan.
10. Tentukan nilai wxy dengan mengalikan antara nilai pemberat (w) dengan log volume (x) dan probit kerja (y).
11. Tentukan nilai \bar{X} dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{X} = \frac{\sum wx}{\sum w}$$

12. Tentukan nilai \bar{Y} dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{Y} = \frac{\sum wy}{\sum w}$$

13. Menentukan nilai a dengan menggunakan persamaan berikut:

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

14. Menentukan nilai b dengan menggunakan persamaan berikut:

$$b = \frac{\sum wxy - \bar{X} \sum wy}{\sum wx^2 - \bar{X} \sum wx}$$

15. Nilai a dan b yang telah didapatkan kemudian dimasukkan ke dalam bentuk persamaan regresi berikut dengan nilai Y (probit) yang telah ditransformasikan dengan menggunakan tabel probit.

$$Y(\text{probit}) = a + bX$$

Estimasi nilai LC₅₀ adalah antilog dari hasil perhitungan di atas.

16. Perhitungan ragam (varian) ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$V = \frac{1}{b} \left(\frac{1}{b^2} + \frac{(m-x)^2}{wx^2 - (\sum wx)^2 / \sum w} \right)$$

Keterangan:

$m = x$ (nilai probit)

17. Selang atas dan selang bawah nilai LC₅₀ diperoleh melalui persamaan:

$$m \pm 1,96 \sqrt{V}$$

2.3.2. Analisis probit berbasis *software*

Perhitungan LC₅₀ juga dapat menggunakan *Software* EPA Probit Analysis Program Versi 1.5. Pada *User's guide* yang disertakan oleh EPA, disebutkan bahwa program ini mampu menghitung estimasi nilai LC/EC₅₀ dengan selang kepercayaan sebesar 95%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Nilai ambang atas (N) dan ambang bawah (n)

Konsentrasi limbah dan jumlah kematian pada uji pendahuluan pertama disajikan pada **Tabel 1**. Kematian 100% biota terdapat pada konsentrasi 400.000 ppm, sedangkan kematian 0% terdapat pada konsentrasi 25.000 ppm.

Tabel 1. Konsentrasi limbah dan jumlah kematian pada uji pendahuluan 1.

Konsentrasi		Volume limbah (ml)	Volume air (ml)	Jumlah biota	Jumlah yang mati (%)
%	ppm				
40	400.000	40	60	10	100
20	200.000	20	80	10	80
10	100.000	10	90	10	90
5	50.000	5	95	10	70
2,5	25.000	2,5	97,5	10	0

Hasil dari percobaan pertama menunjukkan bahwa selang konsentrasi ambang atas (N) dan ambang bawah (n) masih terlalu besar. Dengan demikian, maka dilakukan rangkaian percobaan berikutnya dengan selang konsentrasi yang lebih kecil (**Tabel 2**).

Tabel 2. Konsentrasi limbah dan jumlah kematian pada uji pendahuluan 2.

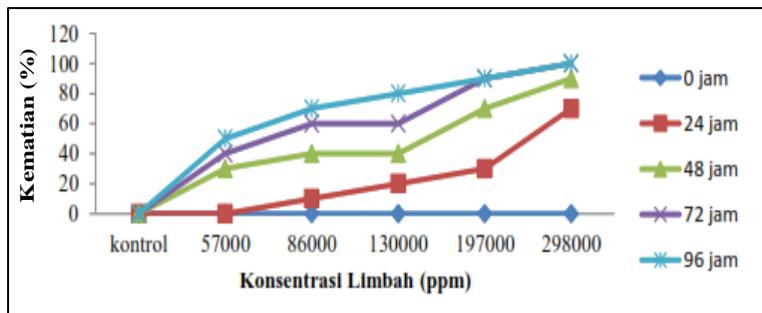
Konsentrasi		Volume limbah (ml)	Volume air (ml)	Jumlah biota	Jumlah yang mati (%)
%	ppm				
30	300.000	30	70	10	100
15	150.000	15	85	10	40
7,5	75.000	7,5	92,5	10	20
3,75	37.500	3,75	96,25	10	0
1,875	18.750	1,875	98,125	10	0

Seluruh biota uji mengalami kematian pada konsentrasi 300.000 ppm. Kematian biota tidak terjadi pada konsentrasi 37.500 ppm. Berdasarkan uji

pendahuluan 1 dan 2 terlihat bahwa nilai ambang atas (N) pada konsentrasi 300.000 ppm, sedangkan nilai ambang bawah (n) adalah 37.500 ppm. Nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan (1) dan (2) untuk mendapatkan konsentrasi toksikan yang digunakan pada uji utama.

3.2. Hasil uji utama

Respon mortalitas *D. magna* pada masing-masing konsentrasi media uji bervariasi sejak waktu pemaparan 24 hingga 96 jam (**Gambar 1**). Waktu pemaparan selama 24 jam menunjukkan bahwa media uji dengan konsentrasi 298.000 ppm menyebabkan sebanyak 70% *D. magna* mati. Waktu pemaparan selama 48 jam pada konsentrasi yang sama menyebabkan mortalitas meningkat menjadi 90%. Selanjutnya dengan waktu pemaparan selama 72 jam dan 96 jam, mortalitas mencapai 100% pada konsentrasi limbah yang sama.



Gambar 1. Hubungan antara konsentrasi limbah (ppm) dengan jumlah kematian (%) pada pemaparan waktu tertentu.

Analisis nilai LC₅₀ dilakukan dengan waktu pemaparan yang berbeda, yaitu 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 96 jam. Nilai LC₅₀ yang didapatkan berdasarkan hasil perhitungan secara manual dan *software* EPA Probit Analysis Program Versi 1.5 secara lengkap dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Nilai LC₅₀ uji toksisitas 24, 48, 72 dan 96 jam.

Waktu (jam)	Nilai LC ₅₀		Kisaran Nilai LC ₅₀ dengan Selang Kepercayaan 95 % (ppm)
	Perhitungan <i>Software</i>	Perhitungan Manual	
24	232.790	233.154	176.006–420.173
48	114.964	113.291	65.075–176.020
72	76.384	76.367	37.008–105.005
96	58.241	57.619	13.658–84.979

Hasil uji dengan selang kepercayaan 95% menunjukkan bahwa limbah *cutting* dengan konsentrasi 58.241 ppm dapat mematikan 50% populasi *D. magna* selama 96 jam. Selain itu, hasil uji juga menunjukkan bahwa nilai LC₅₀

semakin menurun seiring dengan meningkatnya waktu pemaparan. Studi lain dari Utomo (2008) menemukan bahwa LC₅₀-96 jam dari limbah *cutting* terhadap benur udang windu (*P. monodon*) adalah sebesar 91.706 ppm.

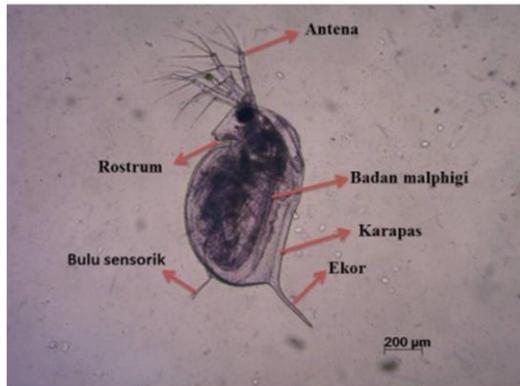
Berdasarkan PerMenESDM Nomor 45 Tahun 2006, batasan nilai LC₅₀-96 jam limbah pengeboran minyak (*used drilling mud and cutting*) adalah ≥ 30.000 ppm. Nilai LC₅₀-96 jam pada penelitian ini sebesar 58.241 ppm (memenuhi batas ketentuan regulasi), sehingga limbah *cutting* dapat langsung dibuang ke perairan tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu.

3.3. Pengaruh limbah terhadap tingkah laku dan kerusakan morfologi *D. magna*

Tingkah laku hewan uji masih terlihat normal saat dimasukkan ke dalam media uji pada waktu ke-0. Pada waktu jam ke 3, *D. magna* pada media uji (298.000 ppm) mulai menunjukkan tingkah laku yang tidak normal. *D. magna* mulai mengalami stres, berenang di permukaan dan beberapa mengalami *moulting* pada jam ke 6. Organisme *D. magna* pada seluruh konsentrasi mulai melemah dan *moulting* serta berada pada permukaan wadah pada jam ke 12. Pada jam ke 24 terlihat respon semakin lemah, pergerakan menurun dan *moulting* terjadi pada seluruh media uji, kecuali pada kontrol.

Kematian beberapa *D. magna* terjadi pada semua media uji pada jam ke-48. Setelah 72–96 jam, seluruh biota uji mengalami kematian dan perubahan warna pada konsentrasi 298.000 ppm. Gejala *D. magna* sebelum mati secara visual adalah sangat lemahnya pergerakan dan respon terhadap rangsangan dari luar. Kematian ditandai dengan perubahan warna tubuh.

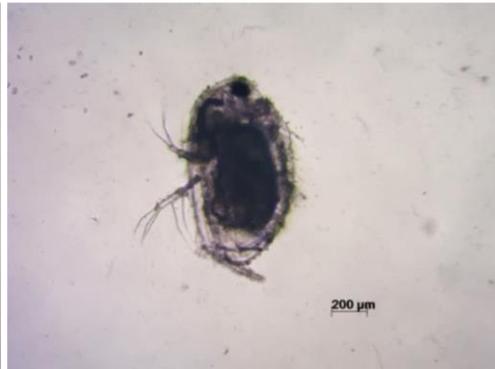
Kerusakan bentuk tubuh dapat dilihat dengan membandingkan antara bentuk tubuh biota uji pada wadah kontrol dan perlakuan. **Gambar 2** merupakan kondisi *D. magna* sebelum dilakukan pemaparan, terlihat bahwa kondisi *D. magna* masih dalam keadaan normal. Setelah dilakukan pemaparan selama 24 jam terlihat bahwa morfologi *D. magna* mulai mengalami perubahan, yaitu kedua antena mulai hilang (**Gambar 3**). Selanjutnya kondisi *D. magna* semakin memburuk, ditandai dengan ekor, kedua antena dan tubuh *D. magna* mulai rusak setelah pemaparan selama 48 jam (**Gambar 4**). Pada waktu pemaparan 72 jam kondisi *D. magna* terlihat lebih buruk dari kondisi sebelumnya, organ dalam tubuh *D. magna* mulai keluar (**Gambar 5**). Pada pemaparan selama 96 jam, kondisi tubuh sangat buruk dibandingkan kondisi sebelumnya, struktur morfologi tubuh menjadi tidak terlihat jelas (**Gambar 6**).



Gambar 2. *Daphnia magna* normal.



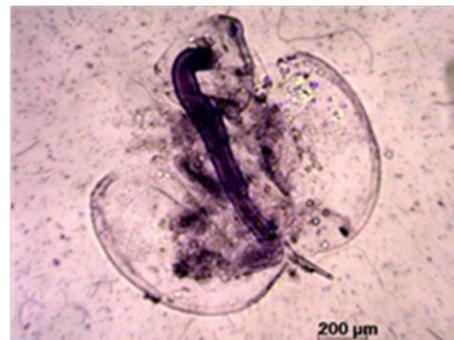
Gambar 3. Morfologi *Daphnia magna* setelah dipaparkan toksikan selama 24 jam.



Gambar 4. Morfologi *Daphnia magna* setelah dipaparkan toksikan selama 48 jam.



Gambar 5. Morfologi *Daphnia magna* setelah dipaparkan toksikan selama 72 jam.



Gambar 6. Morfologi *Daphnia magna* setelah dipaparkan toksikan selama 96 jam

Organisme *D. magna* pada wadah kontrol tidak ada yang mati. Konsentrasi media uji yang paling berpengaruh terhadap mortalitas *D. magna* adalah konsentrasi tertinggi, yaitu 298.000 ppm. Media uji memberikan respon mortalitas yang begitu cepat terhadap *D. magna* pada awal pemaparan, menandakan kadar toksikan yang tinggi pada limbah dengan konsentrasi tertentu. Secara umum mortalitas meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pemaparan, semakin tinggi konsentrasi toksikan maka sel tubuh *D. magna* semakin mengalami kerusakan. Hal tersebut disebabkan oleh limbah pengeboran minyak yang mengandung zat-zat toksik yang dapat merusak organ tubuh. Melnikov and Freitas (2010) menjelaskan, kromium merupakan salah satu komponen limbah *cutting* yang membahayakan kehidupan *Daphnia*. Besar kemungkinan bahan-bahan penyusun *cutting* inilah yang menyebabkan kematian pada *D. magna*.

Pemaparan terhadap *cutting* juga dapat memberikan dampak terhadap perubahan tingkah laku *D. magna*. Perubahan tingkah laku ditandai dengan pergerakan *D. magna* yang tidak normal seperti berenang ke permukaan. Kondisi ini kemudian menyebabkan kerusakan struktur fisiologis *D. magna*, seperti *moulting*, rusaknya kedua antena dan hancurnya struktur tubuh bagian dalam. Altindag *et al.* (2008) menjelaskan, salah satu dampak dari toksikan yaitu terjadi kerusakan bentuk tubuh biota uji. Perubahan morfologi atau kerusakan tubuh hewan uji diduga akibat pengaruh dari salah satu komponen limbah *cutting*, yaitu kadmium dan arsen yang dapat merusak bagian-bagian tubuh *D. magna*. Fenomena ini serupa dengan hasil uji toksisitas akut kadmium dan arsen terhadap *D. magna* yang dilakukan oleh Fikirdesici *et al.* (2010), yaitu kadmium dan arsen dapat merusak bagian tubuh *D. magna*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis probit menunjukkan nilai LC₅₀ dari supernatan *cutting* terhadap *D. magna* pada waktu pemaparan 96 jam adalah 58.241 ppm. Supernatan *cutting* diduga bersifat tidak toksik karena nilai LC₅₀-96 jam masih dalam kisaran yang telah ditetapkan dalam PerMenESDM Nomor 45 Tahun 2006 yaitu ≥ 30.000 ppm. Oleh karena itu, berdasarkan regulasi yang sama, limbah *cutting* dapat langsung dibuang ke lingkungan tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Namun demikian dalam pembuangannya harus mendapatkan izin dari pemerintah.

5. DAFTAR PUSTAKA

Adhiarni R. 1997. Pengaruh lanjut kontaminasi brine terhadap pertumbuhan ikan mas (*Cyprinus carpio*, Linn) ukuran 4-6 cm [Skripsi]. Departemen

Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Altindag A, Ergonul MB, Yigit S and Baykan O. 2008. The acute toxicity of lead nitrat on *Daphnia magna* Straus. African Journal of Biotechnology 7(23):4298-4300.
- [APHA] American Public Health Association. 1995. Standard methods: for the examination of water and wastewater 19th edition. APHA. Washington DC.
- Barata C and Baird DJ. 2000. Determining the ecotoxicological mode of action of chemicals from measurement made on individuals : results from-instar test with *Daphnia magna* Straus. Aquatic Toxicology 48:195-209.
- Breuer E, Stevenson AG, Howe JA, Carroll J and Shimmield GB. 2004. Drill cutting accumulations in the Northern and Central North Sea: a review of environmental interactions and Chemical fate. Marine Pollution Bulletin 48:12-25.
- Busvine JR. 1971. A critical review of the techniques for testing insecticides, second edition. Commonwealth Agricultural Bureaux. Slough.
- Dodson SI, Merritt CM, Shurin JB and Redman KG. 2000. *Daphnia* reproductive bioassay for testing toxicity of aqueous sample and presence of an endocrine disrupter. US Patent 6,150,126:1-7.
- Fikirdesici S, Altindag A and Ozdemir E. 2010. Investigation of acute toxicity of cadmium-arsenic mixtures to *Daphnia magna* with toxic units approach. Turk J Zool 36(4):543-550.
- Guilhermino L, Diamantino T, Silva MC and Soares AMVM. 2000. Acute toxicity test with *Daphnia magna*: an alternative to mammals in the prescreening of chemical toxicity. Ecotoxicology and Environmental Safety 46:357-362.
- Hooper HL, Cannon R, Callaghan A, Fryer G, Buchanan SY, Biggs J, Steve J, Hutchinson TH and Sibly RM. 2008. The ecological niche of *Daphnia magna* characterized using population growth rate. Ecology 89(4):1015-1022.
- Jusadi D, Meylani I dan Utomo NBP. 2008. Kadar vitamin c dalam tubuh *Daphnia sp.* yang diperkaya dengan vitamin c pada lama waktu pengkayaan yang berbeda. Jurnal Akuakultur Indonesia 7(1):11-17.
- Mehdipour N, Fallahi M, Takami A, Vossoughi G and Mashinchian A. 2011. Freshwater green algae *Chlorella sp* and *Scenedesmus obliquus* enriched with B group of vitamins can enhance fecundity of *Daphnia magna*. Iranian Journal of Science & Technology A2:157-163.
- Melnikov P and Freitas T. 2010. Evaluation of acute chromium (III) toxicity in relation to *Daphnia similis*. Journal of Water Resource and Protection 3:127-130.
- Novotny V and Olem H. 1994. Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution. Van Nostrand Reinhold. New York.

- PerMenESDM (Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral) Nomor 45 Tahun 2006 tentang pengelolaan lumpur bor, limbah lumpur dan serbuk bor pada kegiatan pengeboran minyak dan gas bumi.
- Stollewerk A. 2010. The water flea *Daphnia* a new model system for ecology and evolution. *Journal of Biology* 21:1-4.
- Tyagi VK, Chopra AK, Durgapal NC and Kumar A. 2007. Evaluation of *Daphnia magna* as an indicator of toxicity and treatment efficacy of municipal sewage treatment plant. *Journal Applied Science Environmental Management* 11:61–67.
- [USEPA] United States Environmental Protection Agency. 1987. Procedure for conducting *Daphnia magna* toxicity bioassay prepare for the office of solid waste. USEPA. Washington DC.
- [USEPA] United States Environmental Protection Agency. 1991. Methods for measuring the acute toxicity of effluent and receiving waters to freshwater and marine organisms (fourth edition). USEPA. Washington DC.
- Utomo BA. 2008. Uji toksisitas limbah hasil pengeboran minyak menggunakan studi bioassay LC₅₀ pada hewan uji benur udang windu (*Penaeus monodon*) [Skripsi]. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Wang KS, Lua CY and Changa SH. 2011. Evaluation of acute toxicity and teratogenic effects of plant growth regulators by *Daphnia magna* embryo assay. *Journal of Hazardous Materials* 190:520–528.
- Zahidah, Gunawan W dan Subhan U. 2012. Pertumbuhan populasi *Daphnia spp* yang diberi pupuk limbah budidaya Karamba Jaring Apung (KJA) di Waduk Cirata yang telah di fermentasi EM₄. *Jurnal Akuatika* 3(1):84-94.

Perancangan fungsi kendali mutu pada pengelolaan kolam pengendap perusahaan tambang batubara PT XYZ

R. Husin^{1*}, H. Wijayanto², S. Hariyadi³

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

²Departemen Statistika, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

³Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

Abstrak.

Pada tulisan ini, obyek penelitian dilakukan pada kegiatan penambangan di PT XYZ. PT XYZ menerapkan pengelolaan air tambang dengan menggunakan beberapa fasilitas kolam pengendapan yang selanjutnya disebut dengan *settling-pond*. Di PT XYZ, terdapat 14 kolam pengendap yang berfungsi untuk mengatasi pH, TSS, Fe dan Mn. Penelitian ini dilakukan guna menemukan kendali mutu yang tepat dalam mengidentifikasi potensi deviasi dari baku mutu lingkungan hidup yang sudah ditetapkan dalam peraturan perundang-undangan. Kendali mutu guna menentukan *control chart* serta *control limit*nya dicari untuk masing-masing parameter pH, Fe dan Mn. Beberapa model alternatif *sampling plan* telah disusun untuk diujicobakan dengan beberapa *control chart*. Pilihan *control chart* yang dilibatkan dalam penelitian ini untuk dipilih adalah $\bar{X} - R$ Chart, $\bar{X} - s$ Chart dan XmR Chart. Pada penelitian ini, data setiap parameter dikumpulkan dan dilakukan uji stabilitas dan uji kapabilitas guna diputuskan *control chart* dan *control limit*-nya setiap parameter. Hasil penelitian menunjukkan untuk parameter pH, Fe dan Mn *control chart* yang dapat digunakan adalah $\bar{X} - s$. Penerapan *control chart* di dalam pengelolaan air tambang PT XYZ terbukti dapat mengelola kinerja kepatuhannya terhadap peraturan perundang-undangan dengan mengedepankan pendekatan pencegahan dan perbaikan berkelanjutan.

Kata kunci: air tambang, *control chart*, pencegahan, perbaikan berkelanjutan

Abstract.

The research was carried out in PT XYZ coal mining company. The company applies mine water management using some treatment ponds, so-called settling pond. The company have 14 settling ponds to treat pH, TSS, Fe and Mn. This research was conducted to find the most suitable quality control in order to identify possible deviation against the defined criteria of the relevant regulation. There were three parameters of which the control chart and its control limit in this research to be determined, they were pH, Fe and Mn. Some alternative sampling plan models and three type of control charts were defined. The control charts to be involved in this research were $\bar{X} - R$ Chart, $\bar{X} - s$ Chart, and XmR. According to the defined sampling plan model and control charts, on each parameters, stability and capability testing were carried out to determine the most suitable control charts and their control limits. The research result has shown that for pH, Fe and Mn, the chosen control chart was $\bar{X} - s$. The implementation of control chart in coal mining company of PT XYZ was proven able to manage its performance in meeting the stipulated regulation which emphasizes in prevention and continual improvement approach.

Keywords: mine water, control chart, prevention, continual improvement

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, perkembangan produksi batubara dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2014 menunjukkan peningkatan yang cukup pesat, dengan kenaikan produksi rata-rata 15,68% per tahun. Pada tahun 2013, produksi batubara mencapai 474 juta ton dan pada tahun 2014 menunjukkan penurunan sebesar 3,43 % seperti yang terlihat pada **Gambar 1**. Penurunan ini disebabkan adanya pengurangan impor dari China serta Amerika dan beberapa negara Eropa akibat adanya upaya-upaya untuk mengurangi konsumsi batubara dan

* Korespondensi Penulis
Email : rusdi.husin@yahoo.co.id

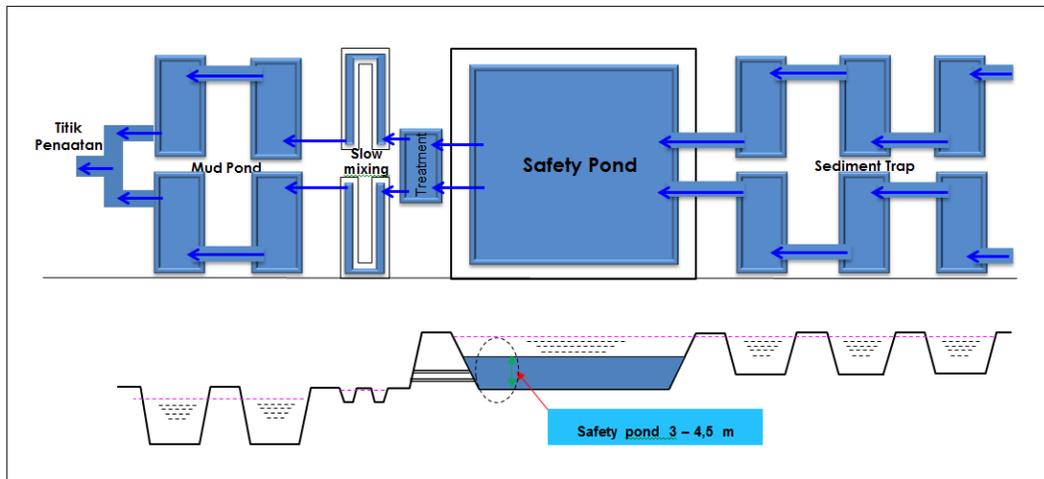
juga adanya temuan sumber daya alam minyak dan gas yang terjebak dalam batuan atau yang sering disebut dengan *shale gas/shale oil* (PerMenESDM Nomor 13 Tahun 2015 tentang Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Tahun 2015-2019). Penurunan ini tentunya selaras dengan kebijakan bauran energi nasional untuk lebih mengoptimalkan penggunaan energi baru dan terbarukan serta utilisasi penggunaan gas bumi.

Sepanjang siklus pemanfaatan batubara mulai dari penambangan, pembakaran di *boiler* pembangkit listrik sampai pembuangan limbahnya, jika tidak dikelola dengan bijak dapat menimbulkan kerusakan yang sulit dielakkan. Pola eksploitasi batubara pada kebanyakan kasus masih mengedepankan penggunaan mazhab antroposentris, yakni pemanfaatannya lebih berorientasi kepada kepentingan ekonomi. Hingga saat ini masih banyak kalangan yang menganggap bahwa batubara merupakan aset untuk mengeruk keuntungan sebesar-besarnya sebagai sumber devisa tanpa memedulikan kelestariannya. Sebagai akibatnya, hal ini sangat mengancam keberlanjutan kehidupan manusia dan pembangunan (Alikodra 2012). Berkaitan dengan hal tersebut, data Kementerian ESDM (2015) menunjukkan bahwa produksi batubara nasional cenderung meningkat, sehingga berpotensi meningkatkan gangguan terhadap kualitas lingkungan hidup, tentunya jika tidak dikelola dengan baik.

Proses penambangan pada umumnya berhadapan dengan risiko ketergangguan air, baik dari sisi kualitas maupun kuantitas, baik terhadap air permukaan maupun air tanah. Proses pengambilan batuan penutup dan juga sumber daya mineral atau batubara akan memotong akuifer air tanah sehingga mengakibatkan air tersebut tercampur dengan tanah. Air limbah dari proses pertambangan batubara menghadapi permasalahan dengan isu keasaman air dan logam berat. Batuan penutup yang mengandung mineral sulfida (FeS_2), sebelum proses penambangan berada dalam tanah dan tertutup, maka ketika penambangan terjadi, akan terbuka dan terdedah dengan udara, sehingga mengakibatkan terjadinya oksidasi. Begitu bebatuan yang sudah terdedah oksigen terkena air, maka terjadilah Air Asam Tambang (AAT) (Gautama 2014). Nilai pH yang sangat rendah akan melarutkan logam-logam berat dan tentunya jika tidak diolah akan mengakibatkan gangguan terhadap manusia dan biota air.

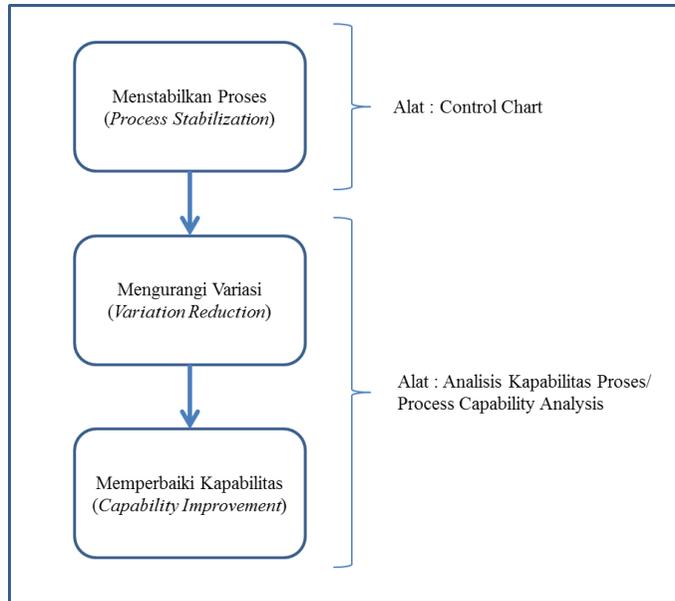
Obyek penelitian ini adalah perusahaan tambang yang berada di Kalimantan Selatan dan menurut data BPS (2017), pada periode 2015 dan 2016 sungai-sungai di Kalimantan Selatan, yaitu Barito, Martapura, Riam Kiwa dan Nagara dalam status cemar berat. Obyek penelitian dilakukan pada kegiatan penambangan di PT XYZ. PT XYZ menerapkan pengelolaan air tambang dengan menggunakan beberapa fasilitas kolam pengendapan yang selanjutnya disebut dengan *settling-pond*. Kolam pengendap tersebut digunakan untuk mengolah air agar kualitas airnya memenuhi baku mutu lingkungan hidup seperti yang

tertuang dalam KepMenLH Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Batubara. Berhubung PT XYZ berlokasi di provinsi Kalimantan Selatan, maka terdapat peraturan daerah yang diterbitkan oleh Gubernur yaitu PerGub Kalimantan Selatan Nomor 036 Tahun 2008, dengan aturan yang lebih ketat terhadap parameter TSS dibandingkan dengan yang tercantum pada KepMenLH Nomor 113 Tahun 2003. Tiga parameter yang wajib dipenuhi oleh PT XYZ adalah pH dengan kisaran 6–9, Fe (sebagai total) sebesar 7 mg/l dan Mn (sebagai total) sebesar 4 mg/l. Struktur *settling-pond* (SP) pada tambang batubara PT XYZ disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Pola pengelolaan air tambang.

Di dalam standar ISO 9000:2015, kendali mutu atau *quality control* didefinisikan sebagai bagian dari manajemen mutu yang difokuskan untuk memenuhi persyaratan mutu, sedangkan dalam standar tersebut, manajemen mutu didefinisikan sebagai pengelolaan yang terkait dengan mutu. Penerapan kendali mutu dalam rencana penelitian ini dikembangkan dengan mengadopsi konsep *statistical process control* (SPC). SAI Global Indonesia (2011) mendefinisikan SPC sebagai suatu metode pemecahan masalah untuk mengumpulkan dan menganalisa data sedemikian rupa sehingga dapat memahami permasalahan dan bertindak untuk menstabilkan proses, mengurangi variasi dan memperbaiki kapabilitas. Penerapan *statistical process control* juga melibatkan tata kelola terkait dengan pengukuran, kemudian menerapkan pemantauan dengan menggunakan *control chart*, serta mengevaluasi kinerja dengan menggunakan indeks kapabilitas proses (Corbet and Pan 2001). Konsep tersebut dapat diilustrasikan dalam **Gambar 2**.



Gambar 2. Pola implementasi *statistical process control*.

Pzydek (2003) menyatakan penyebab variasi acak yang tidak diketahui disebut sebagai *common cause*, dalam beberapa referensi lain disebut sebagai *a chance cause*. Jika pengaruh dari variasi relatif kecil, maka dapat dikatakan bahwa variasi yang ada dapat diprediksi dalam batas kendali. Perlu untuk dikatakan bahwa tidak semua fenomena muncul dari sistem yang konstan dari suatu variasi *common cause*. Ada saat-saat tertentu, variasi disebabkan oleh sumber variasi yang bukan dari suatu proses yang konstan. Penyebab variasi ini disebut sebagai *special causes* atau dalam beberapa referensi disebut sebagai *assignable causes*. Dhini and Surjandari (2016) menyatakan bahwa penerapan *control chart* juga bertujuan untuk mendeteksi adanya variasi, baik yang disebabkan oleh *common cause* maupun *special cause*.

Penggunaan *control chart* yang efektif salah satunya tergantung kepada *rational subgroup* termasuk juga pengambilan sampel yang rasional (*rational sampling*). Upaya perlu difokuskan kepada teknik sederhana yang dapat menghasilkan hasil analisis yang terbaik. *Rational sampling* melibatkan pemilihan terbaik terhadap apa, dimana, bagaimana dan kapan pengukuran dilakukan. Frekuensi pengambilan sampel dikatakan rasional jika pengambilannya cukup sering untuk mendeteksi atau memantau perubahan-perubahan proses. Penulis menyebut perancangan *rational subgroup* dan *rational sampling* dengan istilah perancangan *sampling plan*.

Tulisan ini ditujukan untuk mendapatkan bentuk *control chart* kendali mutu pengelolaan air tambang yang sesuai untuk masing-masing parameter baik

pH, Fe dan Mn. Selain itu, ingin mengetahui pula *control limit* yang diperlukan guna memantau kualitas air tambang untuk parameter pH, Fe dan Mn. Hal yang tidak kalah penting, adalah mengetahui sistem kendali mutu yang cocok bagi pengelolaan air tambang agar dapat sedini mungkin mencegah pencemaran ke badan air sungai (*early-warning-system*).

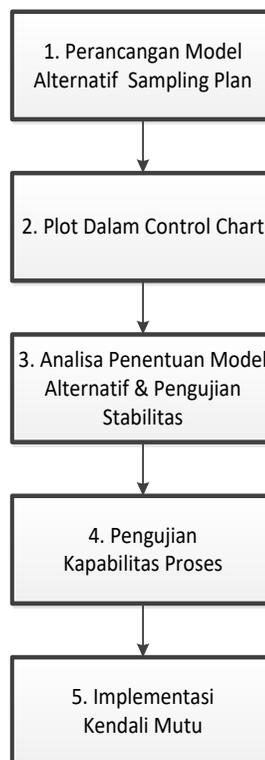
2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan di tambang PT XYZ di Provinsi Kalimantan Selatan. Pengumpulan data dilakukan melalui pengambilan data dari aplikasi perangkat lunak yang telah digunakan oleh PT XYZ. Data yang diambil adalah data pH, Fe dan Mn selama kurun waktu tahun 2017 dan periode Januari–April 2018. Implementasi dari setiap model alternatif dan *control chart* yang terpilih dilaksanakan pada periode Mei–Desember 2018. Jumlah kolam pengendap yang dianalisis sejumlah 14 buah dengan identitas kolam pengendap A sampai N.

2.2. Tahapan penelitian

Tahapan penelitian diilustrasikan sesuai dengan **Gambar 3**.



Gambar 3. Tahapan perancangan kendali mutu.

2.2.1. Perancangan model alternatif *sampling plan*

2.2.1.1. Model alternatif I

Sampling plan alternatif pertama ini disusun untuk setiap kolam pengendap. Dengan demikian pendekatan yang dilakukan adalah mengambil data untuk masing-masing parameter setiap bulan untuk masing-masing kolam pengendap, sehingga *subgroup size*-nya adalah 1. Berdasarkan model alternatif pertama ini, *control chart* yang cocok adalah X-MR.

2.2.1.2. Model alternatif II

Model alternatif kedua ini mengusulkan semua kolam pengendap SP-TSS diletakkan menjadi satu kelompok untuk dikembangkan 1 model *sampling plan*. Berbeda dengan model alternatif I yang masing-masing kolam pengendap dibuatkan *sampling plan*-nya. Pada model alternatif II ini data setiap kolam pengendap untuk kurun waktu Januari 2017–April 2018 diletakkan pada satu subgroup. Dengan demikian model alternatif II ini mengusulkan variasi data antar kolam pengendap sebagai *between subgroup variation*, sedangkan variasi *within subgroup variation* menunjukkan variasi data antar bulan. Didapatkan pada model alternatif II ini ukuran subgroup sebesar 16.

2.2.1.3. Model alternatif III

Model alternatif III ini, hampir mirip dengan model alternatif II, yakni mengusulkan variasi data antar bulan sebagai *between subgroup variation*, sedangkan variasi *within subgroup variation* menunjukkan variasi data parameter antar kolam pengendap. Didapatkan pada model alternatif II ini ukuran subgroup sebesar 14.

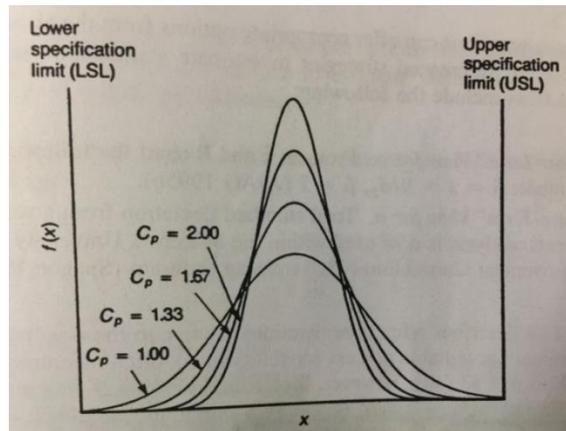
2.2.2. Uji kapabilitas proses (indeks Cp dan Cpk)

Kapabilitas proses adalah ukuran statistik dari variasi inheren pada suatu peristiwa tertentu dalam suatu proses. Biasanya didefinisikan sebagai lebarnya proses yang dibagi oleh enam sigma dan diukur dengan menggunakan indeks kapabilitas (*capability index*, Cp), dengan kata lain Cp diartikan sebagai kemampuan proses tersebut untuk mencapai hasil tertentu. Menurut Breyfogle (1999), Cp menjabarkan sebaran toleransi yang diperbolehkan terhadap sebaran data aktual ketika data mengikuti distribusi normal. Spesifikasi proses atau produk memiliki batas atas (USL, *Upper Specification Limit*) dan batas bawah (LSL, *Lower Specification Limit*). Jika proses memiliki kapabilitas yang baik, proses itu akan menghasilkan produk yang berada dalam batas-batas spesifikasi. Sebaliknya, apabila proses memiliki kapabilitas yang tidak baik, proses itu akan menghasilkan banyak produk yang berada di luar batas-batas spesifikasi atau mempunyai potensi besar untuk keluar dari batas toleransi/spesifikasi, sehingga menimbulkan kerugian karena banyak produk yang ditolak. Apabila ditemukan banyak produk yang ditolak, hal itu

mengindikasikan bahwa proses produksi memiliki kemampuan proses yang rendah untuk menghasilkan *output* sesuai dengan yang diharapkan. Indeks kapabilitas proses (C_p) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Gambar 4 menunjukkan berbagai nilai C_p relatif terhadap nilai spesifikasinya. C_p menunjukkan bentuk sebaran dari suatu proses atau produk.



Gambar 4. Contoh-contoh C_p , direproduksi dari Breyfogle (1999).

Indeks C_{pk} digunakan sebagai ukuran untuk melihat sebaran dan juga pergeseran rata-rata data proses atau produk. Nilai C_{pk} diambil dari nilai terkecil dari kemampuan memenuhi spesifikasi atas dan spesifikasi bawah. Jika yang tersedia hanya salah satu dari spesifikasi, maka yang digunakan adalah kemampuan proses dalam memenuhi spesifikasi yang ada.

$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right]$$

Pzydek (2003) mengusulkan nilai indeks C_p dan C_{pk} adalah minimal 1,00 dan akan lebih baik jika diatas 1,33.

2.2.3. Uji stabilitas (*control chart*)

Secara sederhana isu *rational subgrouping* melibatkan pemilihan dari sampel yang menghasilkan kondisi yang relatif homogen dalam suatu subgrup untuk suatu area atau region waktu (misalkan lima data dalam suatu baris). Dengan demikian variasi dalam suatu subgrup (*within-subgroup variation*) menentukan batas-batas *control chart* terhadap seberapa banyak variasi yang ada antar subgrup. Untuk kondisi tertentu mekanisme pen-subgrup-an yang berbeda akan secara dramatis mempengaruhi variasi *within-subgroup* yang pada akhirnya akan memberikan pengaruh terhadap lebar batas dari suatu *control*

chart. Pen-subgrup-an dapat mempengaruhi keluaran dan menghasilkan keputusan terhadap kinerja suatu proses dengan menggunakan suatu *control chart*, misalnya \bar{x} dan *R chart*. *Chart* rata-rata (\bar{x} *chart*) menunjukkan variasi antar subgrup (*between-subgroup variation*), sedangkan *range chart* (*R chart*) menunjukkan variasi di dalam subgrup (*within-subgroup variation*). Variasi *within-subgroup* menentukan sensitivitas dari suatu *control chart*, untuk itu penting mempertimbangkan sumber-sumber variasi untuk suatu pengukuran dan selanjutnya mengatur penentuan subgrup (Breyfogle 1999). Pzydek (2003) menyatakan konsep subgrup akan sedikit membingungkan pada *single control chart* (*individual x chart*) dan menyatakan konsep subgrup hanya cocok untuk unit pengukuran yang lebih dari satu.

Terdapat dua kelompok besar *control chart* yang ada, yaitu *control chart* yang digunakan untuk data variabel (*continuous data*) dan *control chart* untuk data *attribute* (*count data*). Sehubungan data yang digunakan pada penelitian ini adalah data variabel, pembahasan *control chart* difokuskan pada *control chart* untuk data variabel. Tiga *control chart* untuk data variabel yang akan digunakan pada penelitian ini adalah:

- Averages and Range* ($\bar{x} - R$ *Chart*) (digunakan jika 1 < ukuran subgrup < 10).
- Averages and Standard Deviation* ($\bar{x} - s$ *Chart*) (digunakan jika ukuran subgrup > 10).
- Individual Measurements* (*XmR Chart*) (digunakan jika ukuran subgrup sebesar 1).

Masing-masing formula dari ketiga *control chart* disajikan pada **Gambar 5**.

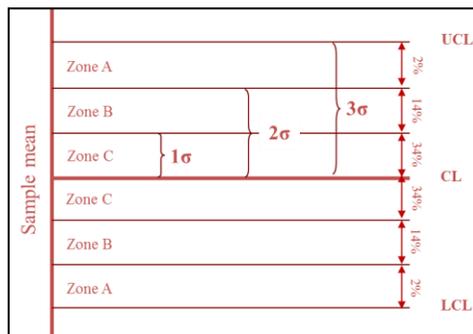
	$(\bar{x} - R$ <i>Chart</i>)	$(\bar{x} - s$ <i>Chart</i>)	(<i>XmR Chart</i>)
Between Subgroup variation	Formula \bar{x} Chart $UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$ $LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$	Formula \bar{x} Chart $UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s}$ $LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s}$	Formula \bar{X} Chart $UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + \frac{3}{d_2} \bar{MR} = \bar{\bar{X}} + 2.66 \bar{MR}$ $LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - \frac{3}{d_2} \bar{MR} = \bar{\bar{X}} - 2.66 \bar{MR}$
Within Subgroup variation	Formula <i>R</i> Chart $UCL_R = D_4 \bar{R}$ $LCL_R = D_3 \bar{R}$	Formula <i>s</i> Chart $UCL_s = B_4 \bar{s}$ $LCL_s = B_3 \bar{s}$	Formula <i>mR</i> Chart $UCL_{MR} = 3.267 \bar{MR}$ $UCL_{MR} = 0$ (untuk $n = 2$)

Gambar 5. Formula *control chart*.

Analisis lebih lanjut dari data yang sudah diplot ke dalam suatu *control chart* adalah untuk melihat apakah suatu proses dapat disebut stabil/tidak. Jika ketidakstabilan ditemukan, maka batas kendali yang ada (CL, UCL dan LCL) tidak

dapat digunakan untuk mengendalikan proses dari waktu ke waktu. Ketidakstabilan yang ditemui perlu dilakukan perbaikan dan selanjutnya perlu diplot ke dalam *control chart* guna dilihat kestabilannya. Jika sudah stabil, dengan cara menghilangkan penyebab yang ada, maka batas kendali yang ada dapat digunakan untuk mengendalikan proses dari waktu ke waktu, setelah melalui proses pengujian kapabilitasnya terlebih dahulu.

Tasdemir and Kowalczyk (2013) menyatakan bahwa penggunaan *control chart* efektif dalam mendeteksi pergeseran kinerja proses, karena kalau tidak dideteksi dengan segera, dimungkinkan akan dapat terjadi penyimpangan-penyimpangan yang tidak diharapkan. Shewhart in Breyfogle (1999) menyatakan bahwa batas kendali berada pada $\pm 3\sigma$, maka *control chart* dapat digambarkan seperti pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Zone control chart Shewhart, direproduksi dari Breyfogle (1999).

SAI Global Indonesia (2011) menyatakan bahwa terdapat 6 kondisi yang menunjukkan terjadinya ketidakstabilan, yakni:

1. Satu titik keluar dari *zone A*.
2. Dua dari tiga titik berada di *zone A*.
3. Empat dari lima titik berada di *zone A*.
4. Delapan titik berada di *zone C*.
5. Enam titik berturut-turut naik atau turun.
6. Enam titik berturut-turut berada di bawah atau di atas *center line*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis penentuan model alternatif parameter pH

Pada model alternatif I, dengan *control chart* XmR, terlihat 6 dari 14 kolom pengendap dapat memenuhi indeks kapabilitas, yaitu kolom A, C, G, H, L dan N. Pada uji stabilitas, hanya kolom C yang menunjukkan ketidakstabilan.

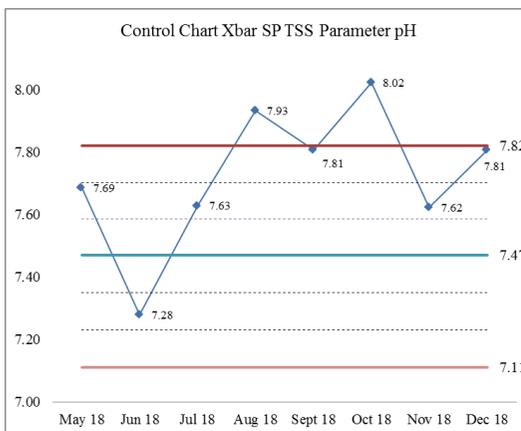
Pada model alternatif II, dengan *control chart* $\bar{X} - s$, diperoleh indeks Cpk sebesar 1,04, artinya dapat memenuhi standar indeks Cpk (minimal 1). Pada uji stabilitas, tidak terlihat adanya kondisi ketidakstabilan. Pada model alternatif III

dengan *control chart* $\bar{X} - s$, indeks Cpk-nya sebesar 0,296 yang tentunya tidak dapat memenuhi standar indeks Cpk. Disamping itu, terdapat dua kondisi ketidakstabilan yakni kondisi nomor 1 dan 2.

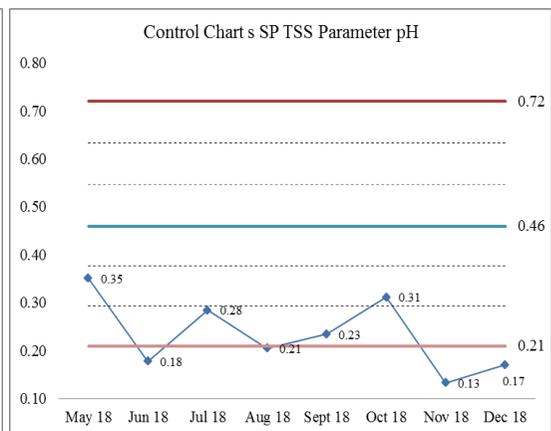
Dengan demikian dapat disimpulkan model alternatif untuk parameter pH kolam pengendap TSS yang paling tepat adalah model alternatif II dengan *control chart* yang digunakan adalah $\bar{X} - s$. Pada model alternatif II ini batas kendali yang dapat digunakan adalah:

- Untuk *control chart* \bar{X}
 - UCL_X = 7,82
 - CL_X = 7,47
 - LCL_X = 7,11
- Untuk *control chart* s
 - UCL_s = 0,72
 - CL_s = 0,46
 - LCL_s = 0,21

Berdasarkan *control limit* yang telah ditetapkan di atas, maka di lapangan dilaksanakan tahapan penerapannya. Semua SP-TSS untuk parameter pH setiap bulannya diplot ke dalam *control chart* untuk melihat apakah ada kondisi ketidakstabilan. Perbaikan dilakukan guna mengatasi ketidakstabilan yang ada. Berikut hasil pelaksanaan kendali proses untuk parameter pH selama kurun waktu Mei–Desember 2018.



Gambar 7. Implementasi kendali mutu parameter pH kolam pengendap TSS *control chart* \bar{X} .



Gambar 8. Implementasi kendali mutu parameter pH kolam pengendap TSS dengan *control chart* s .

Berdasarkan **Gambar 7**, dapat terlihat kondisi ketidakstabilan nomor 1. Titik ketidakstabilan terjadi pada bulan Agustus dan Oktober. Hasil penerapan kendali kualitas dengan menggunakan *control chart* s dapat dilihat pada **Gambar**

8. Pada kendali proses dengan *control chart s* terlihat semua parameter pH berada pada sisi bawah *center line*. Pada beberapa bulan, yaitu bulan Juni, November dan Desember berada di bawah LCL. Namun kondisi ini bukan sesuatu yang perlu dikhawatirkan, mengingat semakin kecil variasi semakin baik kualitas suatu proses.

3.2. Analisis penentuan model alternatif parameter Fe

Pada model alternatif I, dengan *control chart XmR*, terlihat bahwa semua kolam pengendap TSS berdasarkan indeks Cpk memenuhi standar (minimal 1). Namun pada uji stabilitas, beberapa kolam pengendap menunjukkan kondisi ketidakstabilan, yaitu kolam pengendap B, C, D, F, H, I dan K. Dengan demikian 7 dari 14 kolam pengendap atau 50% menunjukkan ketidakstabilan.

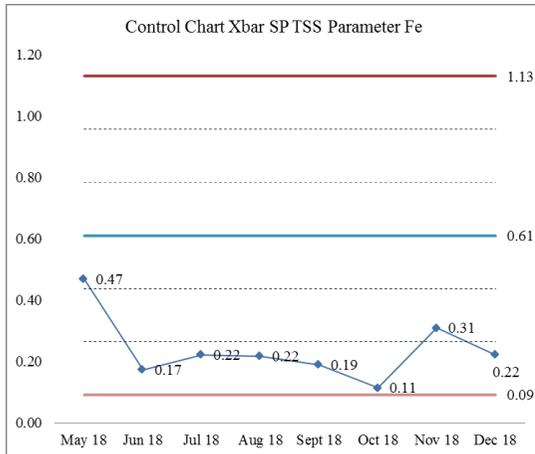
Pada model alternatif II, dengan *control chart $\bar{X} - s$* , diperoleh indeks Cpk sebesar 4,17 yang dapat memenuhi standar indeks Cpk. Namun, pada uji stabilitas terlihat adanya dua kondisi ketidakstabilan yaitu kondisi nomor 1 (keluar dari batas kendali) dan nomor 2 (dua dari tiga titik berada di *zone 3A*).

Pada model alternatif III dengan *control chart $\bar{X} - s$* , diperoleh indeks Cpk sebesar 3,28 yang dapat memenuhi indeks standar Cpk. Pada uji stabilitas terlihat adanya kondisi ketidakstabilan yang keluar dari batas kendali bawah, namun hal ini bukanlah masalah karena beban pencemarnya justru paling kecil.

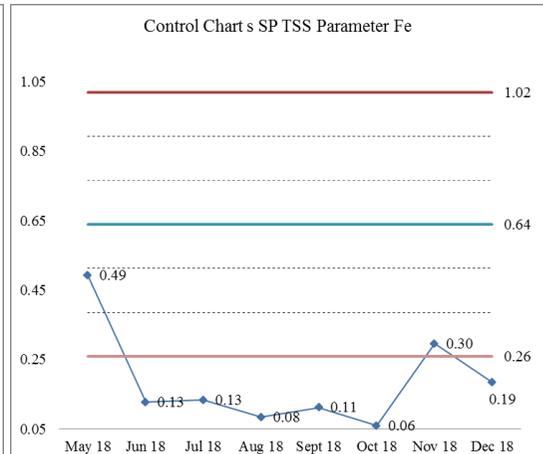
Dengan demikian dapat disimpulkan model alternatif untuk parameter Fe kolam pengendap TSS yang paling tepat adalah model alternatif III dengan *control chart* yang digunakan adalah $\bar{X} - s$. Pada model alternatif III ini batas kendali yang dapat digunakan adalah:

- Untuk *control chart \bar{X}*
 - UCL_x = 1,13 mg/L
 - CL_x = 0,61 mg/L
 - LCL_x = 0,09 mg/L
- Untuk *control chart s*
 - UCL_s = 1,02
 - CL_s = 0,64
 - LCL_s = 0,26

Berdasarkan *control limit* yang telah ditetapkan di atas, maka di lapangan dilaksanakan tahapan penerapannya. Semua SP-TSS untuk parameter Fe setiap bulannya diplot ke dalam *control chart* untuk melihat apakah ada kondisi ketidakstabilan. Tentunya di lapangan, perbaikan dilakukan guna mengatasi ketidakstabilan yang ada. Berikut hasil pelaksanaan kendali proses untuk parameter Fe selama kurun waktu Mei–Desember 2018.



Gambar 9. Implementasi kendali mutu parameter Fe kolom pengendap TSS *control chart* \bar{X} .



Gambar 10. Implementasi kendali mutu parameter Fe kolom pengendap TSS dengan *control chart* s .

Berdasarkan **Gambar 9 dan 10**, dapat terlihat bahwa seluruh data berada di bawah *center line*. Pada kendali proses dengan *control chart s* terlihat semua parameter Fe berada pada sisi bawah *center line*, hanya pada dua bulan saja berada di dalam batas kendali yaitu Mei dan November.

3.3. Analisis penentuan model alternatif parameter Mn

Pada model alternatif I, dengan *control chart* XmR , terlihat bahwa semua kolom pengendap TSS berdasarkan indeks Cpk memenuhi standar (minimal 1). Namun pada uji stabilitas, hanya 3 kolom pengendap atau 21% dari keseluruhan kolom, yang menunjukkan kestabilan yaitu kolom C, D dan J.

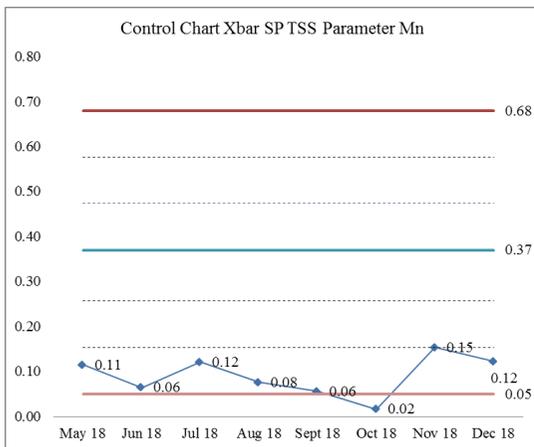
Pada model alternatif II dengan *control chart* $\bar{X} - s$, diperoleh indeks Cpk sebesar 2,88 yang dapat memenuhi standar indeks Cpk. Namun pada uji stabilitas, terlihat kondisi ketidakstabilan nomor 1 (keluar dari batas kendali), baik pada *control chart* \bar{X} maupun *control chart* s .

Pada model alternatif III dengan *control chart* $\bar{X} - s$, diperoleh indeks Cpk sebesar 8,85 yang mampu memenuhi indeks standar Cpk. Berdasarkan uji stabilitas, terdapat kondisi yang menunjukkan pola ketidakstabilan pada *control chart* \bar{X} yakni kondisi ketidakstabilan nomor 1 dan 3.

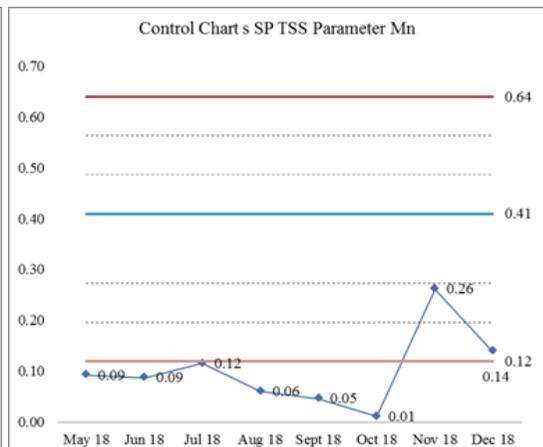
Untuk parameter Mn ini, penulis merasa kesulitan dalam mengambil keputusan paling tepat dari tiga model alternatif yang ada, namun dapat dilihat bahwa model II dirasa paling baik dibandingkan dengan model I dan III. Dengan demikian diusulkan model alternatif untuk parameter Mn kolom pengendap TSS adalah model alternatif II dengan *control chart* yang digunakan adalah $\bar{X} - s$. Pada model alternatif II ini batas kendali yang dapat digunakan adalah:

- Untuk *control chart* \bar{X}
 - UCL_x = 0,68 mg/L
 - CL_x = 0,37 mg/L
 - LCL_x = 0,05 mg/L
- Untuk *control chart* *s*
 - UCL_s = 0,64
 - CL_s = 0,41
 - LCL_s = 0,19

Berdasarkan *control limit* yang telah ditetapkan di atas, maka di lapangan dilaksanakan tahapan penerapannya. Semua SP TSS untuk parameter Mn setiap bulannya diplot ke dalam *control chart* untuk melihat apakah ada kondisi ketidakstabilan. Tentunya di lapangan, perbaikan dilakukan guna mengatasi ketidakstabilan yang ada. Berikut hasil pelaksanaan kendali proses untuk parameter Mn selama kurun waktu Mei–Desember 2018.



Gambar 11. Implementasi kendali mutu parameter Mn kolam pengendap TSS *control chart* \bar{X} .



Gambar 12. Implementasi kendali mutu parameter Mn kolam pengendap TSS dengan *control chart* *s*.

Berdasarkan **Gambar 11**, dapat terlihat bahwa seluruh data berada di bawah *center line*, bahkan pada bulan Oktober berada di bawah LCL. Penerapan kendali kualitas dengan menggunakan *control chart s*, hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 12**. Pada kendali proses dengan *control chart s* terlihat semua parameter Mn berada pada sisi bawah *center line* dan hanya dua bulan saja yang berada di dalam batas kendali, yaitu November dan Desember.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis, *control chart* yang tepat digunakan untuk parameter pH, Fe dan Mn adalah $\bar{X} - s$. Penerapan *control chart* sesuai dengan

tahapan kendali mutu lingkungan hidup yang sudah dikembangkan, baik pada kolam pengendap TSS maupun pH terlihat cukup efektif dalam mendeteksi adanya potensi-potensi penyimpangan dari baku mutu yang ada. Dengan demikian, penggunaan *control chart* pada pengelolaan air tambang sangat tepat dalam mencegah kejadian pelanggaran terhadap baku mutu lingkungan hidup yang ditetapkan oleh pemerintah. Disamping itu inisiatif ini terbukti dapat mendukung program perbaikan berkelanjutan atau *Continual Improvement Program* yang pada banyak perusahaan digalakan dengan sangat kuat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alikodra H. 2012. Konservasi sumber daya alam dan lingkungan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. Statistik Lingkungan Hidup 2017. BPS. Jakarta.
- Breyfogle FW. 1999. Implementing six sigma (smarter solutions using statistical method). John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Corbet CJ and Pan J. 2001. Evaluating environmental performance using statistical process control techniques. *European Journal of Operational Research* 139(2002):68-63.
- Dhini A and Surjandari I. 2016. Review on some multivariate statistical process control methods for process monitoring [Proceeding]. Proceeding of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. IEOM Society. Kuala Lumpur.
- Gautama RS. 2014. Pembentukan, pengendalian dan pengelolaan air asam tambang. ITB Press. Bandung.
- [ISO] International Organization for Standardization 9000:2015. 2015. Quality management systems—fundamental and vocabulary, fourth edition. ISO. Geneva.
- [Kementerian ESDM] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2015. Indonesia mineral and coal information. Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Kementerian ESDM. Jakarta. p 66.
- KepMenLH (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup) Nomor 113 Tahun 2003 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan atau kegiatan pertambangan batubara.
- PerGub (Peraturan Gubernur) Kalimantan Selatan Nomor 036 Tahun 2008 tentang perubahan atas PerGub Kalimantan Selatan Nomor 04 Tahun 2007 tentang baku mutu limbah cair (BMLC) bagi industri, hotel, restoran, rumah sakit, domestik dan pertambangan.
- PerMenESDM (Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral) Nomor 13 Tahun 2015 tentang rencana strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2015-2019.

- Pzydek T. 2003. *The six sigma handbook, revised and expanded (a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels)*. Mc-Graw Hill. New York.
- SAI Global Indonesia. 2011. *Statistical process control*. Jakarta.
- Tasdemir A and Kowalczyk PB. 2013. Application of statistical process control for proper processing of the ore sudetic monocline copper ore. *Physicochemical Problems of Mineral Processing* 50(1): 249-264.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY MANAGEMENT

ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025

Vol. 3 No. 1, April 2019

-
- | | |
|---|---------|
| Efektivitas IPAL portabel sebagai alternatif pengelolaan limbah cair domestik
(I. B. Priyambada, Purwono) | 235-243 |
| Studi identifikasi keanekaragaman hayati pada habitat Jalak Lawu, wilayah lereng Gunung Lawu, Kabupaten Magetan
(O. P. Astirin, Sugiyarto, S. Nugraha) | 244-257 |
| Konservasi dengan <i>rain water harvesting system</i> sebagai solusi efektif bagi bangunan sekolah
(S. Utami, A. M. Nugroho, Nikita) | 258-271 |
| Uji toksisitas akut (LC ₅₀) limbah pengeboran minyak bumi terhadap <i>Daphnia magna</i>
(D. A. Anggraini, H. Effendi, M. Krisanti) | 272-284 |
| Perancangan fungsi kendali mutu pada pengelolaan kolam pengendap perusahaan tambang batubara PT XYZ
(R. Husin, H. Wijayanto, S. Hariyadi) | 285-299 |
-

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