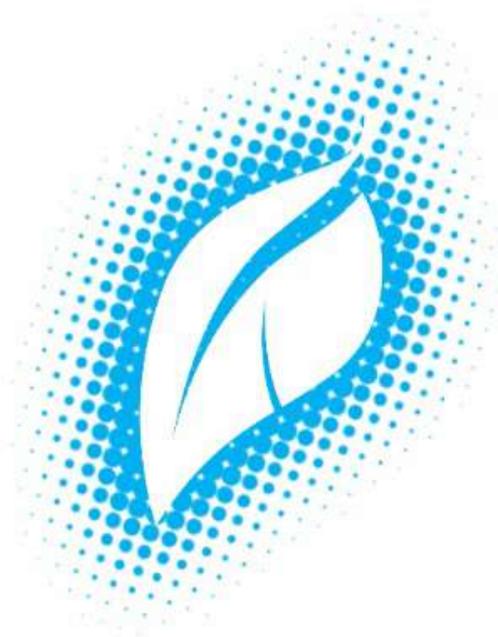




JURNAL

Jurusan Teknik Lingkungan - Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



SAINS & TEKNOLOGI LINGKUNGAN



9 772085 122007

Jurnal Saintek
Lingkungan UII

Vol.13

No.1

Hal.
01 - 75

Yogyakarta
Januari 2021

ISSN
2085-1227



Published by Department of Environmental Engineering

ISSN 2085-1227 (print) | ISSN 2502-6119 (online)

EDITORIAL TEAM

EDITOR IN CHIEF

Eko Siswoyo, Ph.D., Universitas Islam Indonesia, Indonesia

EDITORIAL BOARD/REVIEWER

Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T., M.Si	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Dr. Is Fatimah	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Dr. Ir. Kasam, MT	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Dr. Joni Aldilla Fajri	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Dr. Suphia Rahmawati	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Puji Lestari, M.Sc.	Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Prof. Joni Hermana, Ph.D	Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia
Arseto Yekti Bagastyo, Ph.D.	Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia
Ervin Nurhayati, Ph.D.	Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia
Bieby Voijant Tangahu, Ph.D.	Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia
Dr. Arie Dipareza Syafei	Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia
Erik Prasetyo, Ph.D.	Indonesian Institute of Sciences, Indonesia
Prof. Shunitz Tanaka, Ph.D	Hokkaido University, Japan
Prof. Thomas Boving, Ph.D.	University of Rhode Island, USA
Prof. Tsair Fuh-Lin, Ph.D.	National Cheng Kung University, Taiwan



Published by Department of Environmental Engineering

ISSN 2085-1227 (print) | ISSN 2502-6119 (online)

PUBLISHER

Department of Environmental Engineering, Universitas Islam Indonesia

ABOUT JOURNAL

Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan (JSTL) published twice a year in January and June is a scientific journal that publishes scientific research papers and ideas in the field of science and technology related to environmental issues. JSTL only accepts original scientific works that have not been published by other medias. All incoming articles will be reviewed in advance by competent reviewers before being eligible for publication.

SCOPE OF JOURNAL

The scope of the journal emphasis but not limited to **Environmental Science and Technology**, i.e., drinking water treatment, wastewater treatment, solid waste treatment, solid waste management, cleaner production, air pollution management, resource recovery, water pollution, soil contamination, and other relevant fields.

PLAGIARISM CHECK

Plagiarism screening will be conducted by JSTL Editorial Board using Turnitin.

REFERENCE MANAGEMENT

Every article submitted to JSTL shall use Mendeley as reference management software.

ONLINE SUBMISSION

If you already have a Username/Password for JSTL, go to login at: <http://journal.uii.ac.id/JSTL/login>

Need a Username/Password? Go to registration at: <http://journal.uii.ac.id/JSTL/user/register>

Registration and login are required to submit items online and to check the current submission status.

ARTICLE PROCESSING CHARGE

Every article submitted to JSTL will not have any Article Processing Charges. This

includes submission, peer-reviewing, editing, publishing, maintaining and archiving, and allows

immediate access to the full text versions of the articles.

Published by Department of Environmental Engineering

ISSN 2085-1227 (print) | ISSN 2502-6119 (online)

TABLE OF CONTENT

ANALISIS DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMAR BOD, COD, DAN TSS DI SUNGAI WIDURI DENGAN MENGGUNAKAN <i>SOFTWARE</i> QUAL2KW Yevan Okta Wifarulah, Nelly Marlina	1-16
ESTIMASI EMISI GAS RUMAH KACA (GRK) KEGIATAN PENGELOLAAN SAMPAH DI KELURAHAN KARANG JOANG, BALIKPAPAN Eka Masrifatus Anifah, Intan Dwi Wahyu Setyo Rini, Rachmat Hidayat, Muhammad Ridho	17-33
ANALISIS RISIKO KESEHATAN PAPARAN DEBU TERHADAP FUNGSI PARU PADA PEKERJA DI <i>HOME INDUSTRY C-MAX</i> Azham Umar Abidin, Novelia Henita, Suphia Rahmawati, Fina Binazir Maziya	34-39
KAJIAN COD DAN BOD DALAM AIR DI LINGKUNGAN TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) SAMPAH KALIORI KABUPATEN BANYUMAS Sri Royani, Adita Silvia Fitriana, Afresa Bias Putri Enarga, Hanif Zufrialdi Bagaskara	40-49
MANAJEMEN BENCANA BERDASARKAN ANALISIS TINGKAT KERENTANAN AIRTANAH DI SEBAGIAN DESA SIDOARUM, KECAMATAN GODEAN, KABUPATEN SLEMAN, D.I YOGYAKARTA Sektiana Uyun Azizah, Vindy Fadia Utama, Ekha Yogafanny, Suharwanto	50-61
DETEKSI DAN KUANTIFIKASI TELUR CACING <i>ASCARIS</i> spp. PADA AIR LIMBAH DAN LUMPUR IPAL BOJONGSOANG BANDUNG Husna Muizzati Shabrina, Barti Setiani Muntalif, Mayrina Firdayati, Inat Shani Fathuna	62-75

ANALISIS DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMAR BOD, COD, DAN TSS DI SUNGAI WIDURI DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE QUAL2KW

Yevan Okta Wifarulah¹⁾, Nelly Marlina¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
Yogyakarta

Email : nelly.marlina@uii.ac.id

Abstrak

Sungai Widuri berhulu di wilayah Kabupaten Sleman, mengalir melalui wilayah tepi Kota Yogyakarta dan masuk Kabupaten Bantul. Sungai Widuri banyak dimanfaatkan sebagai sarana mencuci, mandi, dan toilet. Selain itu, Sungai Widuri juga membawa air limbah yang berasal dari pertanian, peternakan, perikanan, dan kegiatan industri. Penelitian bertujuan menganalisis daya tampung beban pencemar yang dapat diterima Sungai Widuri dengan menggunakan software pemodelan air QUAL2Kw. Software pemodelan QUAL2Kw merupakan salah satu software yang direkomendasikan untuk menghitung daya tampung beban pencemar dari Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 1 tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Total Suspended Solid (TSS) digunakan sebagai parameter pencemar sungai. Berdasarkan penelitian, didapatkan nilai daya tampung parameter BOD adalah: segmen 1 sebesar 2617,919 kg/hari, segmen 2 sebesar 152,918 kg/hari, segmen 3 sebesar 0,040 kg/hari, segmen 4 sebesar 199,579 kg/hari, parameter COD adalah: segmen 1 sebesar 21815,948 kg/hari, segmen 2 sebesar 1274,314 kg/hari, segmen 3 sebesar 0,318 kg/hari, segmen 4 sebesar 1663,194 kg/hari, dan parameter TSS adalah: segmen 1 sebesar 43631,896 kg/hari, segmen 2 sebesar 2548,627 kg/hari, segmen 3 sebesar 0,635 kg/hari, segmen 4 sebesar 3326,387 kg/hari. Secara keseluruhan nilai daya tampung pada semua parameter dan setiap segmen masih bernilai positif (+) yang menyatakan nilai daya tampung beban pencemar yang dapat diterima oleh Sungai Widuri.

Kata Kunci : Daya Tampung, Parameter, Qual2Kw, Sungai Widuri

Abstract

The headwater of Widuri river in Sleman regency, flowing through side area in Yogyakarta City, and the downstream in Bantul regency. The Widuri river have a lot use as domestic activity. Other that, Widuri river also receive wastewater from agriculture, animal husbandry, fishery, and industrial activity. The purpose of this research is analysis of water capacity from Widuri river using Qual2Kw software. The Qual2Kw software one of many methods that recommended from Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup no. 1 tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), and Total Suspended Solid (TSS) as the pollutant parameter. The result of water capacity in river, the BOD parameter has 2617,919 kg/day in segment 1, 152,918 kg/day in segment 2, 0,040 in segment 3, and 199,579 kg/day in segment 4. The COD parameter has 21815,948 kg/day in segment 1, 1274,314 kg/day in segment 2, 0,318 kg/day in segment 3, and 1663,194 kg/day in segment 4. The TSS parameter has 43631,896 kg/day in segment 1, 2548,627 kg/day in segment 2, 0,635 kg/day in segment 3, and 3326,387 in segment 4. So the water capacity value for all parameter in every segmen has positive value that mean can receive from Widuri river.

Key Word : Parameter, Qual2Kw, Water Capacity, Widuri River

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dan perkembangan suatu kota berakibat pada pola perubahan konsumsi masyarakat yang cukup tinggi dari tahun ke tahun, dengan luas lahan yang tetap akan mengakibatkan tekanan terhadap lingkungan semakin berat. Aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya yang berasal dari pertanian, industri dan kegiatan rumah tangga akan menghasilkan limbah yang memberi sumbangan pada penurunan kualitas air sungai (Mahyudin, 2015). Penurunan kualitas air terjadi sebagai akibat pembuangan limbah yang tidak terkendali dari aktifitas disepanjang sungai sehingga tidak sesuai dengan daya dukung sungai (Prihartanto, 2007).

Sungai Widuri dengan panjang total 26,9 km adalah sungai yang selalu mengalir sepanjang tahun. Sungai ini berhulu di wilayah Kabupaten Sleman, mengalir melalui wilayah tepi Kota Yogyakarta dan masuk Kabupaten Bantul. Muara sungai masuk ke Sungai Bedog dan akhirnya masuk ke Sungai Progo. Sungai Widuri berhulu di Kecamatan Pakem, melintasi Kecamatan Ngaglik, Sleman, Mlati, dan Gamping, selanjutnya memasuki Kecamatan Kasihan. Sebagai gambaran, kampung-kampung di pinggiran Kota Yogyakarta yang terlewati oleh sungai ini antara lain Cungkuk, Kadipiro, Ketanggungan, Bugisan, Sonosewu, Nitiprayan, dan Jeblog. Kampung-kampung di perkotaan tersebut sudah sangat padat penduduk dan bangunan-bangunannya, masuk dalam wilayah Kabupaten Bantul dan Kota Yogyakarta. Sungai Widuri banyak di manfaatkan sebagai sarana mencuci, mandi, dan toilet. Selain itu, Sungai Widuri juga membawa air limbah yang berasal dari pertanian, peternakan, perikanan, dan kegiatan industri. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini menggunakan parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) sebagai parameter pencemar sungai karena parameter tersebut merupakan yang paling dominan ada dari kegiatan-kegiatan tersebut sehingga ada indikasi sungai Widuri dapat tercemar dari kegiatan-kegiatan yang ada di sekitar.

Air sungai biasanya akan meresap dan menjadi sumber air sumur warga di sekitar sungai serta menjadi estetika lingkungan sekitar sungai, apabila tercemar kemungkinan akan mengurangi kualitas air sumur warga serta estetika lingkungan sungai tersebut. Penelitian tentang daya tampung Sungai Widuri belum pernah dilakukan, sehingga perlu dilakukan penelitian daya tampungnya agar mengetahui seberapa besar Sungai Widuri dapat menampung beban pencemaran yang diterimanya. Penelitian yang dilakukan adalah menganalisa daya tampung Sungai Widuri dengan menggunakan *software* pemodelan QUAL2Kw, sehingga harapannya dapat mengetahui apakah Sungai Widuri telah tercemar dan mengetahui batas Sungai Widuri untuk menampung beban pencemar. *Software* pemodelan QUAL2Kw dipilih karena telah banyak digunakan dalam pemodelan kualitas air dan telah berpengaruh baik di beberapa tahun terakhir serta dapat melakukan simulasi terhadap objek yang dimodelkan. Selain itu, *software* QUAL2Kw direkomendasikan untuk menghitung nilai daya tampung oleh Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun

2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Penentuan daya tampung beban pencemaran akan diperoleh Batasan limbah yang diperbolehkan masuk ke dalam sungai agar sungai mampu memperbaiki kondisi kualitas airnya secara alami (*self purification*) serta diperoleh hasil penurunan beban pencemaran sungai untuk setiap parameter (Irsanda, 2014).

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis kualitas air Sungai Widuri dengan parameter BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan TSS (*Total Suspended Solid*) dengan membandingkan baku mutu Peraturan Gubernur DIY no. 20 tahun 2008 dan melakukan analisis daya tampung beban pencemar BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan TSS (*Total Suspended Solid*) dengan menggunakan *software* pemodelan QUAL2KW.

2. METODE PENELITIAN

Ruang lingkup dari penelitian hanya mencakup parameter BOD, COD dan TSS dengan hasil penelitian berupa nilai daya tampung beban pencemar yang dapat diterima Sungai Widuri, serta panjang Sungai Widuri yang diteliti sepanjang 9,456 km dengan 5 *stream point* dan 4 segmen. Penelitian dimulai dari Kecamatan Gamping tepatnya di Desa Trihanggo (S 07°44'56.8", E 110°22'08.0") hingga jembatan widuri di jalan ringroad selatan (S 07°49'31.9", E 110°20'18.4"). Pengumpulan data dalam penelitian ini adalah berupa data primer dan data sekunder. Data primer yang diambil meliputi kualitas air sungai dan kondisi hidrolis sungai. Setelah dilakukan pembagian segmen (*reach*), data yang telah didapatkan kemudian dimasukkan ke dalam program QUAL2Kw untuk membentuk model. Sedangkan data sekunder yang dikumpulkan meliputi peta dan data klimatologi yang terdiri dari kecepatan angin, temperatur udara, tutupan awan, radiasi matahari, tutupan awan, temperatur titik embun.

Setelah data dimasukkan dan QUAL2Kw dijalankan, untuk dapat membentuk model diperlukan proses kalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan cara *trial and error*. *Trial and error* dilakukan dengan menambahkan asumsi beberapa *effluent* yang masuk ke badan air yang dianggap tidak terpantau pada saat tahap sampling. Selain itu, *trial and error* juga dilakukan dengan memainkan angka *reaeration*, *Oxidation rate CBOD_f*, dan *decay rate* pada *generic* yang terdapat pada *reach rate worksheet* hingga model mendekati tren yang dibentuk oleh data grafik. Setelah proses kalibrasi maka dilakukan proses validasi, proses ini bertujuan untuk mengetahui apakah model dapat digunakan untuk simulasi nantinya, validasi dilakukan dengan metode *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE) yang digunakan untuk mengkuantifikasi besar dan sifat error yang terjadi.

RMSPE mengukur rata-rata prosentase perbedaan antara data aktual dan hasil simulasi sesuai Persamaan 1.

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[\sum_{n=1}^n \left(\frac{St - At}{At} \right)^2 \right]} \times 100\%. \quad (1)$$

Keterangan :

- RMSPE : Root Mean Square Percent Error
 St : Nilai simulasi pada waktu t
 At : Nilai aktual pada waktu t
 n : Jumlah pengamatan (t=1,2,...,n)

Model yang telah tervalidasi dapat digunakan untuk melakukan berbagai skenario simulasi terhadap kondisi sungai. Terdapat tiga skenario simulasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Skenario Teknik Simulasi

Skenario	Kondisi Air Hulu	Sumber Pencemar	Kondisi Air Sungai
1	Eksisting	Eksisting	Model
2	Eksisting	Kondisi Awal	Model
3	Baku Mutu Kelas II	<i>Trial and error</i>	Baku Mutu Kelas II

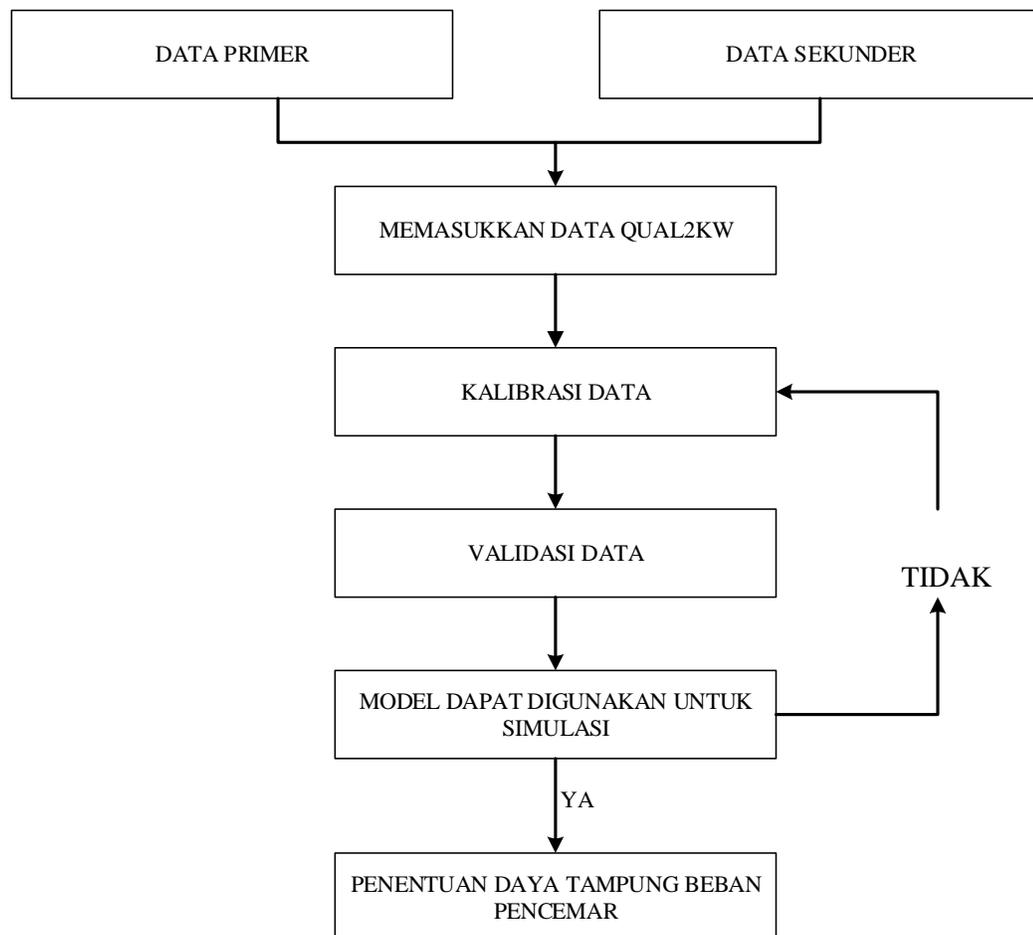
Berdasarkan Tabel 1, skenario 1 merupakan kondisi air eksisting di lapangan baik pada hulu maupun pada *effluent*-nya, skenario 2 merupakan kondisi tanpa beban pencemar yang masuk, kecuali saluran drainase, dan skenario 3 merupakan kondisi pada hulu memenuhi baku mutu kelas II dengan kondisi *effluent* yang di *trial and error* hingga mendapatkan model yang mendekati baku mutu kelas II.

Penentuan daya tampung beban pencemar dilakukan dengan membandingkan skenario 3 dan skenario 2. Persamaan yang digunakan untuk menentukan daya tampung beban pencemar dapat dilihat pada Persamaan 2.

$$\text{Daya Tampung} = \text{Beban pencemar maksimum (Skenario 3)} - \text{beban kondisi awal (Skenario 2)} \quad (2)$$

Daya tampung beban pencemar didapat dengan melihat selisih beban cemaran maksimum dengan beban cemaran tanpa pencemar, apabila daya tampung bernilai positif (+) maka obyek masih mampu menampung beban pencemaran yang masuk, apabila daya tampung bernilai negatif (-),

maka obyek sudah tidak mampu menerima beban pencemaran (Rusnugroho dan Masduqi, 2012). Tahapan dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penentuan daya tampung beban pencemar

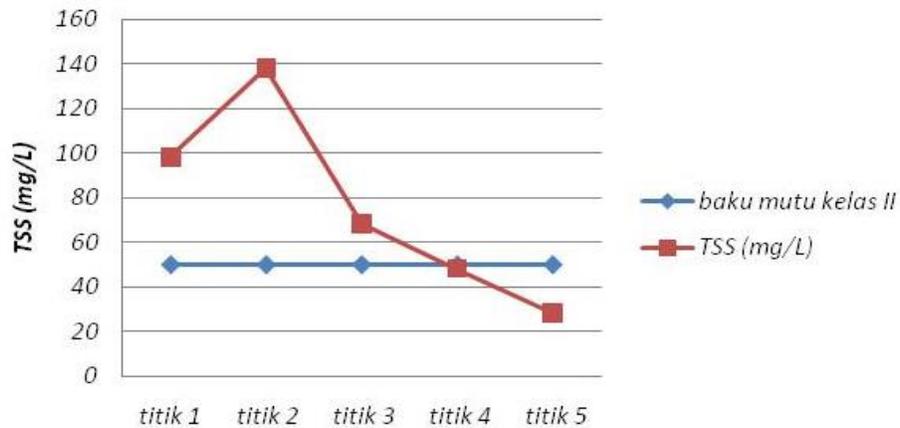
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kualitas Air Sungai

Kualitas air dapat dinyatakan dengan parameter kualitas air. Parameter ini meliputi parameter fisik, kimia, dan mikrobiologis. Data kualitas air sungai berfungsi untuk mengetahui mutu dari air tersebut. pada penelitian kali ini, kualitas air berpedoman kepada Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta nomor 20 tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di DIY.

Total Suspended Solid (TSS) atau zat padat terlarut adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut, dan tidak dapat mengendap langsung. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel-

partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari pada sedimen. Partikel yang dapat menurunkan intensitas cahaya yang tersuspensi dalam air umumnya terdiri dari fitoplankton, zooplankton, kotoran hewan, sisa tanaman dan hewan, kotoran manusia dan limbah industri (Yuliasuti, 2011). Hasil pengukuran TSS Sungai Widuri dapat dilihat pada Gambar 2.

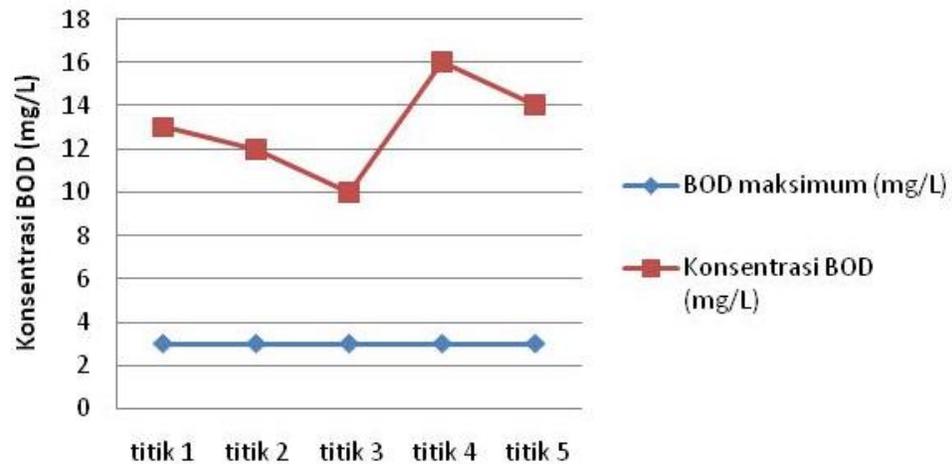


Gambar 2. Konsentrasi TSS

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa konsentrasi TSS pada titik 1 ke titik 2 mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan pada titik pantau 2 mengalami peningkatan laju aliran dari 0,33 m/s menjadi 0,55 m/s. Selain itu, kondisi dasar saluran yang berpasir menyebabkan terbawanya partikel-partikel terlarut ke permukaan sungai dan menyebabkan air keruh. Namun, konsentrasi TSS dari titik pantau 3 hingga titik pantau 5 mengalami penurunan konsentrasi, hal ini dapat disebabkan oleh banyaknya batuan dan endapan sampah yang dapat menghambat atau menahan partikel terlarut, selain itu terdapat vegetasi seperti semak-semak dan akar pepohonan pada titik pantau 4 ke titik 5 yang juga dapat menahan partikel terlarut.

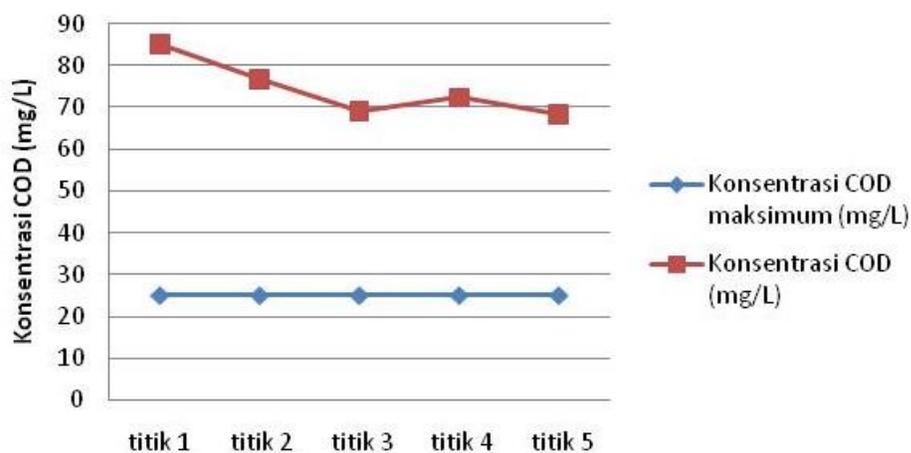
BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam air untuk mendegradasi bahan organik yang ada di dalam air tersebut (Wardhana, 2004). Hasil pengukuran BOD Sungai Widuri dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3 menunjukkan konsentrasi BOD dari titik 1 hingga titik 3 mengalami penurunan karena terjadinya proses dekomposisi senyawa-senyawa organik yang dipengaruhi oleh oksigen terlarut (Effendi, 2003). Namun dari titik 3 ke titik 4 mengalami peningkatan konsentrasi BOD sungai, fenomena ini mengindikasikan adanya pengaruh kegiatan disekitar Sungai Widuri seperti aktivitas kegiatan industri, pemukiman yang

padat, dan sebagainya. Menurut (Yogafanny,2015) tingginya konsentrasi BOD yang terdapat dalam sungai memperlihatkan banyaknya bahan organik yang mampu didegradasi secara biologis hasil dari buangan air limbah domestik dan industri.



Gambar 3. Konsentrasi BOD

COD atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Wardhana, 2004). Hasil pengukuran pada parameter COD ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Konsentrasi COD

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa konsentrasi COD Sungai Widuri relatif mengalami penurunan pada titik 1 sampai titik 3, hal ini dikarenakan bagian tersebut terjadi proses dekomposisi oleh mikroorganisme. Bagian ini disebut zona dekomposisi karena kaya akan bakteri dan mikroorganisme (Hendrasarie dan cahyarani, 2008). Pada titik 4 konsentrasi COD mengalami peningkatan dikarenakan masuk dalam zona biodegradasi sehingga konsentrasi COD meningkat. Selain itu, hal ini dapat dipengaruhi juga oleh aktivitas-aktivitas yang ada disekitar sungai pada titik tersebut.

3.2 Pembentukan model QUAL2KW

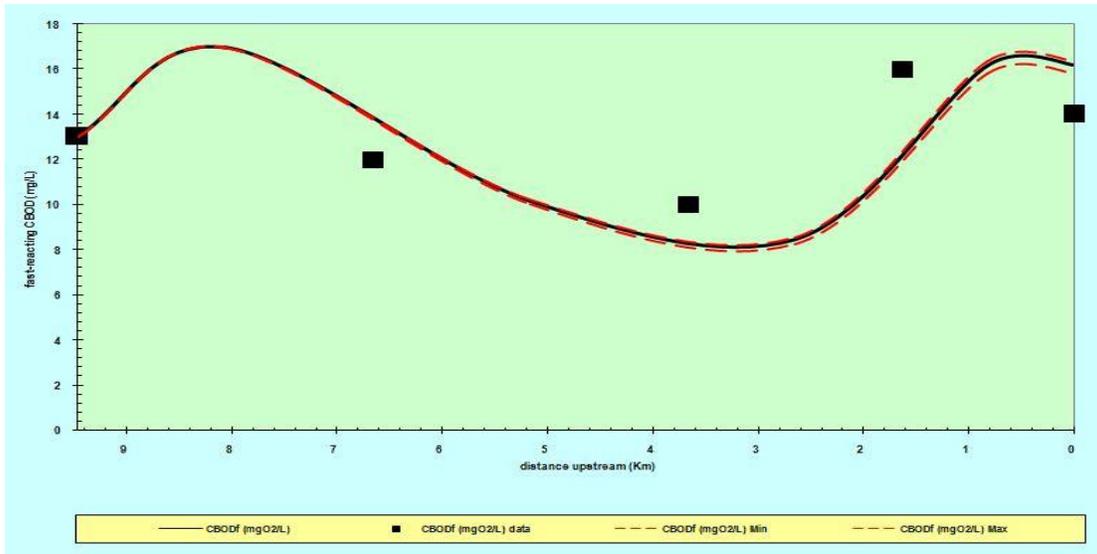
Kalibrasi adalah proses penentuan harga koefisien yang paling sesuai, sehingga perbandingan hasil model dengan data lapangan menunjukkan harga yang paling baik ditinjau secara statistik (Marlina, 2015). Kalibrasi data pada QUAL2Kw bertujuan dalam pembentukan model. Kalibrasi data hidrolis digunakan untuk pembentukan model data hidrolis berupa debit, kecepatan aliran dan kedalaman. Dari hasil data yang dimasukkan pada lembar kerja data hidrolis dan *reach* maka didapatkan hasil grafik debit, kecepatan aliran dan kedalaman. Selanjutnya kalibrasi kualitas air yang dilakukan dengan cara *trial and error* dengan menambahkan asumsi beberapa *effluent* yang masuk ke badan air pada lembar kerja *point source* yang dianggap tidak terpantau pada saat tahap *sampling*, dan *trial and error* pada lembar kerja *reach rate*.

Uji validitas merupakan tahap yang dilakukan setelah proses kalibrasi untuk memvalidasi parameter yang digunakan pada model. Perhitungan validasi dilakukan terhadap tiga parameter yaitu BOD, COD dan TSS. Berdasarkan hasil perhitungan validasi, diperoleh uji validitas data model adalah 36,4% untuk TSS, 42,4% untuk BOD, dan 7,2% untuk COD. Hasil uji validitas terhadap ketiga parameter tersebut memiliki persentase dibawah 50% atau dibawah 0,5. Menurut Deksis (2004), uji validitas dengan nilai error dibawah 0,5 atau dibawah 50 % dapat digunakan untuk menyatakan bahwa model dapat diterima. Hal ini menunjukkan bahwa model bisa digunakan untuk simulasi skenario daya tampung beban pencemar.

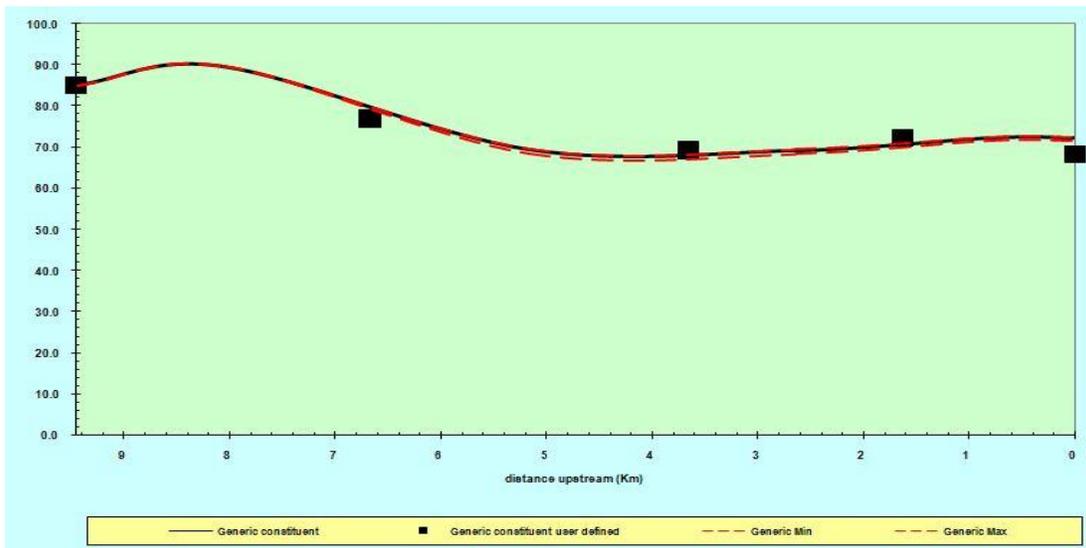
3.3 Simulasi Skenario

Simulasi model bertujuan agar mengetahui kondisi badan air sumber pencemar dari berbagai kondisi (Irsanda, 2014). Pada penelitian ini terdapat tiga simulasi skenario yang dilakukan yaitu skenario satu, dua dan tiga. Simulasi skenario satu merupakan skenario yang memberikan gambaran kondisi eksisting sungai, baik pada hulu maupun pada *effluent* yang masuk ke badan air.

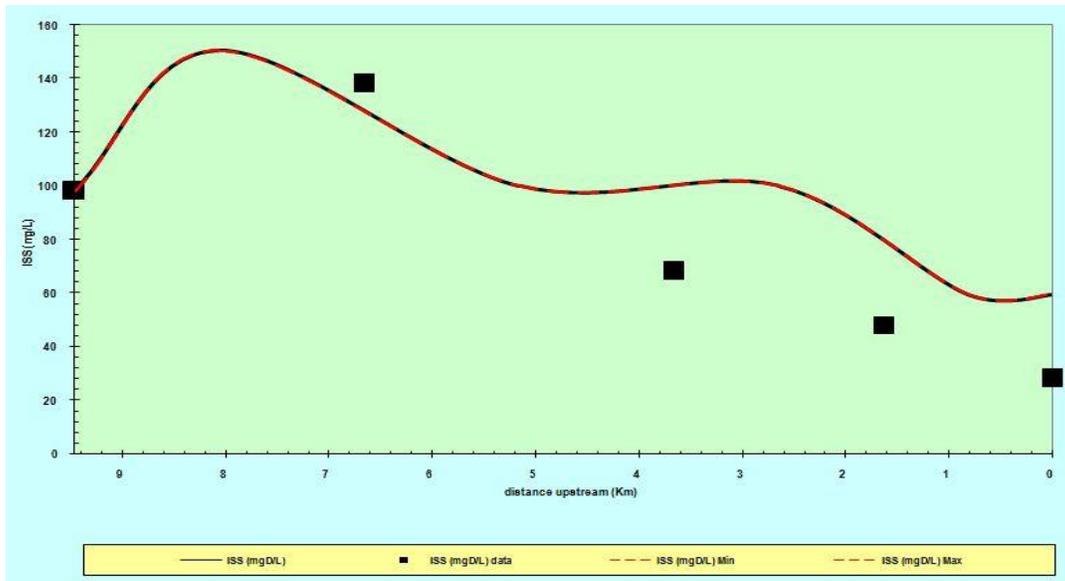
Pada skenario ini, dilakukan *trial and error* dengan menambah beban pencemar pada lembar kerja *diffuse source* hingga model mendekati data eksisting. Hasil simulasi skenario satu dapat dilihat pada Gambar 5, 6 dan 7 untuk paramter BOD, COD dan TSS secara berurutan. Dari hasil skenario satu dapat disimpulkan bahwa adanya peningkatan dan penurunan dari grafik model. Hal tersebut dipengaruhi adanya masukkan dari sumber pencemar dan pengambilan debit sungai.



Gambar 5. Hasil model skenario satu parameter BOD

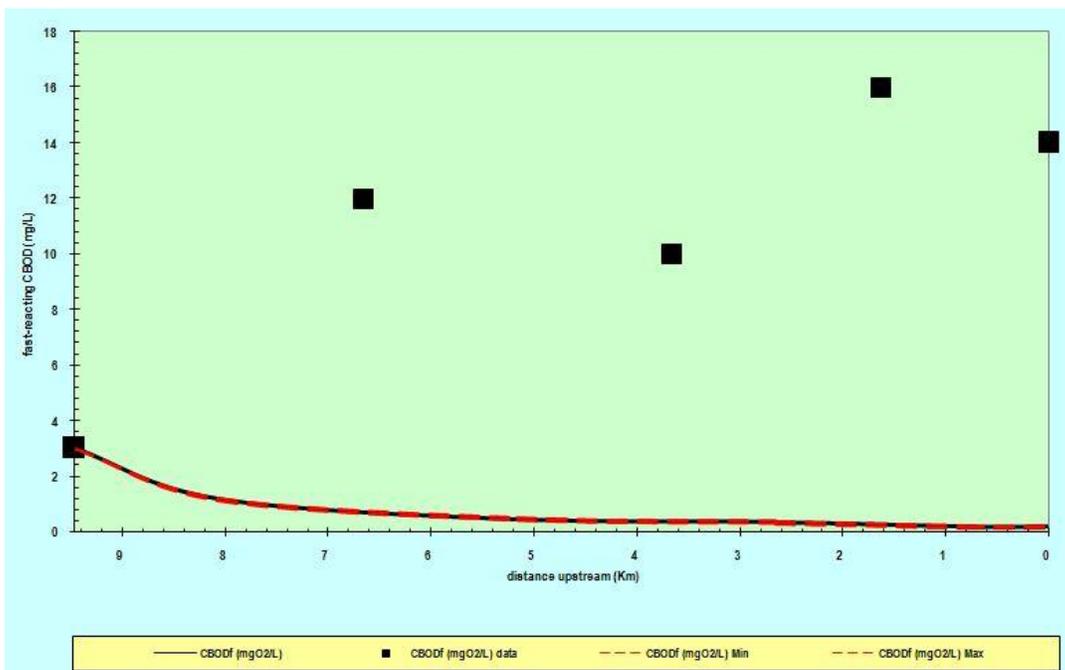


Gambar 6. Hasil model skenario satu parameter COD

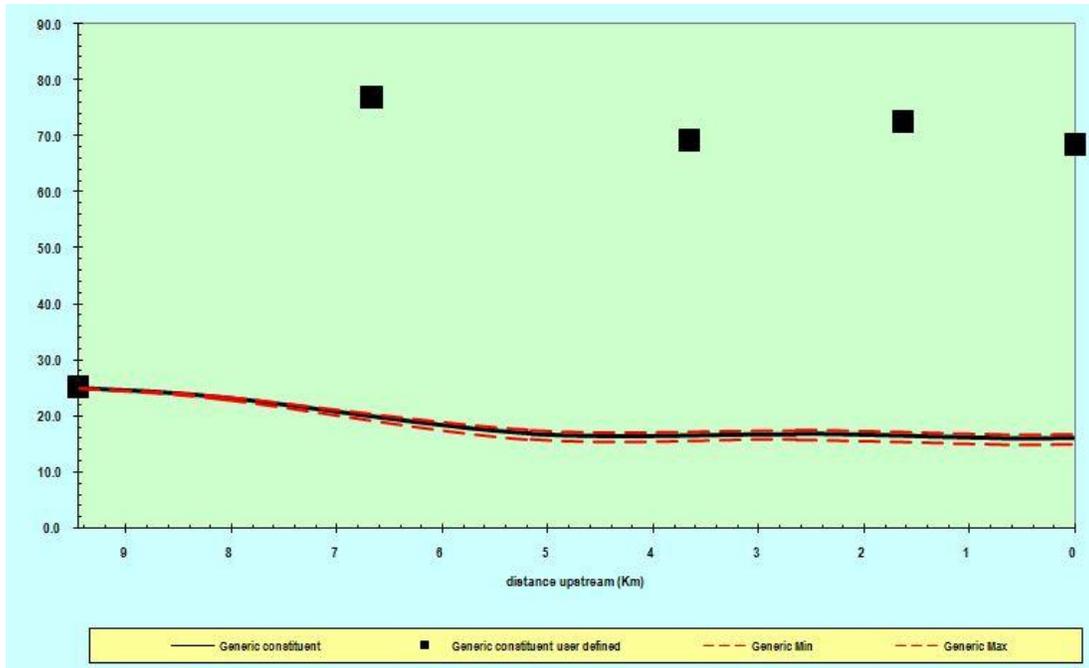


Gambar 7. Hasil model skenario satu parameter TSS

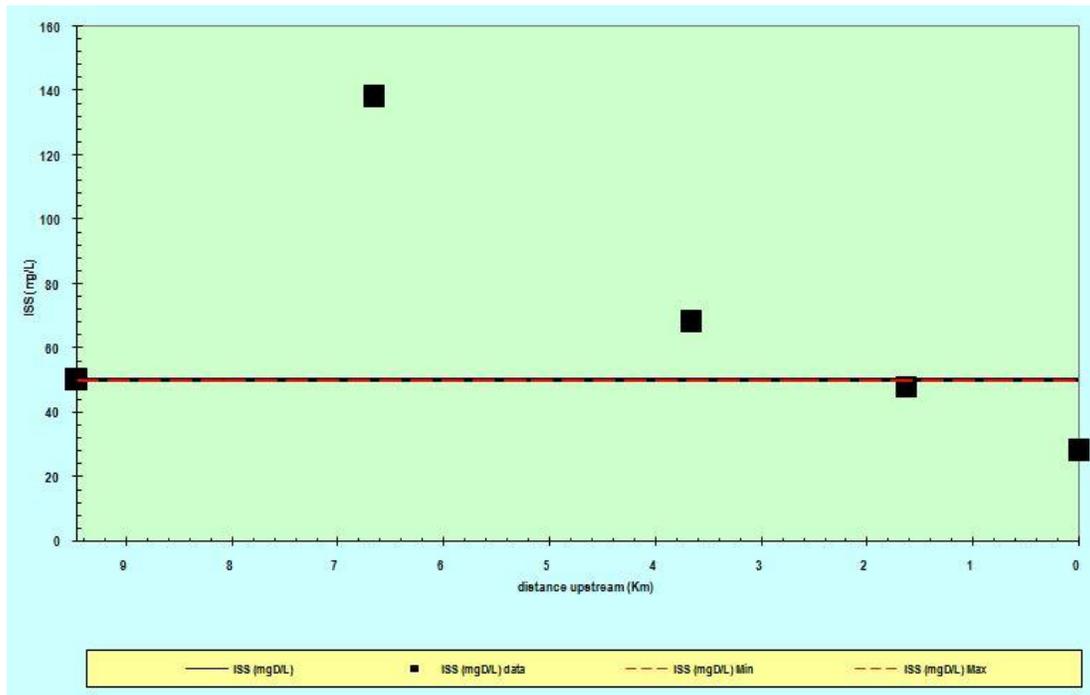
Simulasi model skenario dua merupakan skenario yang memberikan gambaran kondisi hulu sungai memenuhi baku mutu air kelas II dengan pedoman baku mutu air mengacu kepada Peraturan Gubernur DIY no. 20 tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di DIY, dan mengabaikan sumber pencemar yang masuk kecuali untuk saluran drainase. Hasil dari simulasi model skenario dua ditunjukkan pada Gambar 8,9 dan 10 untuk parameter BOD, COD dan TSS secara berurutan.



Gambar 8. Hasil model skenario dua parameter BOD



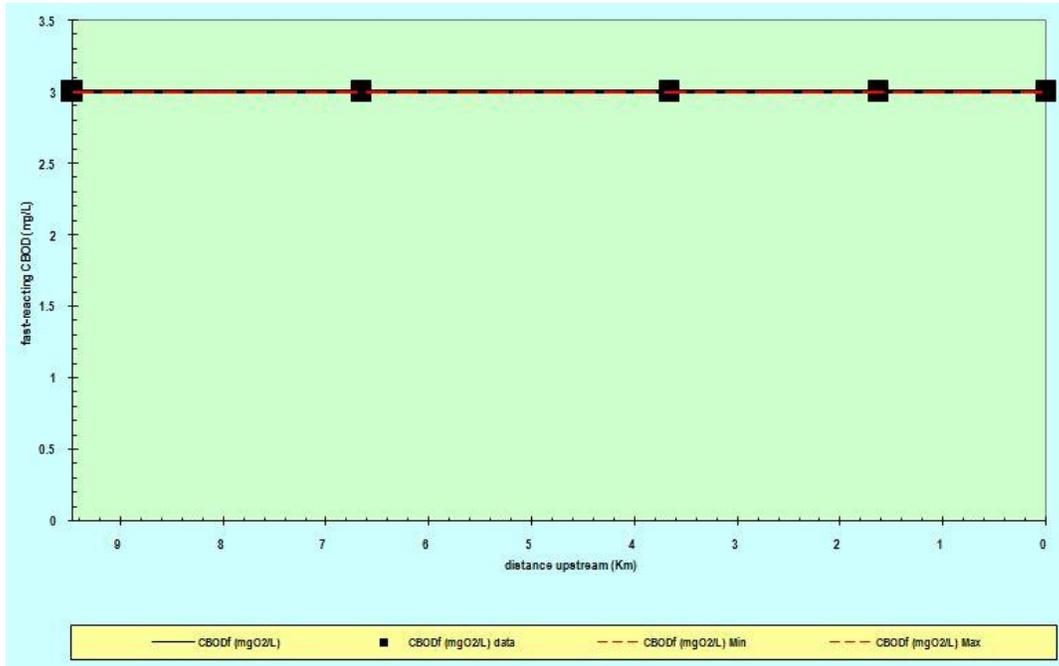
Gambar 9. Hasil model skenario dua parameter COD



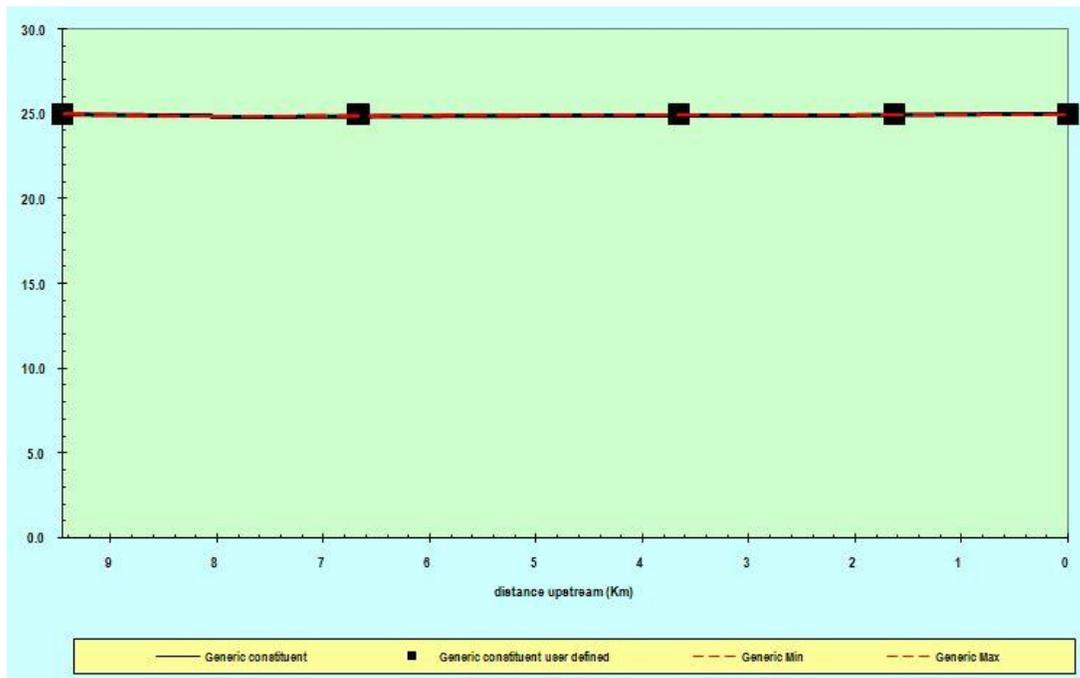
Gambar 10. Hasil model skenario dua parameter TSS

Simulasi model tiga merupakan simulasi yang memberikan gambaran kondisi pada hulu sungai dan badan sungai yang memenuhi baku mutu air kelas II sesuai Peraturan Gubernur DIY no. 20

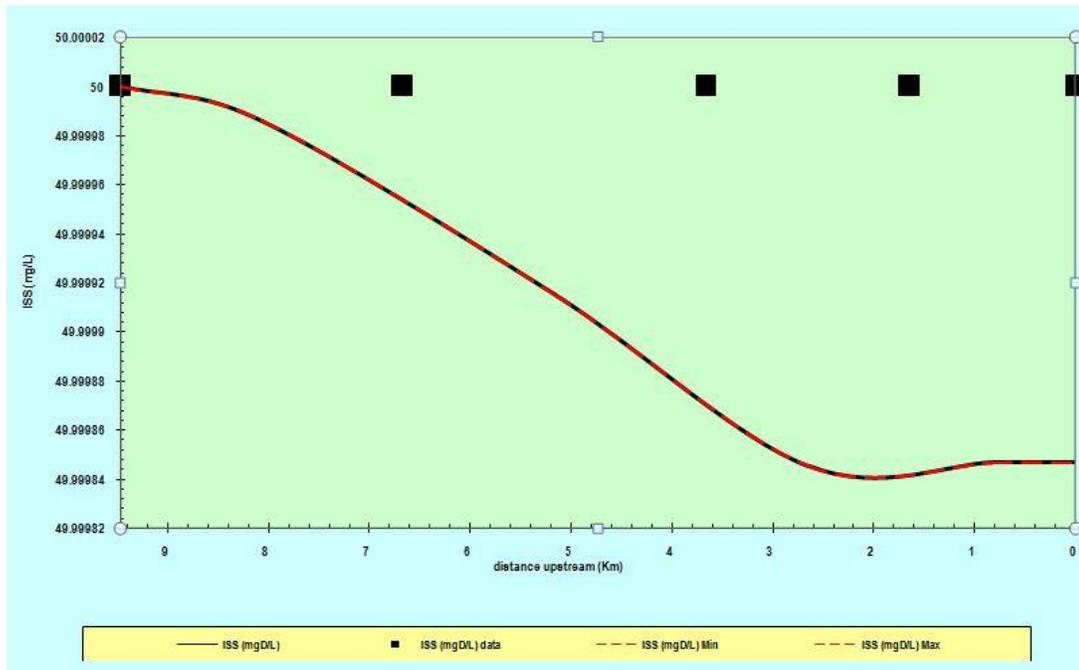
tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di DIY, dengan sumber pencemar yang di *trial and error* sampai model mendekati baku mutu kelas II. Hasil dari simulasi model skenario tiga dapat dilihat pada Gambar 11, 12 dan 13 untuk parameter BOD, COD dan TSS secara berurutan.



Gambar 11. Hasil model skenario tiga parameter BOD



Gambar 12. Hasil model skenario tiga parameter BOD



Gambar 13. Hasil model skenario tiga parameter BOD

3.4 Perhitungan daya tampung beban pencemar

Perhitungan daya tampung beban pencemar dilakukan dengan membandingkan skenario tiga dengan skenario dua. Dari kedua simulasi tersebut, didapatkan hasil berupa debit dan besarnya konsentrasi di tiap segmen pada lembar kerja *source summary*. Data beban pencemar skenario dua dan skenario tiga dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Berdasarkan beban pencemar yang didapat, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan daya tampung beban pencemar. Hasil perhitungan daya tampung beban pencemar dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan perhitungan daya tampung yang diperoleh dari selisih konsentrasi beban pencemar maksimum dengan konsentrasi beban tanpa pencemar dapat dilihat secara garis besar bahwa daya tampung untuk parameter BOD, COD, dan TSS masih bernilai positif (+), yang menyatakan bahwa nilai daya tampung beban pencemar yang dapat diterima oleh Sungai Widuri. Penelitian ini menunjukkan bahwa sungai Widuri masih mampu menampung beban pencemar. Menurut Hendrasarie dan Cahyarani (2008) alam sebenarnya memiliki kemampuan mengatasi masalah pencemaran yang terjadi, mekanisme ini disebut *self purification*. *Self Purification* adalah pemurnian diri; upaya pemurnian air dari zat pencemar yang terkandung di dalamnya oleh proses alamiah dengan bantuan proses reaerasi yang mempercepat proses pencampuran oksigen dalam

air. Menurut Brontowiyono et al (2010) pengelolaan sungai bisa dilakukan dengan melibatkan berbagai pihak terkait baik yang berasal dari pemerintahan, pihak swasta, perguruan tinggi, Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) serta pihak terkait lainnya

Tabel 2. Beban pencemar skenario dua

Segmen	TSS (Kg/hari)	BOD (Kg/hari)	COD (Kg/hari)
1	0,10368	0,006221	0,05184
2	0,17280	0,010368	0,08640
3	0	0	0
4	0,01296	0,000778	0,00648

Tabel 3. Beban pencemar skenario tiga

Segmen	TSS (Kg/hari)	BOD (Kg/hari)	COD (Kg/hari)
1	43632	2617,92	21816
2	2548,8	152,928	1273,3
3	0,63504	0,03810	0,31752
4	3326,4	100,584	1663,2

Tabel 4. Hasil perhitungan daya tampung beban pencemar

Segmen	TSS (Kg/hari)	BOD (Kg/hari)	COD (Kg/hari)
1	43631,896	2617,919	21816,948
2	2548,627	152,920	1274,314
3	0,635	0,040	0,318
4	3326,387	199,579	1663,194

4. KESIMPULAN

Kualitas air Sungai Widuri untuk parameter BOD dan COD masih melebihi baku mutu air kelas II berdasarkan Peraturan Gubernur DIY no. 20 tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di DIY. Nilai daya tampung parameter BOD pada segmen satu yaitu sebesar 2671,919 kg/hari, segmen dua sebesar 152,920 kg/hari, segmen tiga sebesar 0,040 kg/hari, segmen empat sebesar 199,579 kg/hari. Nilai daya tampung parameter COD pada segmen satu sebesar 21815,948 kg/hari, segmen dua sebesar 1274,314 kg/hari, segmen tiga sebesar 0,318 kg/hari, segmen empat sebesar 1663,194 kg/hari. Nilai daya tampung parameter TSS pada segmen satu yaitu sebesar 43631,896 kg/hari, segmen dua sebesar 2548,627 kg/hari, segmen tiga sebesar 0,635 kg/hari, segmen empat sebesar

3326,387 kg/hari. Secara garis besar nilai daya tampung pada semua parameter dan setiap segmen masih bernilai positif (+) yang menyatakan nilai daya tampung beban pencemar yang dapat diterima oleh Sungai Widuri.

DAFTAR PUSTAKA

- Brontowiyono, W., Kasam., Ribut, L., dan Agustina, I. (2013). Strategi Penurunan Pencemaran Limbah Domestik Sungai Code DIY. *Jurnal Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 5 (1): 36-47.
- Deksissa, T. (2004). Dynamic Integrated Modeling of Basic Water Quality and Fate and Effect of Organic contaminants in rivers. Thesis, Ghent University Belgium.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Hendrasarie, N dan Cahyarani. (2008). Kemampuan Self Purification Kali Surabaya, ditinjau dari Parameter Organik Berdasarkan Model Matematis Kualitas Air. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2 (1): 1-11.
- Irsanda, P. G. R. (2014). Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Pelayaran, Kabupaten Sidoarjo Dengan Metode QUAL2KW. *Jurnal Teknik POMITS*, 3 (1): 47-52.
- Marlina, N. (2015). Evaluasi Daya Tampung Terhadap Beban Pencemar Menggunakan Model Kualitas Air (Studi Kasus: Sungai Winongo). *Jurnal Inovasi dan Kewirausahaan*, 4(2): 78-86.
- Mahyudin, S dan Prayoho, T.B. (2015). Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Sungai Metro di Kota Kepajen Kabupaten Malang. *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari*, 6 (2): 105-114.
- Peraturan Gubernur DIY No. 20 tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 1 tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air.
- Prihartanto dan Budiman, E.B. (2007). Sistem Informasi Pemantauan Dinamika Sungai Siak. *Alami*, 12 (1): 52-60.
- Rusnugroho, A., dan Masduqi, A. (2012). Aplikasi QUAL2Kw sebagai Alat Bantu Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Madiun (Segmen Kota Madiun). *Scientific Conference of Environmental Technology IX-2012, Advances in Agricultural and Municipal Waste Technology to Anticipate Food and Energy Crisis*.

Wardhana, W.A. (2004). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Yuliasuti, E. (2011). Kajian Kualitas Air Sungai Ngringo Karanganyar dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. Tesis, Universitas Diponegoro.

Yogafanny, E. (2015). Pengaruh Aktifitas Warga di Sempadan Sungai terhadap Kualitas Air Sungai Winongo. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 7 (1): 41-50.

ESTIMASI EMISI GAS RUMAH KACA (GRK) KEGIATAN PENGELOLAAN SAMPAH DI KELURAHAN KARANG JOANG, BALIKPAPAN

Eka Masrifatus Anifah¹⁾, Intan Dwi Wahyu Setyo Rini¹⁾, Rachmat Hidayat¹⁾,
Muhammad Ridho¹⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan
Email : ekamasrifatus@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Kegiatan pengelolaan sampah di Kota Balikpapan pada saat ini yaitu pengangkutan dari sumber dan penimbunan di tempat pemrosesan akhir (TPA) Manggar. Pengangkutan sampah dari sumber dan penimbunan sampah di TPA menghasilkan gas rumah kaca seperti gas karbondioksida dan metana. Data timbulan dan komposisi yang digunakan dalam estimasi emisi gas rumah kaca didapatkan dengan sampling di kawasan permukiman Kelurahan Karang Joang, Balikpapan. Metode sampling timbulan dan komposisi dilakukan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-3964-1994. Estimasi emisi gas rumah kaca dihitung berdasarkan metode The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Tahun 2019 Tier 1. Rata-rata timbulan sampah perumahan di Kelurahan Karang Joang adalah 0,25 kg/orang/hari. Komposisi sampah didominasi sampah organik dan kertas dengan persentase rata-rata 49,09% dan 21,82%. Emisi total gas rumah kaca dari proses pengangkutan sampah adalah 460,11 kg ekuivalen CO₂/tahun/ton sampah. Emisi gas rumah kaca dari proses pemrosesan akhir sampah dihitung berdasarkan tiga skenario pengelolaan sampah yaitu penimbunan sampah di TPA, penimbunan dan pembakaran sampah secara terbuka, serta daur ulang dan pengomposan sampah. Proses pemrosesan akhir dengan cara penimbunan menghasilkan emisi gas rumah kaca 3237 kg ekuivalen CO₂ per ton sampah basah yang ditimbun. Proses penimbunan dan pembakaran sampah menghasilkan emisi 2433 kg ekuivalen CO₂ per ton sampah basah yang dibakar dan ditimbun. Untuk mengurangi jumlah emisi yang ditimbulkan dari proses pengangkutan dan penimbunan sampah di TPA, perhitungan emisi dengan skenario pengomposan sampah organik dan daur ulang sampah dilakukan. Proses pengomposan menghasilkan emisi 386 kg ekuivalen CO₂ per ton sampah. Skenario ketiga, proses pengomposan dan penimbunan sampah residu menghasilkan emisi gas rumah kaca sebesar 913 kg ekuivalen CO₂ per ton sampah. Proses daur ulang dan pengomposan sampah dapat menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 62,34% dari kondisi BAU.

Kata kunci: Emisi Gas Rumah Kaca, IPCC, Pemrosesan Akhir Sampah, Pengangkutan Sampah, Pengomposan

Abstract

Current waste management processes in Balikpapan city are waste collection from waste generation sources and waste disposal in Manggar landfill. Waste collection and disposal in landfill generates greenhouse gases such as carbon dioxide and methane. Data of waste generation and composition that were used in the estimation of greenhouse gases emission were collected with sampling in the residential area of Karang Joang, Balikpapan. Sampling of waste generation and composition was carried out based on Indonesia National Standard (SNI) SNI 19-3964-1994. The estimation of greenhouse emissions was calculated based on the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2019 Tier 1 method. Waste generation of the residential area of Karang Joang is 0,25 kg/capita/day. The composition of waste is dominated by organic and paper waste with average percentage of 49.09% and 21.82%, respectively. Greenhouse gas emission from waste collection was 460,11 equivalent CO₂/year/ton of collected waste. Greenhouse gas emission of landfilling was determined based on three scenarios of waste management, landfilling, open burning, and recycling with composting. The final disposal of waste by landfilling generates greenhouse gas emissions of 3237 kg equivalent CO₂ per tonne of dumped wet waste. Open burning of waste generates greenhouse gas emissions of 2433 kg equivalent CO₂ per tonne of openly burned wet waste. For reducing greenhouse gases emission from waste collection and landfilling, scenarios of organic waste composting and waste recycling were calculated. Composting produces greenhouse gas emissions of 386 kg equivalent CO₂ per tonne of waste. Composting with landfilling of residual waste produced 913 kg equivalent CO₂ per tonne of waste. Recycling and composting can reduce greenhouse gas emissions by 62,34% from Business As Usual (BAU) condition.

Keywords: Composting, Greenhouse Gases Emission, IPCC, Waste Collection, Waste Disposal

Dikirim/submitted: 19 Oktober 2020

Diterima/accepted: 10 Januari 2021

1. PENDAHULUAN

Peningkatan gas rumah kaca (GRK) merupakan salah satu pemicu terjadinya peningkatan temperatur bumi yang menyebabkan terjadinya pemanasan global. Salah satu sumber penghasil gas rumah kaca adalah kegiatan pengelolaan sampah yang menyumbang sebesar 4% emisi gas rumah kaca yang ada di bumi (Vergara and Tchobanoglous, 2012). Sumber terbesar emisi gas rumah kaca dari kegiatan pengelolaan sampah berasal dari proses pengangkutan sampah dari sumber ke tempat penimbunan dan penimbunan sampah di TPA.

Proses pengangkutan sampah dari sumber ke TPS atau dari TPS ke TPA pada umumnya menggunakan kendaraan pengangkut *pick-up* atau truk. Kendaraan bermotor pengangkut sampah menggunakan bahan bakar fosil dalam operasionalnya. Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan gas karbondioksida (CO₂) yang merupakan salah satu gas rumah kaca. Estimasi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pengangkutan sampah adalah 9.4 – 368 kg CO₂ ekuivalen (CO₂-eq) per ton sampah yang diangkut (Eisted *et al.*, 2009). Besarnya emisi CO₂ dari kegiatan pengangkutan sampah bergantung pada metode, jarak pengangkutan, jenis, kapasitas kendaraan pengangkutan, dan jumlah bahan bakar yang digunakan (Chaerul *et al.*, 2020).

Metode pemrosesan akhir sampah yang umum dilakukan di Indonesia adalah penimbunan sampah di TPA. Pada kondisi anaerobik, timbunan sampah menghasilkan gas metana (CH₄) yang merupakan salah satu gas rumah kaca. Sampah organik merupakan penghasil emisi gas metana terbesar pada proses penimbunan sampah di TPA. Sampah organik memiliki faktor emisi CH₄ sebesar 0,42-0,47 kg CH₄ per berat sampah organik yang ditimbun (Kustiasih *et al.*, 2014). Gas metana mempunyai *global warming potential* (GWP) sebesar 34 kali lebih besar dibandingkan gas karbondioksida (Myhre *et al.*, 2013).

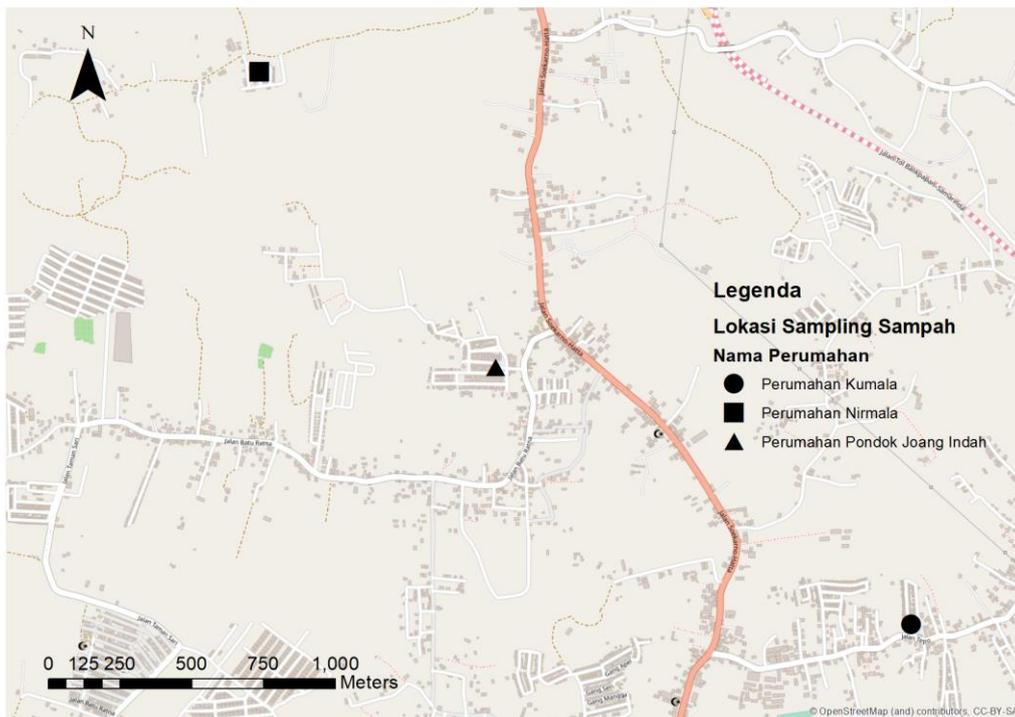
Kota Balikpapan adalah salah satu kota dengan kepadatan penduduk tinggi di provinsi Kalimantan timur. Kota Balikpapan memiliki penduduk 645.727 jiwa yang setiap harinya menghasilkan sampah (Badan Pusat Statistik Kota Balikpapan, 2019). Pada periode tahun 2017-2018, kota Balikpapan menghasilkan sampah sebesar 457,93 ton/hari. Permukiman menyumbang sampah sebesar 70,30% dari total sampah kota Balikpapan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020). Pada umumnya, sampah yang dihasilkan di sumber dikumpulkan di Tempat pembuangan Sementara (TPS). Dari TPS yang tersebar di Kota Balikpapan, sampah diangkut ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Manggar untuk dilakukan pemrosesan akhir.

Timbulan sampah yang dihasilkan Kota Balikpapan akan diangkut dan ditimbun di TPA Manggar yang memiliki luas area penimbunan 10 Ha sampai penutupan. Pertumbuhan jumlah timbulan sampah yang terus meningkat menyebabkan sel penimbunan semakin sedikit. Di sisi lain, penimbunan sampah menghasilkan gas metana yang merupakan salah satu penyebab pemanasan global. Praktik pembakaran sampah terbuka oleh masyarakat masih banyak ditemukan di Kota Balikpapan. Berdasarkan hasil korespondensi, 50% responden penduduk di Kelurahan Karang Joang melakukan pemrosesan akhir sampah dengan cara membakar karena kurang efektifnya pengangkutan sampah ke TPA (Rachman and Matsumoto, 2015). Kota Balikpapan memiliki satu Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) di Kelurahan Gunung Bahagia dengan *recovery factor* untuk sampah kertas, plastik, logam dan kaca sebesar 84% (Cahya and Pandebesie, 2017). Komposisi sampah organik yang tinggi menyebabkan TPST belum optimal untuk mereduksi sampah yang masuk ke TPA. Proses pengomposan diperlukan untuk mereduksi sampah organik yang dihasilkan permukiman. Tiga skenario pemrosesan akhir sampah yaitu penimbunan sampah di TPA, pembakaran sampah secara terbuka dan proses pengomposan disimulasikan untuk mengestimasi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data dalam penelitian ini didapatkan dengan cara melakukan kegiatan observasi langsung ke lapangan. Lokasi *sampling* data merupakan daerah permukiman di Kelurahan Karang Joang, Balikpapan. Peta lokasi *sampling* ditunjukkan pada Gambar 1. Perumahan Nirmala, Pondok Joang Indah, dan Kumala dipilih sebagai lokasi *sampling* mewakili jenis perumahan menengah dan menengah atas. Data jumlah bahan bakar, rute dan jarak pengangkutan didapatkan dengan cara *routing* rute pengangkutan dan wawancara kepada petugas pengangkut sampah di lokasi *sampling*. Data jumlah timbulan dan komposisi sampah didapatkan dengan cara melakukan pengukuran secara langsung.

Metode pengukuran timbulan dan komposisi sampah berdasarkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-3964-1994 (Badan Standarisasi Nasional, 1994). Pengambilan contoh sampel sampah dilakukan selama 8 hari berturut-turut pada tiga lokasi *sampling*. Untuk mengukur timbulan sampah, sampah yang terkumpul diukur berat dan volume menggunakan wadah pengukur dengan volume 40 liter. Setelah dilakukan pengukuran berat dan volume, sampah dipisahkan berdasarkan komponen komposisi sampah. Perhitungan timbulan dan komposisi sampah berdasarkan timbulan sampah rata-rata perumahan di lokasi *sampling*.



Gambar 1. Lokasi *sampling* sampah di Kelurahan Karang Joang, Balikpapan

Estimasi potensi emisi gas karbondioksida (CO_2) hasil pembakaran bahan bakar fosil bergantung pada banyak dan jenis bahan bakar yang dikonsumsi. Estimasi emisi dihitung berdasarkan metode *tier-1* dengan angka *default* faktor emisi. Metode *tier-1* digunakan karena belum tersedianya data faktor emisi di wilayah studi. Persamaan 1 umum digunakan untuk estimasi emisi CO_2 dari pembakaran bahan bakar.

$$\text{Emisi CO}_2/\text{CH}_4/\text{N}_2\text{O} = \sum_a (\text{Fuel}_a \times \text{EF}_a) \quad (1)$$

(IPCC, 2019)

Emisi = emisi $\text{CO}_2/\text{CH}_4/\text{N}_2\text{O}$ dari pembakaran bahan bakar

Fuel_a = bahan bakar yang dikonsumsi (TJ)

EF_a = faktor emisi (kg/TJ)

a = jenis bahan bakar yang dikonsumsi

Gas metana (CH_4) yang dihasilkan dari proses penimbunan sampah permukiman dihitung berdasarkan jumlah dan komposisi sampah yang dibuang atau ditimbun ke dalam TPA. Estimasi potensi gas metana (CH_4) yang dihasilkan dari proses penimbunan sampah dapat diperkirakan menggunakan persamaan 2 dan persamaan 3.

$$L_o = \text{DDOC}_m \cdot F \cdot \frac{16}{12} \quad (1)$$

(IPCC, 2019)

L_o = potensi gas CH_4 yang dihasilkan (Gg CH_4)

$DDOC_m$ = massa karbon organik yang terdegradasi dan terdekomposisi (kg)

F = fraksi gas CH_4 dari gas landfill yang dihasilkan.

$16/12$ = ratio berat molekul CH_4/C

$$DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF \quad (2)$$

(IPCC, 2019)

$DDOC_m$ = karbon organik yang terdegradasi dan terdekomposisi (kg)

W = massa sampah basah yang dibuang (kg)

DOC = fraksi karbon organik yang terdegradasi

DOC_f = fraksi karbon organik yang terdekomposisi

MCF = faktor koreksi CH_4 pada dekomposisi aerobik

Emisi gas rumah kaca dari pembakaran sampah secara terbuka dihitung berdasarkan perkiraan kandungan karbon dalam sampah yang dibakar dikalikan dengan faktor oksidasi dan fraksi karbon fosil yang dioksidasi. Data aktivitas pembakaran terbuka adalah jumlah dan komposisi sampah yang dibakar secara terbuka. Data kandungan berat kering, kandungan jumlah karbon, fraksi karbon fosil dan faktor oksidasi yang digunakan dalam perhitungan adalah nilai *default tier 1*. Persamaan 4 menunjukkan emisi gas CO_2 yang dihasilkan dari pembakaran terbuka sampah adalah,

$$\text{Emisi} = \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times \frac{44}{12} \quad (3)$$

(IPCC, 2019),

emisi = emisi CO_2 dalam tahun inventori (Gg/tahun)

SW_i = jumlah sampah yang dihasilkan dalam tahun inventori (Gg/tahun)

dm_i = fraksi berat kering dari jumlah sampah yang dihasilkan

CF_i = fraksi total karbon di dalam berat kering sampah

FCF_i = fraksi karbon fosil di dalam total karbon

OF_i = faktor oksidasi

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

Emisi CH_4 dari pembakaran terbuka adalah hasil dari pembakaran tidak sempurna sampah. Gas CH_4 terbentuk karena terdapat karbon di dalam sampah yang tidak teroksidasi. Perhitungan emisi CH_4 dihitung berdasarkan persamaan 5.

$$\text{Emisi } CH_4 = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \quad (4)$$

(IPCC, 2019)

emisi = emisi gas CH₄ yang dihasilkan dari pembakaran terbuka (Gg/tahun)

IW_i = jumlah sampah yang dibakar secara terbuka (Gg/tahun)

EF_i = faktor emisi CH₄ (kg CH₄/Gg sampah)

10⁻⁶ = faktor konversi dari giga gram ke kilogram

Pengomposan merupakan salah satu proses biologis pengolahan sampah organik. Emisi gas CH₄ dari proses pengomposan dihitung berdasarkan persamaan 6.

$$\text{Emisi CH}_4/\text{N}_2\text{O} = (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R \quad (5)$$

(IPCC, 2019),

Emisi = total gas CH₄ atau N₂O yang dihasilkan dari proses pengomposan (Gg)

M_i = jumlah sampah yang dikomposkan (Gg)

EF_i = faktor emisi CH₄/N₂O (kg CH₄/Gg sampah)

R = total emisi yang *recovery* (Gg)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Timbulan Dan Komposisi Sampah

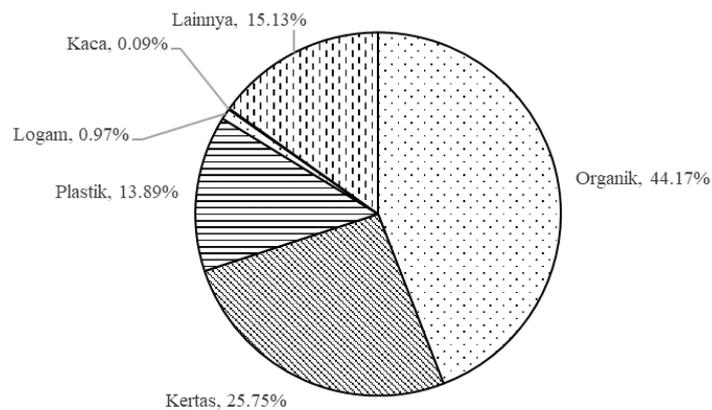
Data timbulan dan komposisi sampah merupakan data awal yang digunakan dalam mengestimasi gas rumah kaca dari kegiatan pengelolaan sampah. Timbulan sampah pada lokasi penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1. Perumahan Nirmala yang merupakan perumahan kategori menengah atas menghasilkan sampah 0,33 kg/orang/hari. Nilai ini adalah nilai tertinggi jika dibandingkan dengan perumahan lainnya yang termasuk kategori perumahan menengah. Timbulan sampah untuk kategori perumahan menengah adalah 0,22 dan 0,21 kg/orang/hari. Nilai timbulan ini hampir sama dengan penelitian timbulan sampah permukiman perumahan di Surabaya yaitu 0,27 kg/orang/hari (Ratya and Herumurti, 2017).

Tabel 1. Timbulan sampah permukiman di Kelurahan Karang Joang, Balikpapan

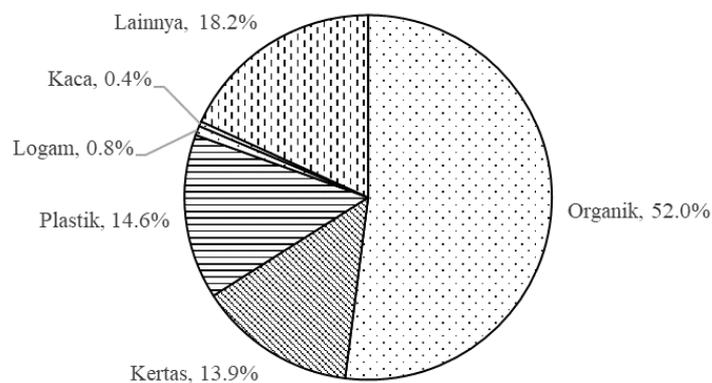
Perumahan	Timbulan (kg/orang/hari)	Timbulan (L/orang/hari)	Jumlah sampah (ton/tahun)
Nirmala	0,33	4,42	9,067
Pondok Joang Indah	0,22	2,12	17,685
Kumala	0,21	3,13	5,421

Data komposisi sampah sangat diperlukan untuk mengetahui potensi gas rumah kaca yang dihasilkan dari kegiatan pemrosesan akhir sampah. Data komposisi sampah juga diperlukan untuk menganalisis pemilihan metode pemrosesan akhir sampah yang tepat agar tidak

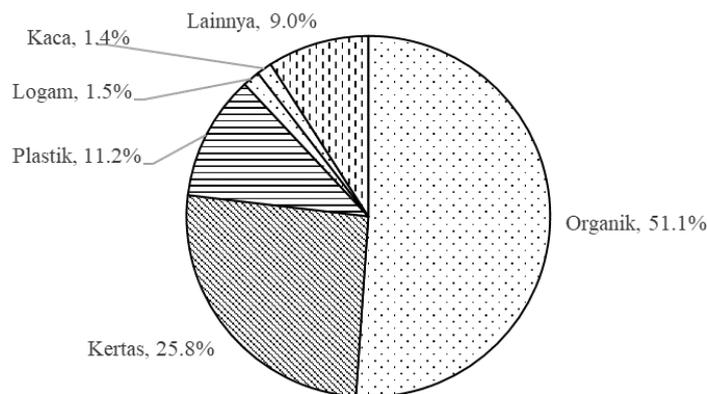
menghasilkan emisi gas rumah kaca yang tinggi. Komposisi sampah untuk perumahan Nirmala, Pondok Joang Indah dan Kumala ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4 secara berurutan. Dari tiga perumahan lokasi *sampling* dapat diketahui bahwa komposisi terbesar sampah adalah sampah organik. Komposisi sampah organik tertinggi berasal dari perumahan kategori menengah yaitu perumahan Pondok Joang Indah dan Kumala dengan persentase 52,0% dan 51,1%. Perumahan Nirmala yang termasuk perumahan kelas menengah atas menghasilkan sampah organik sebesar 44,4%. Sampah organik rumah tangga ini didominasi dari sampah sisa sayuran dan sisa makanan. Komposisi terbesar tipikal sampah Indonesia adalah sampah organik yang memerlukan kecepatan dalam pengelolaan karena mudah membusuk (Damanhuri, 2010).



Gambar 2. Komposisi sampah perumahan Nirmala



Gambar 3. Komposisi sampah perumahan Pondok Joang Indah



Gambar 4. Komposisi sampah perumahan Kumala

3.2 Emisi Pengangkutan Sampah

Emisi gas rumah kaca dari kegiatan pengangkutan sampah perumahan di Kelurahan Karang Joang ditunjukkan pada Tabel 2. Jarak pengangkutan di perumahan Nirmala merupakan jarak terjauh tetapi bahan bakar yang dibutuhkan cukup kecil yaitu 0,40 liter pertalite/hari.

Perumahan Nirmala menggunakan dua jenis kendaraan yaitu gerobak dan sepeda motor untuk mengangkut sampah ke TPS. Pengangkutan sampah dari rumah ke rumah menggunakan gerobak dorong, apabila sampah sudah terkumpul diangkut menggunakan sepeda motor ke TPS. Perumahan Pondok Joang Indah membutuhkan bahan bakar jenis pertalite sebanyak 4,06 L/hari. Penggunaan bahan bakar yang tinggi disebabkan oleh kendaraan pengangkut sampah adalah *pick up* dengan kondisi kurang pemeliharaan rutin dan umur kendaraan yang sudah lama. Kendaraan yang kurang mendapatkan perawatan akan menghasilkan emisi gas buang termasuk gas karbondioksida yang tinggi (Kusumawati *et al.*, 2013) Perumahan Kumala menggunakan sepeda motor untuk mengangkut sampah ke TPS dan memiliki jarak pengangkutan ke TPS 1311 km/hari.

Emisi gas rumah kaca dihitung berdasarkan jumlah bahan bakar. Jenis bahan bakar yang digunakan di tiga lokasi *sampling* adalah pertalite. Nilai kalor yang digunakan dalam perhitungan adalah nilai *default* kalor bensin 33×10^{-6} TJ/liter (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan beberapa macam gas yang didominasi gas karbondioksida. Faktor emisi *default* untuk gas CO₂ dari proses pembakaran premium atau pertamax adalah 69.300 kg/TJ bahan bakar (IPCC, 2019). Nilai ini dapat digunakan untuk mengestimasi emisi gas karbondioksida, karena perbedaan persentase

volume gas buang yang dihasilkan dari pembakaran berbagai jenis bahan bakar adalah 1%. Persentase volume gas karbondioksida yang dihasilkan dari pembakaran premium, pertalite, dan pertamax adalah 7%, 6%, dan 5% secara berturut-turut (Ningrat *et al.*, 2016).

Emisi gas rumah kaca dari kegiatan pengangkutan sampah di Perumahan Pondok Joang Indah adalah 285,16 kg ekuivalen CO₂/tahun/ton sampah yang diangkut. Emisi yang tinggi disebabkan kendaraan yang sudah tidak layak dipakai dan kurang perawatan. Emisi terendah dihasilkan oleh kegiatan pengangkutan sampah di perumahan Nirmala. Penggunaan kendaraan yang tidak membutuhkan bahan bakar dapat menurunkan emisi yang dihasilkan per ton sampah yang diangkut. Namun, diperlukan pembiayaan tenaga kerja untuk mengangkut sampah dari sumber penghasil sampah ke TPS

Tabel 2. Emisi gas rumah kaca dari kegiatan pengangkutan sampah permukiman Karang Joang, Balikpapan

Jenis Perumahan	Jarak Pengangkutan (km/hari)	Konsumsi bahan bakar (L/hari)	eq CO ₂ (kg/tahun)	eq CO ₂ (kg/tahun/ton sampah)
Nirmala	2092	4,06	343,89	19,44
Pondok Joang Indah	2544	0,40	3492,61	385,16
Kumala	1311	0,35	300,90	55,51

3.3 Emisi Pemrosesan Akhir Sampah

Skenario pertama yang akan digunakan untuk mengestimasi jumlah gas rumah kaca adalah semua sampah yang telah diangkut kemudian akan ditimbun di tempat pemrosesan akhir sampah. Selama proses penimbunan sampah, kondisi anaerobik pada tempat penimbunan menyebabkan terbentuk gas metana. Estimasi jumlah pembentukan gas metana dalam proses penimbunan ditentukan berdasarkan data faktor emisi gas rumah kaca. Nilai DOC *default* untuk sampah organik dan sampah kertas yang digunakan dalam estimasi emisi gas rumah kaca adalah 0,15 dan 0,4 dari berat sampah basah. Nilai DOCf *default* untuk sampah organik dan sampah kertas adalah 0,7 dan 0,5. Faktor koreksi metana (MCF) yang digunakan pada perhitungan emisi gas metana adalah 0,5 (IPCC, 2019). Nilai MCF digunakan dalam estimasi berdasarkan TPA Manggar Balikpapan yaitu proses penimbunan terkelola dengan baik dengan kondisi semi aerobik. Metode penimbunan TPA Manggar adalah *sanitary landfill* dengan tanah penutup yang dilengkapi dengan sistem pengendali gas, saluran lindi dan instalasi pengolahan air lindi (Purwaningrum *et al.*, 2014). Fraksi gas CH₄ dari gas landfill yang digunakan dalam estimasi adalah 50% (IPCC, 2019).

Emisi gas metana yang ditimbulkan dari proses penimbunan sampah di lokasi *sampling* dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 3. Emisi gas rumah kaca dari kegiatan penimbunan sampah permukiman Perumahan Nirmala

Jenis Sampah	Jumlah Sampah (kg/tahun)	DOC*	DOCf*	MCF*	DDOCm (kg/tahun)	F*	CH ₄ (kg/tahun)	eq CO ₂ (kg/tahun)
Organik	7811,47	0,15	0,70	0,50	410,10	0,50	273,40	9295,65
Kertas	4553,41	0,40	0,50	0,50	455,34	0,50	303,56	10321,07
Plastik	2456,93	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Logam	171,72	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Kaca	15,59	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Lainnya	2676,66	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Total	17685,77						576,96	19616,71

*(IPCC, 2019)

Tabel 4. Emisi gas rumah kaca dari kegiatan penimbunan sampah permukiman Perumahan Pondok Joang Indah

Jenis Sampah	Jumlah Sampah (kg/tahun)	DOC*	DOCf*	MCF*	DDOCm (kg/tahun)	F	CH ₄ (kg/tahun)	eq CO ₂ (kg/tahun)
Organik	4715,81	0,15	0,70	0,50	247,58	0,50	165,05	5611,81
Kertas	1263,83	0,40	0,50	0,50	126,38	0,50	84,26	2864,67
Plastik	1326,12	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Logam	76,13	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Kaca	39,18	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Lainnya	1646,83	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Total	9067,89						249,31	8476,49

*(IPCC, 2019)

Tabel 5. Emisi gas rumah kaca dari kegiatan penimbunan sampah permukiman Perumahan Kumala

Jenis Sampah	Jumlah Sampah (kg/tahun)	DOC*	DOCf*	MCF*	DDOCm (kg/tahun)	F*	CH ₄ (kg/tahun)	eq CO ₂ (kg/tahun)
Organik	2769,84	0,15	0,70	0,50	145,42	0,50	96,94	3296,11
Kertas	1398,12	0,40	0,50	0,50	139,81	0,50	93,21	3169,07
Plastik	607,48	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Logam	82,35	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Kaca	73,63	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Lainnya	489,58	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Total	5421,01						190,15	6465,19

*(IPCC, 2019)

Penimbunan sampah dari perumahan Nirmala menghasilkan emisi gas metana tertinggi yaitu 576,96 kg CH₄/tahun atau 19616,71 kg ekuivalen CO₂ per tahun karena jumlah timbulan sampah yang dihasilkan tinggi. Dari Tabel 3, 4, dan 5 dapat diestimasi bahwa Perumahan Nirmala, Pondok Joang Indah dan Kumala menghasilkan emisi gas rumah kaca sebesar 1109, 935, dan 1193 ekuivalen CO₂/ton sampah yang ditimbun di TPA. Emisi gas rumah kaca per ton sampah yang ditimbun tinggi di perumahan Kumala disebabkan oleh komposisi sampah organik dan kertas yang mencapai 76%. Nilai ini lebih tinggi jika dibandingkan komposisi sampah organik dan kertas perumahan Nirmala serta Pondok Joang Indah.

Proses pembakaran sampah secara terbuka oleh masyarakat masih banyak ditemukan. Pembakaran terbuka sampah permukiman masih dilakukan karena biaya yang cukup murah dan tidak membutuhkan waktu yang lama untuk memusnahkan sampah. Pembakaran secara terbuka adalah proses membakar sampah di ruang terbuka dengan kondisi proses rendah oksigen serta tanpa kontrol gas dan partikulat yang dihasilkan. Proses pembakaran tanpa pengendalian emisi menyebabkan gas dan partikulat langsung diemisikan ke udara ambien. Proses pembakaran sampah secara terbuka menghasilkan gas-gas seperti gas karbondioksida, metana, karbonmonoksida. Potensi emisi gas metana dan gas karbondioksida dari proses pembakaran sampah global adalah 4,5% dan 1% (Wiedinmyer *et al.*, 2014). Selain gas rumah kaca, pembakaran sampah secara terbuka menghasilkan partikulat dan senyawa-senyawa yang berbahaya bagi kesehatan yaitu *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs)*, *Polychlorinated Biphenyls (PCB)*, *Polychlorinated Dibenzodioxins (PCDD)*, *Polychlorinated Dibenzofuran (PCDF)* dan benzena (Cogut, 2016). Paparan jangka pendek senyawa-senyawa tersebut dapat menyebabkan gangguan pernafasan dan penyakit kulit.

Skenario kedua dalam pemrosesan akhir sampah adalah pembakaran sampah. Asumsi sampah yang dibakar sebesar 50%. Jumlah sampah yang masuk ke TPA Manggar pada Tahun 2017 sekitar 128,94 ton (Banaget *et al.*, 2020). Persentase nilai ini lebih rendah dari 50% total timbulan sampah Kota Balikpapan pada periode Tahun 2017-2018. Emisi gas rumah kaca yang ditimbulkan jika sampah permukiman dibakar secara terbuka ditunjukkan pada Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8. Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa gas karbondioksida merupakan emisi terbesar dibandingkan gas CH₄ dan N₂O. Perumahan Nirmala menghasilkan emisi ekuivalen CO₂ paling tinggi karena jumlah sampah yang dihasilkan paling besar. Kandungan karbon fosil yang tinggi yaitu 75% pada sampah plastik menyebabkan sampah plastik menjadi penyumbang tertinggi gas karbondioksida pada proses pembakaran terbuka.

Tabel 6. Emisi gas rumah kaca dari kegiatan pembakaran sampah permukiman Perumahan Nirmala

Jenis Sampah	Jumlah Sampah (kg/tahun)	dm*	CF*	FCF*	OF*	CO ₂ (kg/tahun)	CH ₄ (kg/tahun)	N ₂ O (kg/tahun)	Total eq CO ₂ (kg/tahun)
Organik	3905,73	0,40	0,38	0,00	0,71	0,00	25,39	0,59	1037,75
Kertas	2276,71	0,90	0,46	0,01	0,71	24,54	14,80	0,34	629,46
Plastik	1228,46	1,00	0,75	1,00	0,71	2398,57	7,99	0,18	2724,98
Logam	85,86	1,00	0,00	0,00	0,71	0,00	0,56	0,01	22,81
Kaca	7,79	1,00	0,00	0,00	0,71	0,00	0,05	0,00	2,07
Lainnya	1338,33	0,90	0,03	1,00	0,71	94,07	8,70	0,20	449,67
Total	8842,89					2517,18	57,48	1,33	4866,74

*(IPCC, 2019)

Tabel 7. Emisi gas rumah kaca dari kegiatan pembakaran sampah permukiman Perumahan Pondok Joang Indah

Jenis Sampah	Jumlah Sampah (kg/tahun)	dm*	CF*	FCF*	OF*	CO ₂ (kg/tahun)	CH ₄ (kg/tahun)	N ₂ O (kg/tahun)	Total eq CO ₂ (kg/tahun)
Organik	2357,91	0,40	0,38	0,00	0,71	0,00	15,33	0,35	626,50
Kertas	631,91	0,90	0,46	0,01	0,71	6,81	4,11	0,09	174,71
Plastik	663,06	1,00	0,75	1,00	0,71	1294,62	4,31	0,10	1470,80
Logam	38,06	1,00	0,00	0,00	0,71	0,00	0,25	0,01	10,11
Kaca	19,59	1,00	0,00	0,00	0,71	0,00	0,13	0,00	5,20
Lainnya	823,42	0,90	0,03	1,00	0,71	57,88	5,35	0,12	276,66
Total	4533,94					1359,31	29,47	0,68	2563,98

*(IPCC, 2019)

Tabel 8. Emisi gas rumah kaca dari kegiatan pembakaran sampah permukiman Perumahan Kumala

Jenis Sampah	Jumlah Sampah (kg/tahun)	dm*	CF*	FCF*	OF*	CO ₂ (kg/tahun)	CH ₄ (kg/tahun)	N ₂ O (kg/tahun)	Total eq CO ₂ (kg/tahun)
Organik	1384,92	0,40	0,38	0,00	0,71	0,00	9,00	0,21	367,97
Kertas	699,06	0,90	0,46	0,01	0,71	7,53	4,54	0,10	193,27
Plastik	303,74	1,00	0,75	1,00	0,71	593,06	1,97	0,05	673,76
Logam	41,17	1,00	0,00	0,00	0,71	0,00	0,27	0,01	10,94
Kaca	36,82	1,00	0,00	0,00	0,71	0,00	0,24	0,01	9,78
Lainnya	244,79	0,90	0,03	1,00	0,71	17,21	1,59	0,04	82,25
Total	2710,51					617,80	17,62	0,41	1337,98

*(IPCC, 2019)

Komposisi sampah organik, kertas dan plastic yang tinggi sangat dimungkinkan untuk melakukan daur ulang serta pengomposan di sumber penghasil sampah. Proses daur ulang yang dilakukan di sumber dapat mengurangi emisi dari proses pengangkutan sampah ke TPA dan penimbunan di TPA. Proses pengomposan menghasilkan emisi gas metana dengan faktor emisi

4 kg CH₄/kg dan 0,3 kg N₂O/kg sampah organik yang dikomposkan. Faktor emisi yang cukup kecil menyebabkan jumlah emisi gas metana yang dihasilkan lebih kecil jika dibandingkan dengan penimbunan sampah organik di TPA. Skenario ketiga adalah proses pengomposan sampah organik dan daur ulang sampah kertas, plastik serta logam dengan faktor reduksi masing-masing 80%. Sampah residu yang dihasilkan dari proses daur ulang dan pengomposan akan ditimbun di TPA. Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan jika sampah organik dikomposkan ditunjukkan pada Tabel 9. Jumlah sampah yang dikomposkan adalah 3125, 1886, dan 1385 kg sampah organik untuk Perumahan Nirmala, Pondok Joang Indah, dan Kumala. Emisi tertinggi gas rumah kaca per ton sampah pada proses pengomposan adalah Perumahan Pondok Joang Indah dan Perumahan Kumala dikarenakan komposisi sampah organik yang tinggi jika dibandingkan dengan Perumahan Nirmala. Emisi gas rumah kaca ini cukup kecil jika dibandingkan pemrosesan akhir sampah organik dengan cara penimbunan di TPA atau pembakaran terbuka.

Tabel 9. Emisi gas rumah kaca dari kegiatan pengomposan dan daur ulang sampah permukiman

Perumahan	CH ₄ (kg/tahun)	N ₂ O (kg/tahun)	eq CO ₂ (kg/tahun)	eq CO ₂ (kg/tahun/ton sampah)
Nirmala	25,00	1,87	1408,56	79,64
Pondok Joang Indah	15,09	1,13	850,35	93,78
Kumala	8,86	0,66	499,46	92,13

Tabel 10 menunjukkan total emisi gas rumah kaca dari pemrosesan akhir sampah skenario ketiga.

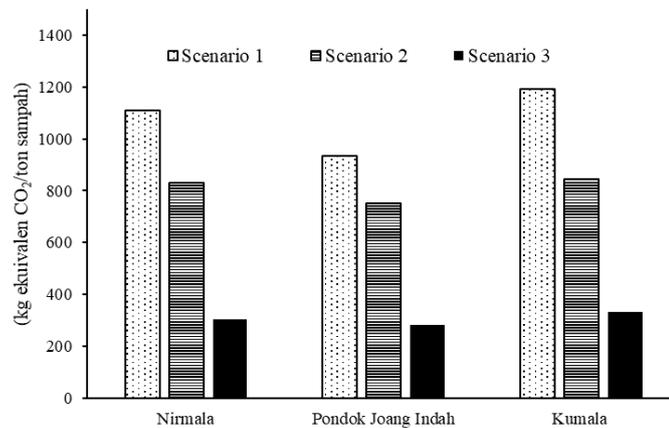
Tabel 10. Emisi gas rumah kaca dari pemrosesan akhir skenario daur ulang dan pengomposan

Jenis Perumahan	Pengomposan	Penimbunan Residu	Total eq CO ₂ (kg/tahun)	eq CO ₂ (kg/tahun/ton sampah)
	eq CO ₂ (kg/tahun)	eq CO ₂ (kg/tahun)		
Nirmala	1408,56	3923,34	5331,91	301,48
Pondok Joang Indah	850,35	1695,30	2545,65	280,73
Kumala	499,46	1293,04	1792,49	330,66

Skenario ketiga menghasilkan emisi gas rumah kaca yang paling rendah jika dibandingkan pemrosesan akhir sampah pada skenario pertama dan kedua. Jumlah emisi yang dihasilkan dari penimbunan residu sampah di TPA masih lebih tinggi dibandingkan proses pengomposan. Pada

pengomposan terjadi proses degradasi material organik seperti penimbunan sampah di TPA tetapi dalam kondisi aerobik. Gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses dekomposisi material organik cenderung lebih tinggi untuk proses penimbunan dibanding pengomposan (Lou dan Nair, 2009). Selain itu proses pengomposan menghasilkan produk yang ekonomis dan efisien secara ekologis serta dapat membangun sistem pengelolaan sampah dengan siklus tertutup (Zeman *et al.*, 2002). Produk kompos yang dihasilkan akan digunakan untuk menanam tumbuhan dan nantinya yang akan menjadi sampah organik.

Estimasi emisi ekuivalen CO₂ per ton sampah basah dengan tiga skenario pemrosesan akhir yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Emisi ekuivalen CO₂ per ton sampah basah dengan proses pemrosesan akhir sampah yang berbeda

Grafik tersebut menunjukkan proses penimbunan sampah di TPA menghasilkan emisi gas rumah kaca yang paling tinggi. Estimasi emisi yang paling tinggi dihasilkan dari sampah yang berasal dari perumahan Nirmala dan Kumala. Emisi ekuivalen CO₂ yang dihasilkan adalah 1192,62 kg/ton dan 1109,18 kg/ton sampah basah. Proses daur ulang dan pengomposan sampah dapat mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses penimbunan sampah di TPA. Penurunan emisi gas rumah kaca yang cukup signifikan dari penimbunan sampah di TPA terjadi jika proses daur ulang diterapkan pada pemrosesan akhir sampah. Hal ini disebabkan persentase sampah organik dan kertas yang tinggi. Jika persentase reduksi sampah yang didaur ulang lebih tinggi, maka emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses penimbunan sampah akan menurun. Upaya perubahan pengelolaan sampah dari proses penimbunan di TPA ke proses daur ulang bertujuan untuk mencegah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses

penimbunan (De La Barrera dan Hooda, 2016). Kondisi *Business as Usual* (BAU) terdapat pada skenario kedua, di mana 50% sampah ditimbun di TPA dan 50% sampah dibakar secara terbuka. Penurunan emisi gas rumah kaca tiga permukiman dari kondisi BAU adalah 63,67%; 62,67%; dan 60,78%.

4. KESIMPULAN

Emisi gas rumah kaca dari kegiatan pengangkutan sampah dari sumber ke TPS bergantung pada jenis kendaraan yang digunakan, kondisi kendaraan, dan jumlah bahan bakar yang digunakan. Emisi gas rumah kaca dari proses penimbunan sampah di TPA ditentukan jumlah dan komposisi sampah yang ditimbun. Sampah organik dan kertas merupakan penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca dari proses penimbunan. Jumlah emisi gas kg ekuivalen CO₂/tahun/ton sampah yang dihasilkan dari ketiga skenario adalah 3237, 2423, dan 913 kg/tahun/ton. Untuk mengurangi jumlah emisi gas rumah kaca dari kegiatan penimbunan sampah dan pembakaran sampah secara terbuka, proses daur ulang dan pengomposan perlu dilakukan. Proses daur ulang dan pengomposan sampah dapat menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 62,34% dari kondisi BAU.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Institut Teknologi Kalimantan (LPPM ITK) yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kota Balikpapan. (2019). *Balikpapan dalam Angka 2019*. Balikpapan : Badan Pusat Statistik Kota Balikpapan.
- Badan Standarisasi Nasional. (1994). *Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Banaget, C. K., Frick, B., and Saud, M. (2020). Analysis of Electricity Generation from Landfill Gas (Case Study: Manggar Landfill, Balikpapan). *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*, 448, 12003.
- Cahya, W. I., and Pandebesie, E. S. (2017). Kajian Aspek Teknis dan Finansial Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Gunung Bahagia, Kota Balikpapan. *Jurnal Teknik ITS*, 6 (2).
- Chaerul, M., Febrianto, A., dan Tomo, H. S. (2020). Peningkatan Kualitas Penghitungan Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Pengelolaan Sampah dengan Metode IPCC 2006 (Studi

- Kasus: Kota Cilacap). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18 (1) : 153 - 161.
- Cogut, A. (2016). Open Burning of Waste: A Global Health Disaster. *R10 Regions of Climate Action*, Switzerland.
- Damanhuri. (2010). *Diktat kuliah TL-3104 Pengelolaan Sampah*. Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
- De La Barrera, B., and Hooda, P. S. (2016). Greenhouse Gas Emissions of Waste Management Processes and Options: A Case Study. *Waste Management and Research*, 34(7) : 658–665.
- Eisted, R., Larsen, A. W., and Christensen, T. H. (2009). Collection, Transfer and Transport of Waste: Accounting of Greenhouse Gases and Global Warming Contribution. *Waste Management and Research*, 27(8) : 738–745.
- IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. The 49th session of the IPCC Report, The Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). *Pedoman penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca nasional*. Jakarta : Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*. Jakarta : Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia.
- Kustiasih, T., Setyawati, L. M., Anggraeni, F., Darwati, S., and Aryenti, A. (2014). Faktor Penentu Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan. *Jurnal Permukiman*, 9(2) : 78–90.
- Kusumawati, P. S., Tang, U. M., and Nurhidayah, T. (2013). Hubungan Jumlah Kendaraan Bermotor, Odometer Kendaraan dan Tahun Pembuatan Kendaraan dengan Emisi CO₂ di Kota Pekanbaru. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 7(1) : 49–59.
- Lou, X. F., and Nair, J. (2009). The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions - A review. *Bioresource Technology*, 100 (16) : 3792 - 3798.
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., and Zhang, H. (2013). *Anthropogenic and natural radiative forcing*, In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Ningrat, A. A. W. K., Kusuma, I. G. B. W., dan Wayan, I. (2016). Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Pertalite Terhadap Akselerasi Dan Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor

- Bertransmisi Otomatis. *Jurnal Mettek*, 2(1) : 59 - 67.
- Purwaningrum, P., Pratama, I., dan Handoko, W. (2014). Desain Pengembangan *Landfill* Zona 3 , Studi Kasus *Landfill* Manggar Balikpapan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 5(5) : 159 - 166.
- Rachman, I., and Matsumoto, T. (2015). Study On Environmental Consciousness And Waste And Wastewater Management Of Household In Rural Area Balikpapan City In Indonesia. *Proceeding of Environmental Systems Research*, 43, 97–104.
- Ratya, H., dan Herumurti, W. (2017). Timbulan dan Komposisi Sampah Rumah Tangga di Kecamatan Rungkut Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), C451–C453.
- Vergara, S. E., and Tchobanoglous, G. (2012). Municipal Solid Waste and The Environment: A Global Perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 37 (1) : 277–309.
- Wiedinmyer, C., Yokelson, R. J., and Gullett, B. K. (2014). Global Emissions of Trace Gases, Particulate Matter, and Hazardous Air Pollutants from Open Burning of Domestic Waste. *Environmental Science and Technology*, 48(16) : 9523–9530.
- Zeman, C., Depken, D., and Rich, M. (2002). Research on How The Composting Process Impacts Greenhouse Gas Emissions and Global Warming. *Compost Science and Utilization*, 10(1) : 72 - 86.

ANALISIS RISIKO KESEHATAN PAPARAN DEBU TERHADAP FUNGSI PARU PADA PEKERJA DI *HOME INDUSTRY C-MAX*

Azham Umar Abidin¹⁾²⁾, Novelia Henita³⁾, Suphia Rahmawati¹⁾²⁾, Fina Binazir Maziya¹⁾²⁾

¹⁾ Laboratorium Analisis Risiko Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

²⁾ Pusat Studi Keselamatan Kesehatan Kerja dan Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

³⁾ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Email : azham.abidin@uii.ac.id

Abstrak

Home industry C-MAX merupakan industri yang memproduksi cor alumunium dan proses produksi tersebut menghasilkan debu di lingkungan kerja. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko kesehatan paparan debu terhadap fungsi paru pada pekerja di home industry C-MAX. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif, dengan menggunakan desain studi cross-sectional. Pengukuran kadar debu menggunakan alat Low Volume Air Sampler (LVAS) dan pemeriksaan kapasitas fungsi paru menggunakan spirometer. Populasi dalam penelitian berjumlah 55 pekerja yang terdiri dari bagian divisi casting dan bagian divisi finishing. Sampel yang digunakan yaitu sebanyak 36 pekerja dengan 20 pekerja bagian casting dan 16 pekerja bagian finishing. Hasil pada penelitian ini adalah pengukuran kadar debu secara rerata, masih dibawah standar Nilai Ambang Batas (NAB), dengan NAB debu total sesuai dengan regulasi Permenaker No. 05 Tahun 2018 tentang K3 Lingkungan Kerja yaitu 10 mg/m³. Hasil pemeriksaan spirometri mengenai fungsi paru pada 36 pekerja menunjukkan bahwa 26 pekerja hasil pemeriksaan fungsi paru normal dan 10 pekerja mengalami gangguan fungsi paru, dengan 7 pekerja di unit casting dan 3 pekerja di unit finishing. Pekerja yang terpapar debu secara terus-menerus setiap harinya, selama 8 jam kerja akan memiliki potensi risiko kesehatan pada pernapasan akibat debu tersebut yang menumpuk masuk dalam saluran inhalasi, sehingga produktivitasnya akan terganggu. Pelaksanaan K3 yang baik di home industry dalam hal ini pengendalian debu yang efektif di lingkungan kerja dapat mencegah penyakit akibat kerja dan menciptakan lingkungan kerja yang sehat serta produktif. Gangguan fungsi paru tidak hanya dipengaruhi oleh kadar debu di tempat kerja saja, tetapi masih terdapat faktor-faktor lain yang berpengaruh seperti kebiasaan merokok atau lainnya.

Kata kunci: Debu, Fungsi Paru, Higiene Industri, K3, Risiko Kesehatan

Abstract

The C-MAX home industry is an industry that produces cast aluminum from the production process, which produces dust in workplace. This study aims to analyze the health risks of dust exposure on lung function in workers in the C-MAX home industry. This research is a quantitative study, using a cross-sectional study design. Measuring dust levels using a Low Volume Air Sampler (LVAS). Examination of lung function capacity using a spirometer. The population in the study amounted to 55 people, in the Casting Division and in the Finishing Division. The sample used was 36 people, with 20 people in the casting section and 16 people in the finishing section. The results in this study are the measurement of the average dust content, still below the Standard Threshold Value (NAB), with the total dust TLV in accordance with Permenaker No. 05 of 2018 about K3 Lingkungan Kerja, namely 10 mg/m³. The results of the spirometry examination regarding lung function on the respondents were 36, that 26 workers were normal lung function examination results and 10 workers had lung function disorders, with 7 workers in the casting unit and 3 workers in the finishing unit. Workers who are exposed to dust continuously every day, for 8 hours of work will have potential health risks to breathing due to the dust that accumulates into the inhalation tract, so that their productivity will be impaired. Lung function disorders are not only influenced by dust levels in the workplace, but there are other influencing factors such as smoking or other habits.

Keywords: Dust, Health Risk, Industrial Hygiene, Lung Function, OSH

Dikirim/submitted: 11 Desember 2020

Diterima/accepted: 14 Januari 2021

1. PENDAHULUAN

Debu merupakan butiran yang dapat dihasilkan oleh manusia atau di alam bebas yang dihasilkan oleh produksi atau proses produksi pada kegiatan industri (Mukono, 2005). Paparan debu dapat membuat manusia tidak nyaman ataupun terganggu, bahkan dapat menimbulkan dampak kesehatan. Debu yang memiliki ukuran kecil mempunyai potensi dapat menimbulkan dampak gangguan pada paru-paru pada pekerja, karena debu dengan partikel ukuran kurang dari 1μ akan masuk dalam alveous, pada ukuran debu $<0,1 \mu$ bergerak keluar masuk alveoli dan tidak mengendap di permukaan alveoli (Suma'mur, 2013). Penelitian yang dilakukan oleh Darmawan (2013) menyatakan bahwa debu yang terhirup oleh pekerja akan menimbulkan kelainan fungsi paru. Penumpukan debu di paru-paru saat bernapas kemudian masuk ke alveoli mengakibatkan kadar oksigen menurun sehingga kapasitas paru pekerja juga menurun akibat dari pekerjaanya (Slamet dan Kamilla, 2017).

Data yang dilaporkan oleh *Internasional Labor Organization* (ILO) tercatat bahwa pada tahun 2005, ada sebanyak 250 juta kasus penyakit akibat kerja (PAK) dengan kasus penyakit paru tercatat lebih dari 30% (Ardam, 2015). Penelitian yang dilakukan pada kawasan batu kapur, menyatakan bahwa 6 pekerja mengalami gangguan fungsi paru (Yulaekah *et al.*, 2007). Penelitian di industri kerajinan cor aluminium, Yogyakarta, menunjukkan bahwa rerata dari debu total pada bagian produksi di pengecoran yaitu sebesar $0,65 \text{ mg/m}^3$ dan pembubutan $2,75 \text{ mg/m}^3$. Hasil tersebut jika dibandingkan dengan Nilai Abang Batas (NAB) masih dibawah NAB yaitu 10 mg/m^3 (Ekawati dan Suwondo, 2005). Faktor yang mempengaruhi gangguan fungsi paru di industri pengolahan kayu adalah jenis kelamin dan kebiasaan merokok (Oviera *et al.*, 2016). Penelitian yang dilakukan oleh Ombuh *et al* (2017) menyatakan bahwa penggunaan masker merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi fungsi paru akibat paparan debu di industri.

Home industry C-MAX merupakan sektor yang bergerak proses produksi pengecoran aluminium, menghasilkan barang jadi seperti wajan, panci, atau lainnya terkait kebutuhan rumah tangga. Hasil studi pendahuluan peneliti menunjukkan bahwa pada proses produksi digunakan berbagai mesin untuk menghaluskan bahan baku, sehingga menghasilkan partikel-partikel yang kecil dan terbang ke udara dan menghasilkan debu. Berdasarkan hasil analisa tersebut ingin penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis risiko kesehatan paparan debu terhadap fungsi paru pada pekerja di *home industry C-MAX*.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif, dengan menggunakan desain studi *cross-sectional*, untuk menganalisa hubungan variabel data secara bersamaan saat penelitian. Pengukuran kadar debu menggunakan alat *Low Volume Air Sampler (LVAS)* dan mengacu pada metode SNI 16-7058-2004 tentang pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja. Prinsip alat ini yaitu alat diletakkan pada titik pengukuran setinggi zona pernapasan dan titik pengukuran di dekat tenaga kerja yang terpapar debu. Pengambilan sampel dilakukan beberapa menit hingga satu jam (sesuai kebutuhan). Kadar debu total yang diukur ditentukan secara gravimetri.

Spirometer digunakan untuk pemeriksaan kapasitas fungsi paru pekerja dengan memeriksa volume paru, kapasitas paru, dan kecepatan udara. Hasil pemeriksaan menggunakan spirometer tersebut untuk selanjutnya dapat dianalisis dampak dari paparan debu yang dapat menimbulkan penyakit kronik dan mengetahui periode penyakit akut pernapasan (Price *et al.*, 2009). Total populasi pada penelitian ini adalah 55 pekerja dengan sampel berjumlah 36 pekerja. Sample terdiri dari 20 pekerja di unit *casting* dan 16 pekerja di unit *finishing*. Responden yang diambil yaitu berdasarkan kriteria inklusi dan kriteria eksklusi. Pengumpulan data juga menggunakan sumber data primer dan data skunder yang berada di *home industry C-MAX*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kadar debu lingkungan kerja di *home industry C-MAX* secara rerata, masih dibawah standar Nilai Ambang Batas (NAB) yaitu 0.138 mg/m^3 , dengan NAB debu total sesuai dengan regulasi Permenaker No. 05 Tahun 2018 tentang K3 Lingkungan Kerja yaitu 10 mg/m^3 . Meskipun masih dibawah NAB, apabila pekerja terpapar debu secara terus-menerus setiap harinya, selama 8 jam kerja akan memiliki potensi risiko kesehatan akibat debu tersebut yang selalu menumpuk masuk dalam saluran inhalasinya.

Hasil pemeriksaan fungsi paru pada pekerja di *home industry C-MAX* dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil pemeriksaan spirometri mengenai fungsi paru terhadap 36 pekerja yaitu dibagi dalam 2 unit yaitu unit *casting* dan unit *finishing*. Dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa 26 pekerja setelah dilakukan pemeriksaan menunjukkan bahwa fungsi paru normal dan 10 pekerja mengalami gangguan fungsi paru, dengan 7 pekerja di unit *casting* dan 3 pekerja di unit *finishing*.

Tabel 1. Distribusi Pemeriksaan Fungsi Paru Responden

Kondisi Fungsi paru	Unit Kerja			
	Casting		Finishing	
	Jumlah	Frekuensi (%)	Jumlah	Frekuensi (%)
Normal	13	65	13	81
Tidak Normal/Gangguan	7	35	3	19
Total	20		16	

Pengukuran spirometri berfungsi untuk menilai keadaan seperti asma, penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), dan fibrosis paru. Selain itu juga digunakan untuk menganalisa *forced expiration rates* dan volume ekspirasi paksa serta dapat menghitung rasio VEP_1/KVP (Lasut et.al, 2016). Paparan debu di lingkungan kerja dapat mengakibatkan gangguan kesehatan pada pernapasan pekerja, akibat dari debu yang semakin menumpuk terus-menerus. Debu merupakan komponen bahan kimia yang memiliki partikel kecil dan dapat bersumber dari produksi, yang dapat menyebabkan gangguan pada pekerja baik dari kesehatan maupun keselamatannya (Rokhim, 2017). Komponen kristal silika yang masuk melalui inhalasi dapat menyebabkan penurunan fungsi paru-paru, radang paru-paru akut, gangguan autoimun, dan dapat menyebabkan kanker paru-paru (Regia dan Oginawati, 2016). Selain itu juga debu dapat mengganggu penglihatan pekerja dan dapat menimbulkan reaksi kimia karena bahan dan bentuk yang berbeda (Aini, 2015). Oktaviani dan Prasasti (2015) menyatakan bahwa partikel debu yang memiliki ukuran kecil secara langsung dapat berhubungan dengan kesehatan pada manusia. Partikel dalam udara umumnya memiliki ukuran $0,1\mu - 50\mu$ atau lebih. Partikel debu yang memiliki ukuran diameter $2,5\mu$ atau kurang dapat menyebabkan pencemaran di udara dan memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan pada manusia.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Sihombing *et al* (2013) menunjukkan bahwa hasil pengukuran kadar debu total yang ada pada proses produksi, di depan mesin *press* masih dibawah NAB. Berdasarkan data fungsi paru pekerja, terdapat empat pekerja yang mengalami gangguan fungsi paru yaitu gangguan fungsi paru obstruksi ringan, sedang, retriksi ringan dan campuran. Dari hasil pemeriksaan spirometri terhadap pekerja di *home industry* C-MAX menunjukkan bahwa terdapat total 10 pekerja yang mengalami gangguan fungsi paru. Hal ini bisa disebabkan oleh potensi paparan debu di lingkungan kerja akibat dari para pekerja menghirup debu secara terus menerus setiap harinya. Paparan kadar debu di area *finishing* yang cukup tinggi disebabkan karena pada proses produksi dilakukan kegiatan proses pengikiran dan pembubutan agar permukaan terlihat lebih halus, mengkilap, bagus dan sesuai dengan permintaan.

Berdasarkan kondisi pada lingkungan kerja tersebut, berpotensi sekali bahwa pekerja terpapar oleh debu yang tinggi, sehingga dapat menimbulkan gangguan fungsi paru pada pekerja. Ketika hal tersebut terjadi maka produktivitas tenaga kerja akan terganggu dan lingkungan kerja tidak sehat. Selain itu juga kemungkinan gangguan fungsi paru tersebut disebabkan oleh faktor lain seperti kebiasaan merokok atau lainnya. Penelitian yang dilakukan oleh Sari *et al* (2017) menyatakan bahwa gangguan fungsi paru pekerja tidak hanya dipengaruhi oleh kadar debu tinggi di lingkungan kerja saja, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik dari responden. Hal tersebut menunjukkan bahwa gangguan fungsi paru tidak hanya dipengaruhi oleh kadar debu di tempat kerja saja, tetapi masih terdapat faktor-faktor lain yang berpengaruh.

4. KESIMPULAN

Hasil pengukuran kadar debu di lingkungan kerja secara rerata, masih dibawah standar Nilai Ambang Batas (NAB), dengan NAB debu total sesuai dengan regulasi Permenaker No. 05 Tahun 2018 tentang K3 Lingkungan Kerja yaitu 10 mg/m³. Hasil pemeriksaan spirometri mengenai fungsi paru terhadap 36 pekerja menunjukkan bahwa 26 pekerja memiliki fungsi paru normal dan 10 pekerja mengalami gangguan fungsi paru, dengan 7 pekerja di unit *casting* dan 3 pekerja di unit *finishing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, S.Q. (2015). Hubungan Paparan Debu dengan Kapasitas Vital Paru Pekerja Batu Bara. *Jurnal Kesehatan dan Agoromedicine*, 2 (4): 493-499.
- Ardam, K.A.Y. (2015). Hubungan Paparan Debu dan Lama Paparan dengan Gangguan Faal Paru Pekerja *Overhaul Power Plant*. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 4(2): 155-166.
- Darmawan, A. (2013). Penyakit Sistem Respirasi Akibat Kerja. *Jambi Medical Journal*, 1(1) : 68 – 83.
- Ekawati dan Suwando, A. (2005). Perbedaan Kapasitas Vital Paksa Paru Tenaga Kerja pada Lokasi Pengecoran/Pencetakan dan Lokasi Pengikiran/Pembuatan di Industri Kerajinan Cor Aluminium “ED” Giwangan Yogyakarta. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 4 (2): 71-77.
- Lasut, D.P., Marpaung, E., dan Sengkey, L.S. (2016). *Gambaran Hasil Spirometer pada Pasien dengan Gangguan Paru di Instalasi Rehabilitasi Medik RSUP Prof. Dr.R. D. Kandou Manado*. Skripsi, Universitas Sam Ratulangi.
- Mukono, H. J. (2005). *Toksikologi Lingkungan*. Surabaya: Airlangga University Press.

- Oktaviani, D, A dan Prasasti, C, I. (2015). Kualitas Fisik dan Kimia Udara, Karakteristik Pekerja, serta Keluhan Pernapasan pada Pekerja Percetakan di Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 8 (2): 195-205.
- Ombuh, R.V., Nurjazuli., dan Raharjo, M. (2017). Hubungan Paparan Debu Terhirup Terhadap Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja Bongkar Muat Di Pelabuhan Manado Sulawesi Utara Tahun 2017. *Higiene Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 3(2): 69-75
- Oviera, A., Jayanti, S., dan Suroto. (2016). Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Kapasitas Vital Paru Pada Pekerja Industri Pengolahan Kayu Di PT. X Jepara. *Jurnal Kesehatan Masyarakat* , 4 (1) : 267-276.
- Price, D., Crockett, A., Arne, M., Garbe, B., Jones, R., Alan, K., Langhammer, A., Sian, W., and Yawn, B. (2009). Spirometry in Primary Care Case-Identification, Diagnosis and Management of COPD. *Primary Care Respiratory Journal*, 18 (3): 216-223.
- Regia, R.A dan Oginawati, K. (2016). Analisis Konsentrasi Kristal Silika Terinhalasi di Lingkungan Kerja Pandai Besi Desa Mekarmaju, Bandung. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan II, Padang*.
- Rokhim, S. (2017). Penilaian Risiko Terhadap Paparan Debu pada Perbaikan Ruangan Studi Analisis Pada Perbaikan Ruangan di Gedung PT. X (Persero) Surabaya. *Journal of Health Science and Prevention*, 1(1): 45-51.
- Sari, S., Nurjazuli., dan Dangiran, H. (2017). Analisis Perbedaan Fungsi Paru Pada Pekerja Berdasarkan Kadar Debu di PT. Bogowonto Primalaras Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 5 (5): 871- 880.
- Sihombing, D.T., Lubis, H.S., dan Mahyuni, E.L. (2013). *Hubungan Kadar Debu dengan Fungsi Paru pada Pekerja Proses Press-Packing di Usaha Penampungan Butut Kelurahan Tanjung Mulia Hilir Medan Tahun 2013*. Skripsi, Universitas Sumatera Utara.
- Slamet dan Kamilla, L. (2017). Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja Pengelasan di Kota Pontianak. *Jurnal Laboratorium Khatulistiwa*, 1 (1) : 72 – 80.
- Suma'mur, P. K. (2013). *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja (HIPERKES)*. Jakarta: Agung Seto.
- Yulaekah, S., Adi, M.S., dan Nurjazuli. (2007). Paparan Debu Terhirup dan Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja Industri Batu Kapur. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 6 (1): 24-31.

KAJIAN COD DAN BOD DALAM AIR DI LINGKUNGAN TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) SAMPAH KALIORI KABUPATEN BANYUMAS

Sri Royani¹⁾, Adita Silvia Fitriana¹⁾, Afresa Bias Putri Enarga¹⁾, Hanif Zufrialdi
Bagaskara¹⁾

¹⁾Program Studi Kimia, Universitas Harapan Bangsa, Banyumas

E-mail: sriroyani@uhb.ac.id

Abstrak

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah Kaliori Banyumas merupakan TPA non aktif yang masih terdapat timbunan sampah dan air lindi di lokasinya. Untuk mengetahui kualitas air di lingkungan tersebut, maka telah dilakukan penelitian untuk mengkaji polutan organik Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) dalam air lindi, air sumur dan air sungai. Penentuan kadar BOD dan COD ditentukan masing-masing sesuai metode SNI 6989.72:2009 dan SNI 6989.15:2019. Berdasarkan hasil pengujian, kadar COD air lindi melebihi baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P59/Menlhk/Setjen/kum.1/7/2016, dan kadar BOD masih berada di bawah ambang batas maksimal yang ditetapkan. Sedangkan untuk air sumur, hanya air sumur dengan kode SUM3 dan SUM5 yang memenuhi kualitas air kelas pertama dilihat dari parameter BOD dan COD berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No.82 Tahun 2001, dan masih diperbolehkan sebagai air baku untuk air minum. Selain itu, air sumur dengan kode SUM2, SUM3, SUM4 dan SUM5 masih aman jika digunakan untuk prasarana mandi, cuci dan kakus karena memenuhi nilai baku mutu air kelas kedua. Nilai BOD dan COD dalam air sungai tidak memenuhi kualitas air yang bagus, baik kelas satu, dua, tiga maupun kelas empat berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No.82 Tahun 2001. Rasio BOD/COD yang diperoleh sebesar 0,9 memungkinkan untuk dilakukan biodegradasi guna menghasilkan air yang lebih baik kualitasnya.

Kata kunci: Air Lindi, Air Sumur, Air Sungai, BOD, COD

Abstract

Kaliori Landfill in Banyumas is an inactive landfill that still has a lot of garbage and leachate in its place. To determine the quality of water in the environment, the research has been carried out to assess the organic pollutants of Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) in leachate, ground water and river water. The BOD and COD levels was determined according to the SNI 6989.72:2009 and SNI 6989.15:2019. The result showed that the COD content of leachate water was not complied the quality standard according to the Regulation of the Minister of Environment and Forestry of the Republic of Indonesia No. P59/Menlhk/Setjen/kum.1/7/2016, while the BOD level was complied the quality standard. Meanwhile, only ground water of SUM3 and SUM5 which have good agreement with quality standard of water in the first class according to Government Regulation No.82/2001, so it is still allowed as raw water for drinking. In addition, ground water of SUM2, SUM3, SUM4 and SUM5 is still safe if it is use for sanitation infrastructure because it has a good agreement with the second class water quality standard. The values of BOD and COD in river water do not have good water quality, either first class or fourth class according to the Government Regulation No.82/2001. The obtained BOD/COD ratio is 0.9, and it allows to biodegradation to produce the better quality of water.

Key words: BOD, COD, Ground Water, Leachate, River Water

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan permasalahan yang tidak ada habisnya di dunia, tidak terkecuali di Indonesia. Beberapa tahun terakhir ini, Tempat Pemrosesan Akhir sampah (TPA) dijadikan sebagai salah satu tempat akhir untuk membuang sampah oleh kebanyakan masyarakat di Indonesia. Air lindi, yang merupakan air limbah yang dihasilkan TPA, sering dianggap sebagai sumber kontaminan air tanah dan air sungai di sekitarnya.

TPA Kaliiori merupakan salah satu TPA di Banyumas. TPA ini merupakan TPA yang sudah tidak aktif lagi, namun masih terdapat timbunan sampah dan kolam air lindi di lokasi tersebut. Timbunan sampah dan air lindi ini dikawatirkan berdampak buruk terhadap kualitas air di lingkungan sekitar. Beberapa penelitian menyatakan bahwa air lindi dapat mempengaruhi kualitas air di sekitar TPA (Ling and Zhang, 2017; Pande *et al.*, 2015). Selain itu, air lindi dinyatakan sebagai sumber utama polusi pada air tanah dan air permukaan. Sekarang ini, pengaruh air lindi pada sumber air menjadi perhatian utama karena dampaknya terhadap lingkungan yang sangat signifikan. Sebagai contoh air lindi dengan kualitas buruk menyebabkan ekosistem badan air di sekitarnya menjadi ikut tercemar (Akinbile, 2012; Klinck and Stuart, 1999).

Menurut Koda *et al* (2017), kandungan air lindi terdiri dari zat organik, zat anorganik dan logam berat. Parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sering digunakan untuk mengetahui kandungan zat organik dalam air. COD dan BOD adalah dua diantara parameter kualitas air di Indonesia berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.82 Tahun 2001 (PP RI No.82 Th.2001). Pada umumnya, kandungan COD dan BOD dalam air dikaji untuk yang menggambarkan banyaknya zat organik yang terlarut dalam air tersebut. COD merupakan kebutuhan oksigen kimia untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air. BOD merupakan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasi) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat organik yang tersuspensi dalam air. Koda *et al* (2017) dalam penelitiannya menyatakan bahwa COD dan BOD merupakan indikator untuk menentukan kualitas air lindi.

Maksud dari artikel ini adalah untuk mengkaji kualitas air di lingkungan TPA Kaliiori Banyumas dilihat dari parameter material organik yaitu COD dan BOD. Air yang dikaji yaitu air lindi, air sumur warga dan air sungai. Penelitian ini merupakan penelitian rintisan untuk mengetahui kualitas air di lingkungan TPA non aktif di Kaliiori, Banyumas.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan sebuah penelitian deskriptif eksperimental. Sampel yang diteliti antara lain air lindi, air sumur dan air sungai di lingkungan sekitar TPA sampah Kaliori Kabupaten Banyumas dengan radius kurang dari satu kilometer. Pengambilan sampel dengan radius tersebut dilakukan karena pemukiman penduduk terdekat berjarak kurang dari satu kilometer dari lokasi TPA, sehingga perlu dilakukan penelitian terhadap kualitas air di lingkungan tersebut. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Mei 2020. Terdapat 1 titik air lindi, 5 titik air sumur dan 2 titik air sungai yang telah dikumpulkan. Lokasi pengambilan sampel air sumur dan air sungai didasarkan pada jaraknya terhadap air lindi di TPA. Identitas sampel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Kode dan Identitas Sampel

No.	Kode Sampel	Identitas Sampel
1	LIN	Air lindi
2	AS 1	Air sungai jarak terdekat pertama dengan TPA
3	AS 2	Air sungai jarak terdekat kedua dengan TPA
4	SUM 1	Air sumur warga jarak terdekat pertama dengan TPA
5	SUM 2	Air sumur warga jarak terdekat kedua dengan TPA
6	SUM 3	Air sumur warga jarak terdekat ketiga dengan TPA
7	SUM 4	Air sumur warga jarak terdekat keempat dengan TPA
8	SUM 5	Air sumur warga jarak terdekat kelima dengan TPA



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel, TPA Kaliori Banyumas

Penentuan kadar BOD dan COD ditentukan masing-masing sesuai metode SNI 6989.72:2009 tentang cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand/BOD*) dan SNI 6989.15:2019 tentang cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) (BSN, 2019). Kadar yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan baku mutu standar nasional, yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P59/Menlhk/Setjen/kum.1/7/2016 dan Peraturan Pemerintah RI No.82 Tahun 2001.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 BOD dan COD Air Lindi

Air lindi TPA Kaliori menunjukkan warna coklat pekat dan bau yang busuk dan menyengat. Tabel 2. menunjukkan karakteristik air lindi TPA Kaliori berdasarkan dari parameter BOD dan COD.

Tabel 2. BOD dan COD Air Lindi

Parameter	Kadar (mg/L)	Baku mutu (mg/L)*
BOD	146,09	150,00
COD	568,48	300,00

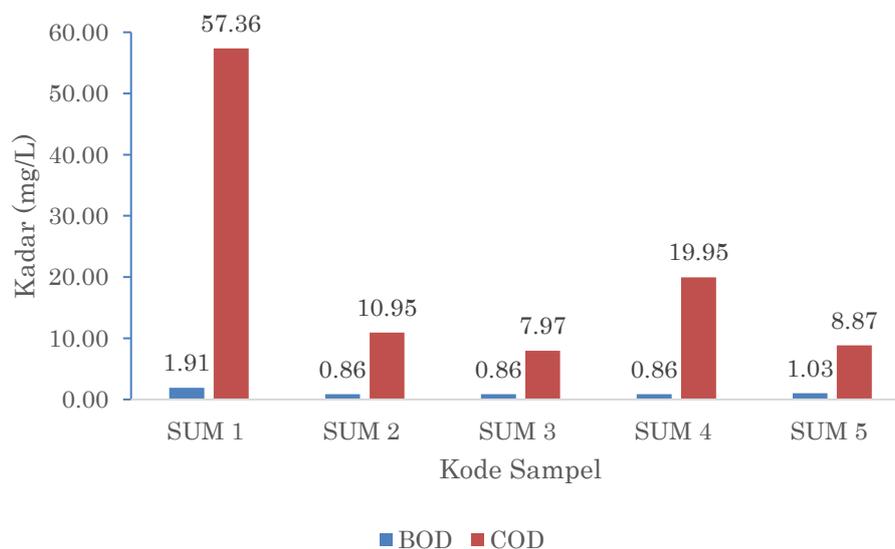
*) baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P59/Menlhk/Setjen/kum.1/7/2016

Berdasarkan Tabel 2, Kadar kedua parameter dalam air lindi tersebut sangat tinggi, dengan kadar COD lebih tinggi dibandingkan kadar BOD. Kadar BOD dan COD masing-masing yaitu 146,09 mg/L dan 568,48 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa banyaknya senyawa organik dalam air tersebut. Nilai COD selalu lebih tinggi dibandingkan BOD, hal ini karena banyak zat organik yang dioksidasi secara kimiawi tetapi tidak dapat dioksidasi secara biologis (Khan *et al.*, 2011). Hasil serupa diperoleh oleh Sari dan Afdal (2017) yang menyatakan bahwa kadar COD lebih tinggi dibandingkan BOD.

Kadar BOD yang diperoleh masih berada di bawah kadar yang ditetapkan oleh pemerintah, yaitu sebesar 150 mg/L untuk air lindi berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P59/Menlhk/Setjen/kum.1/7/2016. Lain halnya dengan BOD, nilai COD diperoleh berada di atas nilai ambang batas yang ditetapkan oleh pemerintah, yaitu sebesar 300 mg/L. Nilai COD dan BOD yang tinggi menandakan kekuatan senyawa organik pada air lindi tersebut. Oleh karena itu, air lindi perlu diproses terlebih dahulu supaya tidak menimbulkan pencemaran terhadap air di lingkungan TPA.

3.2 BOD dan COD Air Sumur

Kadar BOD dan COD yang dihasilkan dari air sumur di lingkungan sekitar TPA berada pada rentang konsentrasi masing-masing 0,86-1,91 mg/L dan 7,97-57,36 mg/L, seperti yang disajikan pada Gambar 2. Kadar BOD dan COD dengan rentang masing-masing 0,86-1,91 mg/L dan 7,97-57,36 mg/L menandakan bahwa sedikit sekali kontaminan organik dari air lindi yang mencemari air sumur di lingkungan ini. Kadar tertinggi BOD dan COD masing-masing dimiliki oleh sampel dengan kode SUM1, yang diambil dari titik sampling pertama yang mempunyai jarak terdekat dengan kolam air lindi. Tingginya kadar BOD dan COD pada sampel tersebut dikarenakan jaraknya yang dekat dengan air lindi yang mempunyai kadar BOD dan COD sangat tinggi (Tabel 2). Jarak yang dekat dengan sumber polutan bisa mengakibatkan sumber air menjadi tercemar.



Gambar 2. BOD dan COD air sumur

Di Indonesia, belum ada standar yang menyebutkan nilai ambang batas BOD dan COD dalam air sumur atau air tanah. Akan tetapi, masyarakat Indonesia biasa menggunakan air sumur sebagai air untuk mandi, cuci dan kakus, bahkan sebagian ada yang menjadikan air sumur sebagai air baku untuk air minum. Jika melihat dari kebiasaan ini, terdapat aturan terkait kualitas air yang diperuntukan untuk aktivitas tersebut, yaitu Peraturan Pemerintah RI No.82 Tahun 2001 yang menggolongkan air ke dalam beberapa kelas. Kelas pertama diperuntukan bagi air baku untuk air minum. Jika dilihat dari rentang nilai BOD dan COD yang diperoleh, sangat jelas bahwa mayoritas kadar BOD dan COD yang diperoleh melebihi nilai baku mutu

air kelas pertama yaitu 2 mg/L BOD dan 10 mg/L COD. Hanya air sumur dengan kode SUM3 dan SUM5 yang memenuhi kualitas air kelas pertama, sehingga diperbolehkan sebagai air baku untuk air minum.

Air kelas kedua diperuntukan bagi prasarana seperti mandi, cuci dan kakus (PP RI No.82 Th.2001). Baku mutu air kelas kedua yaitu sebesar 3 mg/L BOD dan 25 mg/L COD. Dari kelima air sumur, hanya air sumur dengan kode SUM1 yang melebihi nilai baku mutu kelas dua, sehingga air sumur dengan kode SUM2-SUM5 masih aman jika digunakan untuk prasarana mandi, cuci dan kakus. Dari penjelasan ini dapat dikatakan bahwa air sumur dengan kode SUM1, dimana letaknya sangat dekat dengan air lindi, tidak memenuhi kualitas air yang diperuntukan untuk air minum dan prasarana mandi cuci kakus.

3.3 BOD dan COD Air Sungai

Air sungai merupakan air yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia untuk mengairi kebun dan kolam. Jika dilihat dari kebiasaan ini, air yang dimaksud termasuk ke dalam air kelas empat sesuai Peraturan Pemerintah RI No.82 Tahun 2001. Karakteristik COD dan BOD air sungai dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. BOD dan COD air sungai

	Kadar sampel (mg/L)		Kadar baku mutu air (mg/L) *)			
	AS 1	AS 2	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4
BOD	56,1	54,6	2	3	6	12
COD	173,89	207,33	10	25	50	100

*) Peraturan Pemerintah RI No.82 Tahun 2001

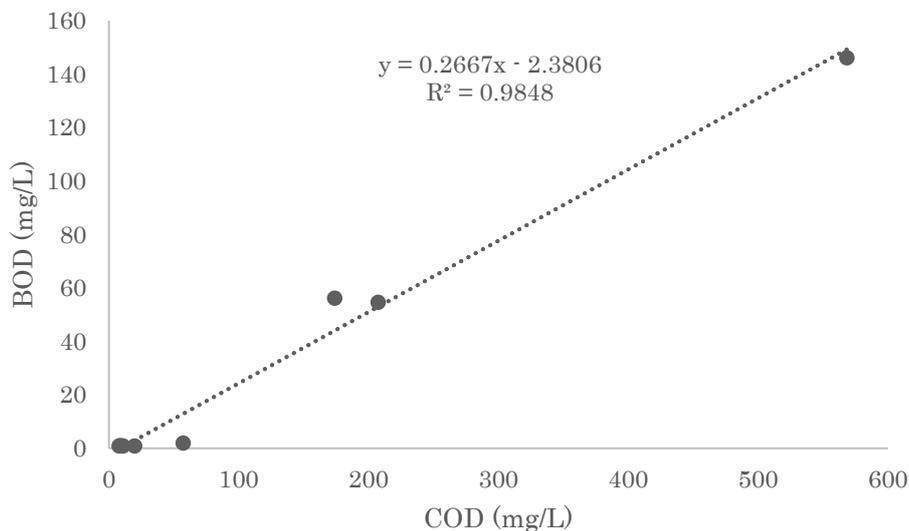
Berdasarkan Tabel 3., kadar BOD dan COD dalam air sungai melebihi nilai baku mutu untuk air kelas 1 - 4 berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No.82 Tahun 2001, yaitu 2 mg/L BOD dan 10 mg/L COD untuk air kelas 1; 3 mg/L BOD dan 25 mg/L COD untuk air kelas 2; 6 mg/L BOD dan 50 mg/L COD untuk air kelas 3; dan 12 mg/L BOD dan 100 mg/L COD untuk air kelas 4. Berdasarkan peraturan tersebut, air kelas satu diperuntukan untuk air baku air minum, kelas dua untuk prasarana/sarana rekreasi air, kelas tiga untuk budidaya ikan air tawar dan kelas 4 diperuntukan untuk mengairi pertanaman. Dengan demikian, air sungai di sekitar TPA yang telah diuji ini tidak memenuhi kualitas air yang bagus, baik kelas satu, maupun kelas empat.

Tingginya kandungan BOD dalam air sungai bisa dipengaruhi oleh jumlah mikroorganisme yang sedikit. Jumlah dan aktivitas mikroorganisme mempunyai pengaruh yang signifikan

terhadap nilai BOD (Koda *et al.*, 2017). Ketika jumlah mikroorganisme sedikit, proses pemecahan secara biokimia tidak terjadi atau intensitas pemecahan secara biokimia tidak signifikan. Pada kondisi natural, efek ini selalu diakibatkan oleh sejumlah komponen toksik (seperti logam berat) yang berdampak buruk terhadap aktivitas enzim mikroorganisme (Koda *et al.*, 2017).

3.4 Rasio Perbandingan BOD/COD

Karakteristik air yang berada di lingkungan TPA menunjukkan bahwa kadar COD lebih tinggi daripada kadar BOD, yang mana rasio BOD/COD adalah factor kunci untuk memahami kecepatan biodegradabilitas material organik dalam air (Lee and Hamid, 2014). Rasio perbandingan BOD/COD disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rasio perbandingan BOD dan COD.

Berdasarkan Gambar 3, diperoleh nilai $R^2 = 0,9848$, yang artinya rasio BOD/COD adalah sebesar 0,9. Nilai tersebut menunjukkan adanya korelasi kuat dan signifikan antara konsentrasi BOD dengan COD. Rasio BOD/COD berkaitan dengan nilai indikator dari degradasi material organik pada TPA. Rasio BOD/COD yang diperoleh hampir mendekati nilai 1,0, ini menunjukkan bahwa material organik dalam air di lingkungan TPA mudah untuk dilakukan biodegradasi dan dapat diperlakukan secara biologis (Fullazaky, 2013). Selain itu, dapat dikatakan pula bahwa hampir tidak adanya zat organik toksik yang menghambat aktivitas mikroba (Mangkoedihardjo, 2006). Pernyataan serupa dinyatakan oleh Samudro and

Mangkoedihardjo (2010), yang menyebutkan bahwa rasio BOD/COD antara 0,1-1,0 termasuk kelompok zona *biodegradable*.

Nilai COD mengindikasikan kandungan total zat organik, baik yang *biodegradable* maupun *non-biodegradable*, sedangkan nilai BOD hanya mengukur bagian *biodegradable* saja (Koda *et al.*, 2017). Dengan diketahuinya rasio BOD/COD, secara tidak langsung dapat diketahui apakah zat organik tersebut *biodegradable* atau tidak.

Rasio ini juga dapat menunjukkan tingginya kandungan polutan yang dimiliki oleh air. Rasio BOD/COD dengan nilai 0,9 dapat dikatakan memiliki kandungan polutan yang cukup tinggi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ngang and Abgazue (2016) yang menyatakan bahwa jika rasio BOD:COD dalam air adalah lebih tinggi atau sama dengan 0,8, maka air tersebut dapat dikatakan tinggi akan polusi. Meskipun demikian, dengan rasio yang diperoleh pada penelitian ini memungkinkan untuk diolah secara biodegradasi supaya tidak mencemari air di lingkungan sekitar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, kadar COD air lindi melebihi baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P59/Menlhk/Setjen/kum.1/7/2016, sedangkan kadar BOD masih berada di bawah ambang batas maksimal yang ditetapkan. Sedangkan pada air sumur, hanya air sumur dengan kode SUM3 dan SUM5 yang memenuhi kualitas air kelas pertama dilihat dari parameter BOD dan COD berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No.82 Tahun 2001, sehingga diperbolehkan sebagai air baku untuk air minum. Selain itu, air sumur dengan kode SUM2, SUM3, SUM4 dan SUM5 masih aman jika digunakan untuk prasarana mandi, cuci dan kakus karena memenuhi nilai baku mutu air kelas kedua. Nilai BOD dan COD dalam air sungai pada kedua titik pengambilan sampel tidak memenuhi kualitas air yang bagus, baik kelas satu, maupun kelas empat. Meskipun demikian, dengan rasio BOD/COD yang diperoleh sebesar 0,9 memungkinkan untuk dilakukan biodegradasi untuk menghasilkan air yang lebih baik kualitasnya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Riset dan Inovasi Nasional (Kemenristek-BRIN) Tahun Anggaran 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Akinbile, C.O. (2012). Environmental Impact of Landfill on Groundwater Quality and Agricultural Soils in Nigeria. *Soil and Water Research*, 7(1): 18–26.
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). *SNI 6989.72:2009: Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD)*. Jakarta : BSN.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2019). *SNI 6989.15:2019: Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD)*. Jakarta : BSN.
- Fullazzaky, M.A. (2013). Measurement of Biochemical Oxygen Demand of the Leachates. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 4721–4734.
- Khan, A.M., Ataullah., Shaheen, A., Ahmad, I., Malik, F and Shahid, H.A. (2011). Correlation of COD and BOD of Domestic Wastewater with the power output of bioreactor. *Journal-Chemical Society Pakistan*, 33(2): 269-274.
- Klinck, B and Stuart, M. (1999). *Human Health Risk in Relation to Landfill Leachate Quality*. Technical Report WC/99/17, British Geological Survey, Nottingham, UK.
- Koda, E., Miskowska, A., and Sieczka, A. (2017). Levels of Organic Pollution Indicators in Groundwater at the Old Landfill and Waste management Site. *Applied Sciences*, 7(6): 1-22.
- Lee, A.H and Hamid, N. (2014). BOD/COD Ratio as An Indicator for Pollutants Leaching from Landfill. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2(3): 263–266.
- Ling, C and Zhang, Q. (2017). Evaluation of Surface Water and Groundwater Contamination in A MSW Landfill Area Using Hydrochemical Analysis and Electrical Resistivity Tomography: A Case Study in Sichuan Province, Southwest China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(4): 1–18.
- Mangkoedihardjo, S. (2006). Revaluation of Maturity and Stability Indices for Compost. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 10(3): 83–85.
- Ngang, B.U and Agbazue, V.E. (2016). Aseasonal Assessment of Groundwater Pollution due to Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand and Elevated Temperatures in Enugu Northern Senatorial District, South East Nigeria. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 9(7): 66–73.
- Pande, G., Sinha, A., and Agarwal, S. (2015). Impacts of Leachate Percolation on Ground Water Quality: A Case Study of Dhanbad City. *Global Nest Journal*, 17(1): 162–174.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P59/Menlhk/Setjen/kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Samudro, G and Mangkoedihardjo, S., (2010), Review on BOD, COD, and BOD/COD Ratio: A Triangle Zone for Toxic, Biodegradable and Stable Levels. *International Journal of Academic Research*, 2(4): 235-239.

Sari, R.N and Afdal. (2017). Karakteristik Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 6(1): 93-99.

MANAJEMEN BENCANA BERDASARKAN ANALISIS TINGKAT KERENTANAN AIRTANAH DI SEBAGIAN DESA SIDOARUM, KECAMATAN GODEAN, KABUPATEN SLEMAN, D.I YOGYAKARTA

Sektiana Uyun Azizah¹⁾, Vindy Fadia Utama¹⁾, Ekha Yogafanny¹⁾, Suharwanto¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Lingkungan, UPN “Veteran” Yogyakarta

E-mail: sektianaulyun@gmail.com

Abstrak

Menjadi daerah sub urban, Desa Sidoarum, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman, D.I Yogyakarta mengalami peningkatan kebutuhan air karena pertambahan penduduk dari beberapa tahun belakangan. Jumlah penduduk yang terus meningkat mendukung terjadinya perluasan wilayah permukiman dan perkembangan sarana infrastruktur yang mendukung kegiatan masyarakat sehari-hari. Alih fungsi penggunaan lahan di suatu wilayah perlu disesuaikan dengan berbagai kegiatan masyarakat dan pemanfaatan ruang dalam upaya menjaga kondisi airtanah. Untuk mengetahui kondisi airtanah di sebagian Desa Sidoarum, maka bisa dianalisis berdasarkan tingkat kerentanan airtanah yang berkaitan dengan kondisi daerah penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui zonasi tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran dengan metode DRASTIC dan penentuan manajemen bencana melalui metode analisis deskriptif kualitatif. Hasilnya terdapat 2 zonasi kerentanan airtanah, yaitu zonasi tingkat kerentanan tinggi dan zonasi tingkat kerentanan sangat tinggi. Model manajemen bencana yang digunakan adalah disaster risk reduction framework berupa identifikasi risiko bencana. Pelaksanaan manajemen bencana tersebut dibutuhkan arahan pemanfaatan ruang secara konsisten dan terpadu, serta Pemerintah baik daerah maupun pusat dapat membuat regulasi sistematis terkait pembangunan berkelanjutan berwawasan lingkungan berdasarkan tingkat kerentanan airtanah.

Kata Kunci: Airtanah, DRASTIC, Kerentanan, Manajemen Bencana

Abstract

Sidoarum Village, Godean District, Sleman Regency, D.I Yogyakarta is being a sub urban area has increase in water demand due to population growth in recent years. The population that continues to increase supports the expansion of residential areas and infrastructure facilities that also support daily community activities. The changes of land use functions in an area can be adjusted to various community activities and spatial use in an effort to maintain groundwater conditions. To see groundwater conditions in some of Sidoarum Village, it is based on the vulnerability of groundwater levels related to local research conditions. The purpose of this research is to determine the vulnerability zone of groundwater vulnerability against pollution with the DRASTIC method and determine the disaster management with qualitative descriptive analysis. The result is that there are 2 zoning for groundwater vulnerability, there are high level of vulnerability zone and very high level of vulnerability zone. The disaster management model used is a disaster risk reduction framework in the form of disaster risk identification. The implementation of disaster management requires a consistent and integrated direction for the spatial use and both local and central government can make systematic regulations related to environmentally sustainable development based on the level of groundwater vulnerability.

Keywords: Disaster Management, DRASTIC, Groundwater, Vulnerability

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang terus bertambah dari tahun 2010 hingga tahun 2019 menjadi salah satu dampak perkembangan Desa Sidoarum menjadi wilayah *sub urban*. Pertambahan jumlah penduduk akan mempengaruhi keseimbangan ekosistem, termasuk kondisi air bersih (Alihar, 2018). Aktivitas masyarakat menjadi bermacam-macam tentu akan meningkatkan jumlah limbah yang dibuang ke lingkungan (Agustiningsih *et al.*, 2012). Pengaruh kondisi ekosistem

Dikirim/submitted: 13 Januari 2021

Diterima/accepted: 29 Januari 2021

seperti kebutuhan lahan untuk permukiman menjadi salah satu akibat bertambahnya jumlah masyarakat di Desa Sidoarum. Secara logika perubahan alih fungsi dan pemanfaatan lahan kosong menjadi kawasan permukiman dan industri akan mempengaruhi kondisi hidrologis berkaitan dengan kualitas air (Narany *et al.*, 2017).

Desa Sidoarum memiliki jumlah 2.639 unit sumur gali yang menjadi sumber utama air baku masyarakat karena hanya sedikit masyarakat yang mengakses air dari PDAM. Latar belakang penggunaan airtanah dikarenakan ketersediaan yang masih melimpah dan lebih mudah diakses oleh masyarakat secara mandiri. Dikutip dalam Hendrayana dan Vicente, (2013) menyatakan bahwa sistem airtanah di lokasi penelitian yang berada di Kecamatan Godean termasuk dalam cekungan airtanah (CAT) Yogyakarta – Sleman. Potensi airtanah diperkirakan memiliki debit 488 liter/detik dan bersifat *multilayer aquifer*.

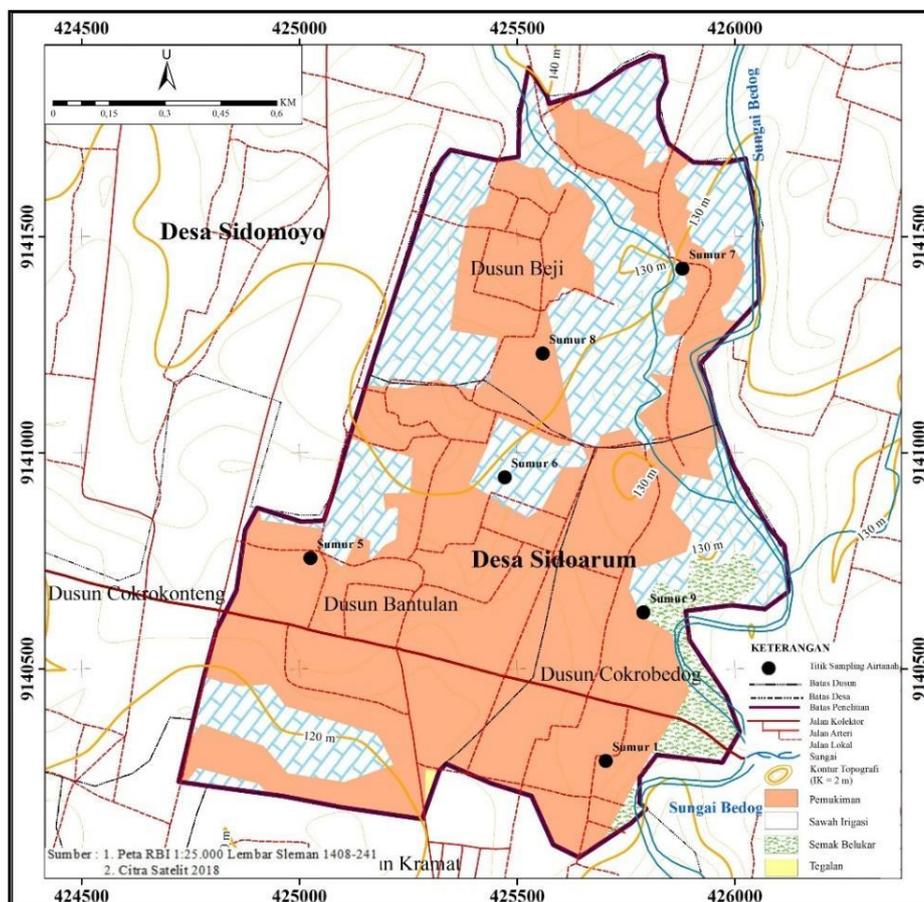
Kerentanan airtanah bisa diartikan sebagai ketahanan faktor fisik dan geologi suatu daerah terhadap terhadap masuknya kontaminan yang mulai masuk dari permukaan tanah ke dalam sistem akuifer (Linggasari *et al.*, 2019). Mengetahui tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran berguna untuk mengetahui pengaruh kondisi fisik dalam menghambat masuknya polutan ke akuifer. Desa Sidoarum yang terletak di Kecamatan Godean termasuk dalam wilayah lepasan atau *discharge* CAT Yogyakarta-Sleman dengan tingkat pemanfaatan sedang dan kondisi airtanah kategori rawan (Hendrayana dan Vicente, 2013). Faktor fisik yang berpengaruh terhadap masuknya zat pencemar ke airtanah antara lain adalah kedalaman muka airtanah (MAT), topografi, litologi batuan, curah hujan, tekstur tanah, nilai konduktivitas hidraulik, dan penggunaan lahan yang berperan besar dalam menghasilkan zat pencemar. Penggunaan lahan berupa *agricultural* dan *residential areas* sebagai dominasi penggunaan lahan di Desa Sidoarum akan menghasilkan limbah sisa yang memiliki kandungan senyawa organik maupun anorganik bermacam-macam. Perbedaan komposisi zat yang dibuang lah yang membuat kualitas airtanah berbeda-beda kandungannya.

Tingkat kerentanan airtanah tersebut akan sangat membantu dalam analisis terhadap kualitas airtanah untuk menentukan manajemen mitigasi bencana dalam pencegahan terjadinya pencemaran di suatu wilayah. Hartoyo *et al* (2011) mengembangkan metode untuk memperoleh tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran dengan mengikutsertakan beberapa parameter, antara lain adalah kedalaman MAT, topografi, curah hujan, konduktivitas hidraulik, geologi lokal atau batuan, tekstur tanah, dan jenis penggunaan lahan. Berdasarkan uraian diatas penelitian ini bertujuan untuk mengetahui zonasi tingkat kerentanan airtanah dengan Metode

DRASTIC di sebagian Desa Sidoarum, dan penentuan manajemen bencana melalui metode analisis deskriptif kualitatif berdasarkan tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran di sebagian Desa Sidoarum.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di sebagian Desa Sidoarum, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman, D.I Yogyakarta yang secara geografis pada koordinat X = 423076 mT – 42581 mT dan Y = 9138318 mU – 9142432 mU. Daerah penelitian terdiri dari tiga dusun yaitu Dusun Beji, Dusun Bantulan, dan Dusun Cokrobedog. Peta administrasi dan peta penggunaan lahan pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1, yang menunjukkan penggunaan lahan paling mendominasi adalah area permukiman dan area persawahan.



Gambar 1. Peta Administrasi dan Penggunaan Lahan Daerah Penelitian
Sumber : Peneliti, 2020

Penelitian dilakukan pada bulan Juni 2020 yang merupakan musim kemarau. Secara regional daerah penelitian masuk ke dalam Peta Geologi Lembar Yogyakarta Skala 1:100.000. Wilayah penelitian terdiri dari Formasi Merapi Muda yang memiliki satuan batuan secara umum adalah

batupasir, sisipan lempung, batupasir lempungan, lahar, breksi, dan lempung pasiran, yang secara umum didominasi dengan ukuran butir pasir halus–kasar.

Pada penelitian ini dibutuhkan Peta Citra, Peta Geologi Regional Lembar Yogyakarta 1408-2 dan 1407-5, Peta Penggunaan Lahan, dan data curah hujan bulanan BMKG Stasiun Hujan Ngentak. Peta Penggunaan Lahan menunjukkan dominasi penggunaan lahan adalah permukiman dan area pertanian (sawah). Lokasi penelitian tersusun dari Formasi Merapi Muda Gunung Merapi dengan satuan batuan batupasir berukuran butir halus–kerikil. Pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan perangkat komputer, GPS, dan *software* ArcGIS.

Metode penentuan tingkat kerentanan airtanah yang digunakan adalah metode DRASTIC yang dimodifikasi dengan parameter penggunaan lahan. Metode DRASTIC menggunakan 8 parameter dengan teknik *overlay*, dan indeks atau *skoring* berguna untuk mendapatkan nilai total indeks kerentanan airtanah (Rebolledo *et al.*, 2016).

Terdapat 5 klasifikasi kelas kerentanan (Hartoyo *et al.*, 2011). Semakin tinggi nilai parameternya maka total skor tinggi, dan menunjukkan airtanah akan semakin berpotensi untuk tercemar (Putranto *et al.*, 2016). Penggunaan metode ini memberikan asumsi bahwa (1) bahan pencemar masuk melalui infiltrasi; (2) bahan pencemar termobilitas air; (3) luas daerah penelitian lebih dari 50 Ha (Putranto *et al.*, 2016). Bobot parameter Metode DRASTIC penentuan kerentanan airtanah dapat dilihat pada Tabel 1, dan klasifikasi kriteria penilaian parameter Metode DRASTIC dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Keterangan dan Bobot Parameter

No.		Parameter		Bobot
1	D	<i>Depth</i>	Kedalaman muka airtanah	5
2	R	<i>Recharge rate</i>	Curah hujan	4
3	A	<i>Aquifer Media</i>	Media akuifer	3
4	S	<i>Soil Media</i>	Tekstur tanah	2
5	T	<i>Topography</i>	Lereng	1
6	I	<i>Impact of the vadose zone</i>	Media zona tak jenuh	5
7	C	<i>Hydraulic conductivity</i>	Konduktivitas hidraulik	3
8	Lu	<i>Landuse</i>	Penggunaan Lahan	4

Sumber: (Hartoyo *et al.*, 2011)

Pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa terdapat delapan parameter yang digunakan pada metode DRASTIC yaitu kedalaman muka airtanah, curah hujan, media akuifer, tekstur tanah, lereng, media zona tak jenuh, konduktivitas hidraulik dan penggunaan lahan.

Tabel 2. Klasifikasi dan Bobot Masing-Masing Parameter

Parameter	Klasifikasi	Bobot
Kedalaman muka airtanah	0 - 1,5	10
	1,5 – 3	9
	3 – 9	7
	9- 15	5
Curah hujan	15 - 22	3
	0 - 1500	2
	1500 - 2000	4
	2000 – 2500	6
	2500 - 3000	8
Media akuifer	>3000	10
	<i>Shale</i> masif	2
	Batuan metamorf/beku	3
	Batuan metamorf lapuk	4
	Batupasir tipis, <i>shale</i> , dan batugamping	6
	Batupasir masif	6
	Batugamping masif	6
	Pasir dan kerikil	6
	Basalt	9
	Karst, batukapur	10
Tekstur tanah	Tipis	10
	Kerikil	10
	Pasir	9
	Agregat lempung	7
	Geluh pasiran	6
	Geluh	5
	Geluh lanauan	4
	Geluh lempungan	3
	Non- <i>sharing</i> dan agregat lempung	1
Lereng	0 - 2	10
	2 - 6	9
	6 - 12	5
	12 – 18	3
	>18	1
Media Zona Tak Jenuh	Lanau	1
	<i>Shale</i>	3
	Batugamping	6
	Batupasir	6
	<i>Bedded limestone</i> , batupasir, <i>shale</i>	6
	<i>Shale</i> dan kerikil dengan lanau	6
	Pasir dan kerikil	4
	Batuan Metamorf/beku	8
	Basal	9
	Batugamping karst	10
Konduktivitas hidraulik	0 – 0,86	1
	0,86 – 2,59	2
	2,59 – 6,05	4
	6,05 – 8,64	6
	8,64 – 17,18	8
>17,18	10	

Sumber : (Hartoyo *et al.*, 2011)

Setiap parameter akan memiliki skor dari hasil perkalian bobot dan nilai masing-masing parameter. Hasil penjumlahan tujuh parameter DRASTIC tersebut akan diperoleh Indeks DRASTIC melalui perhitungan pada Persamaan 1. Sementara itu, bobot parameter penggunaan lahan dapat dilihat pada Tabel 3.

$$\text{Indeks DRASIC: } D_w D_R + R_w R_R + A_w A_R + T_w T_R + C_w C_R + \dots\dots\dots(1)$$

Tabel 3. Bobot Parameter Penggunaan Lahan

No	Parameter	Nilai
1	Lahan kosong/tak terolah	1
2	Hutan	1
3	Kebun/perkebunan	3
4	Tegalan	3
5	Persawahan	2
6	Permukiman :	
	- Jumlah penduduk rendah	5
	- Ada lokasi industri dan ternak	6
	- Jumlah penduduk sedang	7
	- Ada lokasi industri dan ternak	8
	- Jumlah penduduk tinggi	9
	- Ada lokasi industri dan ternak	10

Sumber : (Hartoyo *et al.*, 2011)

Tabel 3 Menunjukkan kriteria penilaian parameter penggunaan lahan pada pengembangan metode DRASTIC yang berpengaruh pada penentuan tingkat kerentanan airtanah. Indeks DRASTIC tidak bisa langsung digunakan sebagai nilai tingkat kerentanan, karena berperan sebagai kerentanan statis. Guna mengetahui nilai kerentanan dinamis perlu dilakukan perhitungan Indeks Kerentanan yang memperhitungkan faktor penggunaan lahan melalui Persamaan 2.

$$\text{Indeks Kerentanan: Indeks DRASTIC} + L_w L_R \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

L_w = bobot penggunaan lahan

L_R = nilai penggunaan lahan

Berdasarkan nilai Indeks Kerentanan tersebut bisa diketahui tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran melalui klasifikasi kelas kerentanan dengan Metode DRASTIC yang dimodifikasi oleh (Hartoyo *et al.*, 2011). Pembagian tingkat kerentanan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi Kerentanan metode DRASTIC

No.	Klasifikasi	Bobot
1	Tidak rentan	73 – 92
2	Kerentanan rendah	93 – 112
3	Kerentanan sedang	112 – 132
4	Kerentanan tinggi	133 – 152
5	Kerentanan sangat tinggi	153 - 172

Sumber : (Hartoyo *et al.*, 2011)

Setiap sumber air memiliki tingkat kerentanan terhadap pencemaran, namun disesuaikan dengan kemampuan fisik suatu daerah yang ditentukan oleh tingkat sensitivitas terhadap beban pencemar. Mengetahui kerentanan pencemaran berguna untuk mengantisipasi dan lebih memperhatikan lokasi berpotensi pencemaran yang lebih tinggi (Fitri *et al.*, 2014).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah penjabaran mengenai zonasi tingkat kerentanan airtanah di sebagian Desa Sidoarum serta bagaimana penanganan dalam manajemen bencana yang dapat dilakukan untuk mengurangi resiko terjadinya bencana khususnya yang berkaitan dengan airtanah yang dijabarkan pada poin berikut.

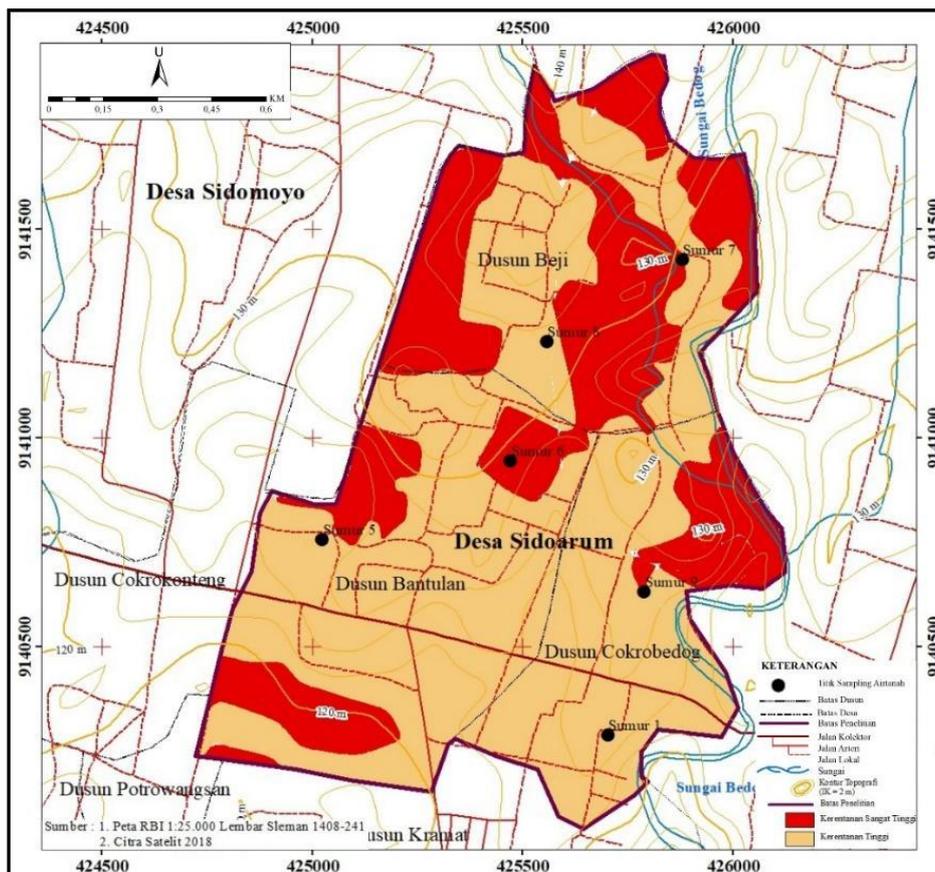
3.1 Zonasi Tingkat Kerentanan

Kelebihan Metode DRASTIC adalah diperuntukan wilayah luas, memiliki akurasi yang baik dan efektif, cocok untuk lokasi pertambangan, sedangkan kekurangannya adalah identifikasi kerentanan rendah, membutuhkan banyak data dan detail yang baik (Lingasari *et al.*, 2019). Wilayah yang luas dan perkembangan penggunaan lahan pertanian dan permukiman menjadi salah satu alasan pentingnya mengetahui zonasi kerentanan di Desa Sidiarum. Hasil dari tingkat kerentanan berdasarkan metode DRASTIC, menunjukkan bahwa terdapat 2 klasifikasi kelas kerentanan yaitu Tinggi (133-152) dan Sangat Tinggi (153-172) yang disajikan pada Gambar 2. Penilaian 8 parameter yang berpengaruh pada zonasi kerentanan airtanah di daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Skoring Metode DRASTIC

Parameter	Penilaian Parameter							
	D	R	A	S	T	I	C	Lu
Nilai	3,7 – 11,3	2076,4 mm/th	Batupasir masif	Pasir geluhan	Datar – landai	Pasir dan kerikil dengan lempung	K = 2,5,	Padat penduduk
Klasifikasi Skor	3 – 9 m 9 – 15m 25 dan 35	Rata-rata 2000 – 2500 24	Batupasir masif 18	Pasir 18	0 – 2 % 10	<i>Shale</i> dan kerikil dengan lempung 30	0,86 – 2,59 6	Padat dan ada ternak 6 – 40

Sumber : Hasil Analisis, (2020)



Gambar 2. Peta Kerentanan Metode DRASTIC di Daerah Penelitian

Keterangan: warna merah kerentanan tinggi, dan warna coklat muda kerentanan sangat tinggi
Sumber: Peneliti, 2020

Pada Gambar 2, area zona kerentanan tinggi ditunjukkan oleh warna merah yang memiliki presentase luas 36,01% dan area kerentanan sangat tinggi ditunjukkan oleh warna coklat muda dengan persentase sebesar 57,93%.

Zonasi kerentanan airtanah tinggi dan sangat tinggi dipengaruhi oleh kedalaman MAT yaitu 3-9 meter pada 21 titik sumur warga yang termasuk dalam kategori airtanah dangkal sehingga memungkinkan polutan untuk mudah melaluinya dan mengakitbatkan pencemaran. Data curah hujan rata-rata di Desa Sidoarum adalah 2076,3 mm/tahun yang termasuk kategori *skoring* tinggi dan sangat berperan dalam transport limbah melalui infiltrasi. Pengenceran oleh air hujan dapat mempermudah terlarutnya kontaminan bergerak ke sistem airtanah apabila terjadi tingkat curah hujan yang tinggi (Sugianti *et al.*, 2016). Faktor media akuifer dan zona tak jenuh tersusun dari material yang sama yaitu batupasir dengan ukuran butir pasir halus-kerikil. Media akuifer yang memiliki ukuran butir pasir menghasilkan cukup rongga untuk membantu infiltrasi dan

memiliki kemampuan mengalirkan polutan dengan cepat. Tekstur tanah pasir di daerah penelitian memiliki kemampuan mempermudah transport kontaminan kontaminan menuju airtanah. Tekstur tanah pasir berpotensi lebih tinggi terjadi pencemaran karena daya serap lebih besar (Sugianti *et al.*, 2016). Desa Sidoarum sebagai daerah *sub urban* dan *discharge* CAT memiliki topografi landai-datar yang merupakan kriteria topografi paling rentan terjadi pencemaran, karena mudah menampung air dan mempermudah infiltrasi sehingga bisa membantu mempercepat pergerakan kontaminan. Satuan batuan batupasir akan mempermudah distribusi airtanah ke permukaan, daerah penelitian memiliki nilai $K = 2,5$ mm/hari sesuai dengan litologi batuanannya. Faktor penggunaan lahan yang didominasi oleh permukiman dan lahan pertanian akan menghasilkan limbah sisa kegiatan domestik maupun limbah pertanian. Limbah domestik dapat terinfiltrasi apabila curah hujan tinggi dan didukung kondisi fisik lokasi untuk bergerak ke bawah permukaan tanpa adanya penyaringan.

Kawasan pertanian akan menghasilkan limbah pertanian akibat penggunaan pestisida yang berlebihan. Meskipun konsentrasi pestisida akan zat pencemar tinggi, namun apabila dalam skala lahan pertanian besar dan terus menerus maka memungkinkan akumulasi zat pencemar. Potensi akumulasi inilah yang memperbesar nilai tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran. Perlu dilakukan pengawasan lebih terkait kewaspadaan potensi pencemaran berdasarkan tingkat kerentanan airtanah. Kondisi fisik yang mendukung tertransportnya zat pencemar akan membantu terjadinya pencemaran meskipun membutuhkan waktu yang relatif lama terhadap pencemaran mengingat daerah penelitian memiliki zona kerentanan pencemaran tinggi dan sangat tinggi.

3.2 Manajemen Bencana

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana menyatakan bahwa definisi dari bencana adalah kejadian atau rangkaian peristiwa yang mengancam kehidupan dan penghidupan masyarakat akibat faktor alam atau non alam yang mengancam menimbulkan korban jiwa, kerusakan alam, kerugian harta, dan dampak psikologis. Pengertian kegiatan pencegahan adalah serangkaian kegiatan untuk upaya mengurangi atau menghilangkan ancaman bencana. Kegiatan pencegahan bencana tersebut salah satunya adalah dalam bentuk perencanaan manajemen bencana.

Menurut Purnama, (2017), manajemen bencana merupakan upaya penghindaran bencana bagi masyarakat yang dilakukan dengan cara mengurangi kemunculan bahaya atau dengan cara mengatasi adanya kerentanan. Adapun model manajemen bencana yang akan digunakan untuk

penelitian ini adalah model *disaster risk reduction framework*. Prinsip manajemen bencana ini adalah identifikasi risiko bencana (cara preventif) baik dalam bentuk kerentanan maupun *hazard* dan mengembangkan kapasitas untuk mengurangi risiko tersebut (Purnama, 2017). Menurut Purnama (2017), terdapat adanya perubahan kecenderungan pada kebijakan manajemen yang perlu diperhatikan antara lain kebijakan manajemen bencana yang akhirnya menjadi tanggung jawab legal karena didorong adanya konteks politik, peningkatan ketahanan masyarakat atau pengurangan risiko kerentanan terhadap pencemaran batas desa dengan penekanan tertentu, dan Pengorganisasian masyarakat dan proses pembangunan merupakan solusi manajemen bencana yang ditekankan.

Potensi bencana yang dapat terjadi dalam hal ini adalah terdapat adanya pencemaran airtanah di daerah penelitian yang diasumsikan berasal dari kegiatan pertanian yang didukung dengan jenis penggunaan lahan berupa permukiman padat penduduk dikelilingi oleh area pertanian. Pelaksanaan dari manajemen bencana untuk kasus pencemaran air ini adalah dengan pemberlakuan arahan pemanfaatan ruang untuk pembangunan yang terpadu dan konsisten. Penetapan pembangunan permukiman yang berdekatan dengan lahan pertanian perlu mendapatkan perhatian khusus. Pemasangan seperti sistem drainase yang tepat untuk jalur aliran air limbah pertanian agar tidak mengarah langsung pada daerah permukiman sehingga mencegah terjadinya infiltrasi pada airtanah yang digunakan oleh masyarakat. Penentuan peta arah aliran airtanah juga dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam pembangunan sistem drainase. Letak dari pada kawasan pertanian harus berada di topografi yang lebih rendah dari topografi area permukiman sehingga aliran limbah pertanian tidak mengalir ke kawasan permukiman. Selain itu perlu diperhatikan pemanfaatan ruang yang sesuai diantara kawasan permukiman padat, hal tersebut dikarenakan beberapa lokasi rumah memiliki peternakan mandiri yang menghasilkan limbah pupuk kandang, yang apabila terjadi infiltrasi akibat curah hujan tinggi maka bisa terjadi pengenceran yang mungkin ikut terinfiltrasi ke akuifer airtanah.

Hal tersebut tidak lepas dari campur tangan pemerintah khususnya dalam pembuatan regulasi yang sistematis terkait dengan pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan dan berdasarkan tingkat kerentanan terhadap pencemaran yang berada di suatu daerah. Daerah yang memiliki tingkat kerentanan tinggi sampai sangat tinggi perlu mendapat perhatian lebih khususnya dalam pemanfaatan ruang di antara wilayah permukiman untuk mencegah terjadinya pencemaran. Beberapa penggunaan lahan dapat menjadi sumber pencemaran untuk beberapa parameter dimana hal tersebut dapat diketahui dengan penilaian yang dilakukan dalam

pembuatan peta tingkat kerentanan airtanah. Jika terjadi pencemaran airtanah atau sedang berlangsung di daerah penelitian perlu adanya tindakan berupa penjaminan kualitas air yang termuat dalam Undang-Undang Republik Indonesia No. 43 Tahun 2008 tentang Airtanah. Penjaminan kualitas tersebut salah satunya dapat berupa adanya pengelolaan terhadap airtanah tersebut yang didasarkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 mengenai kriteria mutu air berdasarkan kelas-kelas tertentu dan dalam konteks penelitian ini adalah tergolong kriteria air kelas satu yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dapat disimpulkan bahwa terdapat 2 tingkat kerentanan yaitu tingkat kerentanan tinggi (133-152) dengan presentase luas 36,01% dan tingkat kerentanan sangat tinggi (153-172) dengan presentase luas 57,93%. Manajemen bencana dapat dilakukan dengan *disaster risk reduction framework* melalui pengurangan resiko sumber pencemar airtanah dengan arahan pembangunan berkelanjutan yang terpadu dan konsisten. Pengadaan regulasi dari pemerintah pusat dan pemerintah daerah tentang pemanfaatan ruang juga bisa berperan dalam kontrol alih fungsi lahan dan mengurangi risiko pencemaran.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta yang telah memberikan bantuan finansial selamat penelitian dan kepada Jurusan Teknik Lingkungan atas bantuan fasilitas laboratorium, artikel, jurnal, ataupun buku sebagai bantuan referensi ilmu dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiningsih, D., Sasongko, S. B., dan Sudarno. (2012). Analisis Kualitas Air Dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal. *Jurnal Presipitasi*, 9(2) : 64–71.
- Alihar, F. (2018). Penduduk dan Akses Air Bersih di Kota Semarang. *Jurnal Kependudukan Indonesia*, 13(1) : 67–76.
- Fitri, R. N., Harisuseno, D., dan Asmaranto, R. (2014). *Studi Kerentanan Polusi Airtanah Dangkal Berbasis Sig Dengan Metode SINTACS Di Kecamatan Tongas Kabupaten Probolinggo*. Skripsi, Universitas Brawijaya Malang.
- Hartoyo, F. A., Cahyadi, A., dan Dipayana, G. A. (2011). *Pemetaan Risiko Pencemaran Airtanah Menggunakan Metode DRASTIC Modifikasi*. Simposium Nasional Sains Geoinformasi

- PUSPICS. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hendrayana, H dan Vicente, V. A. de S. (2013). Cadangan Airtanah Berdasarkan Geometri dan Konfigurasi Sistem Akuifer Cekungan Airtanah Yogyakarta-Sleman. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-6*, 356–370.
- Linggasari, S., Cahyadi, T. A dan Ernawati, R. (2019). Overview Metode Perhitungan Kerentanan Airtanah Terhadap Rencana Penambangan. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi XIV, 2019*, (1451): 123–129.
- Narany, T. S., Aris, A. Z., Sefie, A and Keesstra, S. (2017). Detecting and Predicting The Impact of Land use Changes On Groundwater Quality, a Case Study in Northern Kelantan, Malaysia. *Science of the Total Environment*, 599(600), 844–853.
- Purnama, S. G. (2017). *Modul Manajemen Bencana*. Program Studi Kesehatan Masyarakat Fakultas Kedokteran Universitas Udayana, Bali.
- Putranto, T. T., Widiarso, D. A., dan Yuslihanu, F. (2016). Studi Kerentanan Air Tanah Terhadap Kontaminan Menggunakan Metode DRASTIC di Kota Pekalongan. *Teknik*, 37(1):26-31.
- Rebolledo, B., Gil, A., Flotats, X., and Sánchez, J. Á. (2016). Assessment Of Groundwater Vulnerability To Nitrates From Agricultural Sources Using A GIS-Compatible Logic Multicriteria Model. *Journal of Environmental Management*, 171 : 70–80.
- Sugianti, K., Mulyadi, D., dan Maria, R. (2016). Analisis Kerentanan Pencemaran Air Tanah dengan Pendekatan Metode DRASTIC di Bandung Selatan. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 7(1): 19–33.

DETEKSI DAN KUANTIFIKASI TELUR CACING *ASCARIS* spp. PADA AIR LIMBAH DAN LUMPUR IPAL BOJONGSOANG BANDUNG

Husna Muizzati Shabrina¹⁾, Barti Setiani Muntalif¹⁾, Mayrina Firdayati¹⁾, Inat Shani Fathuna¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung

E-mail: husnashabrina@students.itb.ac.id

Abstrak

Kehadiran telur cacing parasit di lingkungan menjadi perhatian sejak badan kesehatan dunia (WHO) mempublikasikan versi baru dari Pedoman untuk Penggunaan Kembali Air Limbah, Materi Fekal, dan Greywater untuk Pertanian dan Perairan tahun 2006 yang menjadikan telur cacing parasit sebagai polutan yang perlu mendapat perhatian. Batas ekuivalen telur cacing dalam air limbah yang digunakan kembali adalah 1 telur/L sedangkan jumlah maksimum pada lumpur adalah kurang dari 1 telur/gram total solid (TS). Telur cacing parasit, khususnya *Ascaris* spp., menjadi ancaman dalam pemanfaatan kembali air limbah dan lumpur sebagai produk sampingan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD) karena sifatnya yang resisten menyebabkan waktu ketahanan telur cacing lebih panjang dibandingkan mikroorganisme lain. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah telur cacing *Ascaris* spp. pada air limbah dan lumpur IPALD Bojongsoang, Bandung. Sampel air limbah dan lumpur diambil dari kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi. Metode deteksi dan kuantifikasi menggunakan prinsip pencucian, flotasi dan sedimentasi. Hasil penelitian ini adalah ditemukan telur cacing *Ascaris* spp. baik bentuk fertil maupun infertil di semua sampel dengan jumlah telur fertil lebih banyak dibandingkan bentuk infertil. Pada lumpur kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi jumlah telur *Ascaris* spp. fertil berturut-turut adalah 202, 40, dan 39 telur/gram sedangkan telur *Ascaris* spp. infertil adalah 82, 22, dan 27 telur/gram. Pada air inlet, kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi jumlah telur *Ascaris* spp. fertil berturut-turut adalah 3662, 1187, 613, dan 342 telur/liter sedangkan telur *Ascaris* spp. infertil adalah 1227, 333, 240, dan 280 telur/liter. Jumlah ini menunjukkan resiko tinggi pencemaran badan air dan daerah pertanian serta ancaman bagi kesehatan masyarakat di sekitar IPAL.

Kata kunci: Air Limbah, *Ascaris* spp., IPAL Bojongsoang, Lumpur, Telur Cacing Parasit

Abstract

Parasitic helminth eggs in environment has become a critical issue since WHO published new version of Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta, and Greywater in Agriculture and Aquaculture released in 2006 which establish criteria for the parasitic helminth egg as one of the main targeted pollutants. The equivalent limit for wastewater reuse is 1 helminth egg/liter while for sludge is 1 helminth egg/gram total solid. Soil transmitted helminths, specifically *Ascaris* spp., are a threat for municipal WWTP wastewater and sludge reuse because helminth eggs usually more environmentally persistent compared with other microorganisms. This study aims to enumerate *Ascaris* spp. eggs in wastewater and sludge of Bojongsoang WWTP Bandung. Sludge and wastewater samples were taken from anaerobic, facultative, and maturation ponds. Method for detection and enumeration use the washing, flotation, and sedimentation principal. The result is *Ascaris* spp. egg was detected in all samples with fertile form was more abundant than infertile one. In anaerobic, facultative, and maturation ponds the number of *Ascaris* spp. fertile egg are 202, 40, and 39 eggs/gram dry weight respectively, meanwhile for *Ascaris* spp. infertile egg are 82, 22, and 27 eggs/gram dry weight. In wastewater samples, it was found that *Ascaris* spp. fertile eggs are 3662, 1187, 613, and 342 eggs/L, while *Ascaris* spp. infertile eggs are 1227, 333, 240, and 280 eggs/L in inlet, anaerobic, facultative, and maturation ponds samples respectively. Those amount show potential risk to water body and agriculture fields pollution and pose health threat to society.

Keywords: *Ascaris* spp., Bojongsoang WWTP, Parasitic Helminth Egg, Sludge, Wastewater

1. PENDAHULUAN

Air limbah dihasilkan dari setiap kegiatan manusia terutama dari kegiatan domestik. Kenaikan jumlah penduduk akan disertai dengan naiknya jumlah air limbah yang dihasilkan. Limbah cair domestik yaitu limbah dari kakus (*blackwater*) dan limbah cuci selain kakus (*greywater*) mengandung materi pencemar yang bila dalam konsentrasi tinggi dilepas ke lingkungan akan mencemari badan air dan tanah serta mengganggu kesehatan perairan bahkan manusia. Untuk mengurangi resiko pencemaran, limbah cair domestik dapat diolah melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD). IPALD akan menghasilkan air hasil olahan yang dapat digunakan kembali untuk pertanian maupun perikanan.

Sebagian besar pengolahan air limbah melibatkan proses *solid-liquid separation* atau pemisahan antara padatan dengan air limbah. Istilah “lumpur” digunakan untuk menyatakan produk samping berupa padatan yang telah terpisahkan dari pengolahan air limbah. Kandungan utama lumpur IPALD adalah beragam senyawa organik dan anorganik sehingga cocok digunakan sebagai kondisioner tanah atau pupuk. Lumpur terproduksi yang telah diolah dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik di pertanian dan reklamasi tanah.

Terkait potensi penggunaan air limbah dan lumpur IPALD pada pertanian, terdapat resiko yaitu hadirnya mikroorganisme pencemar. Selain bakteri patogen, potensi bahaya yang terkandung dalam air limbah dan lumpur IPALD adalah kehadiran telur cacing parasit (*parasitic helminth egg*). Cacing parasit didefinisikan sebagai cacing yang mampu menginfeksi manusia melalui telurnya sebagai tahap paling infeksi dari hidupnya. Telur cacing adalah agen infeksi dari cacing parasit (*helminth*) karena cacing membutuhkan inang sehingga tidak dapat hidup di lingkungan seperti dalam air limbah dan lumpur. Prevalensi ditemukannya telur cacing pada lumpur lebih tinggi dibandingkan pada air limbah karena telur akan menempel dan terkonsentrasi bersamaan dengan material partikulat dan terakumulasi dalam lumpur (Amoah *et al.*, 2017).

Di dunia, konsentrasi telur cacing di lingkungan menjadi perhatian sejak badan kesehatan dunia (WHO) mempublikasikan pedoman untuk penggunaan lumpur untuk pertanian dan perairan. Penggunaan indikator kualitas lumpur berupa telur cacing parasit dianggap lebih relevan dibandingkan dengan indikator bakteri fekal koliform. Tingkat resistensi telur cacing parasit bahkan jauh melebihi bakteri fekal koliform karena tidak dapat diinaktivasi dengan klorin, sinar ultraviolet ataupun ozon (Jimenez, 2007b). Sayangnya, parameter telur cacing belum terdapat pada peraturan untuk penggunaan kembali air limbah dan lumpur di Indonesia.

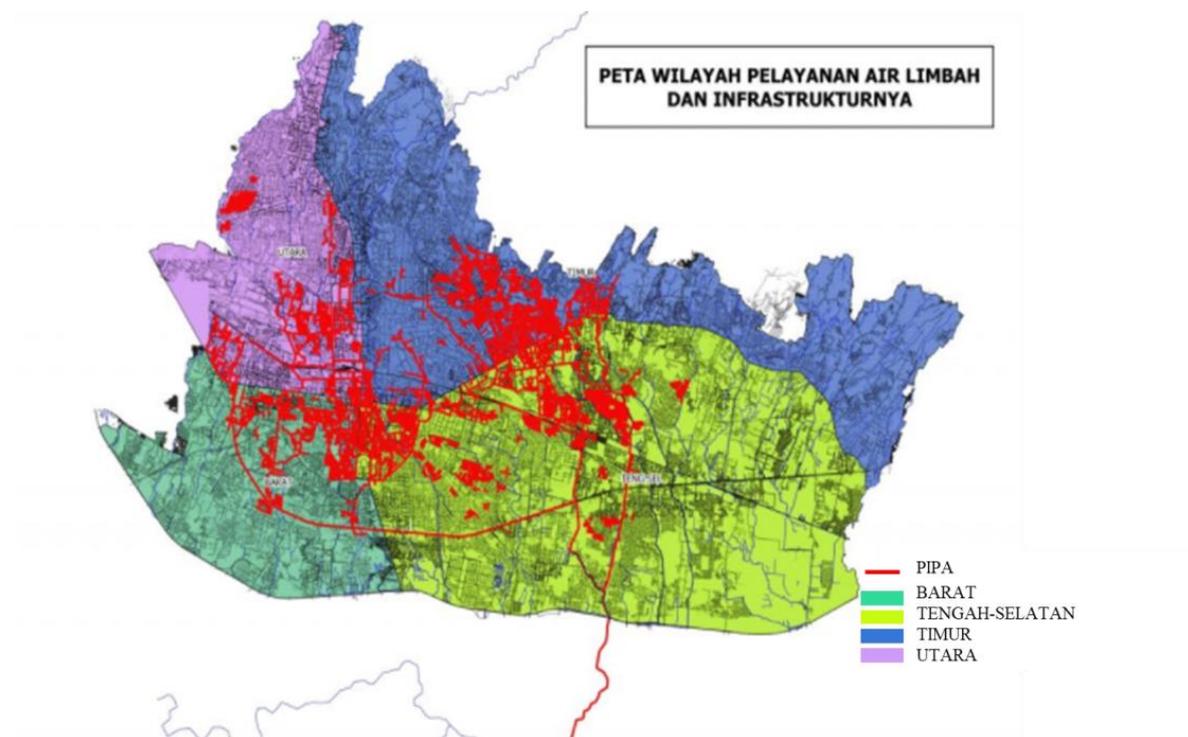
Telur *Ascaris* spp. adalah spesies paling banyak ditemukan pada air limbah dan lumpur yaitu sekitar 86,2% dari keseluruhan telur cacing yang ditemukan (Jimenez, Maya dan Barrios, 2002). *Ascaris* spp. adalah nematode parasit (keluarga Ascarididae) dengan dua spesies paling penting yaitu *Ascaris lumbricoides* dan *Ascaris suum*. Nematoda lebih mampu bertahan dibandingkan Cestoda yang cepat tersisihkan kemungkinan akibat faktor kondisi anaerob, fenomena predator, dan tekanan osmosis (Scwartzbrod *et al.*, 1987 dalam World Health Organization, 2004). Salah satu jenis nematoda yaitu *Ascaris lumbricoides* menjadi parameter paling umum sebagai indikator karena kemampuan telurnya untuk bertahan di lingkungan.

Penyakit infeksi cacing parasit *Ascaris* spp. atau yang disebut ascariasis pada manusia merupakan penyakit kecacingan paling umum yang terjadi di dunia. Ascariasis juga tergolong dalam penyakit tropis yang sering diabaikan (*neglected tropical diseases*, NTD). Ascariasis termasuk NTD utama di Indonesia karena sebagian besar penduduknya hidup di area endemic cacing parasit dengan estimasi 90 juta orang beresiko terkena ascariasis dan sekitar 11% kasus ascariasis di dunia terjadi di Indonesia (Tan *et al.*, 2014). Menurut Departemen Kesehatan Indonesia, angka prevalensi kecacingan di Indonesia yaitu 45-65% (Chadijah, Sumolang dan Veridiana, 2014). Penyakit akibat cacing parasit sangat efektif ditransmisikan ke manusia melalui kontak langsung dengan tanah, tanaman, atau air limbah terkontaminasi telur cacing, termasuk akibat irigasi dengan air limbah tak diolah ataupun yang diolah dengan kurang layak.

Penemuan telur cacing di lumpur lebih banyak ditemukan di negara-negara berkembang seperti Meksiko, Afrika Selatan, dan Lesotho. Konsentrasi telur cacing dapat mencapai 7 – 80 kali lebih tinggi di negara-negara berkembang (Jimenez *et al.*, 2017). Penelitian terdahulu mengenai telur cacing parasit di lingkungan dilakukan oleh Firdayati *et al.* (2018) menyatakan bahwa ditemukan telur cacing dengan jumlah 1 – 119 telur/L di sampel air irigasi, tanah pertanian, dan tanaman di daerah semi urban Bandung yang terkontaminasi air limbah domestik perumahan sekitar yang dibuang ke drainase atau badan air tanpa pengolahan sama sekali. Selain itu penelitian terbaru mengemukakan bahwa terdapat 4 – 617 telur cacing parasit per liter dari truk tinja yang melayani 17 area di Bandung (Muntalif *et al.*, 2020). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan deteksi dan kuantifikasi telur cacing *Ascaris* spp. pada air limbah dan lumpur IPALD dengan harapan dapat menjadi salah satu acuan bagi perumusan standar kualitas air limbah dan lumpur yang akan digunakan kembali di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

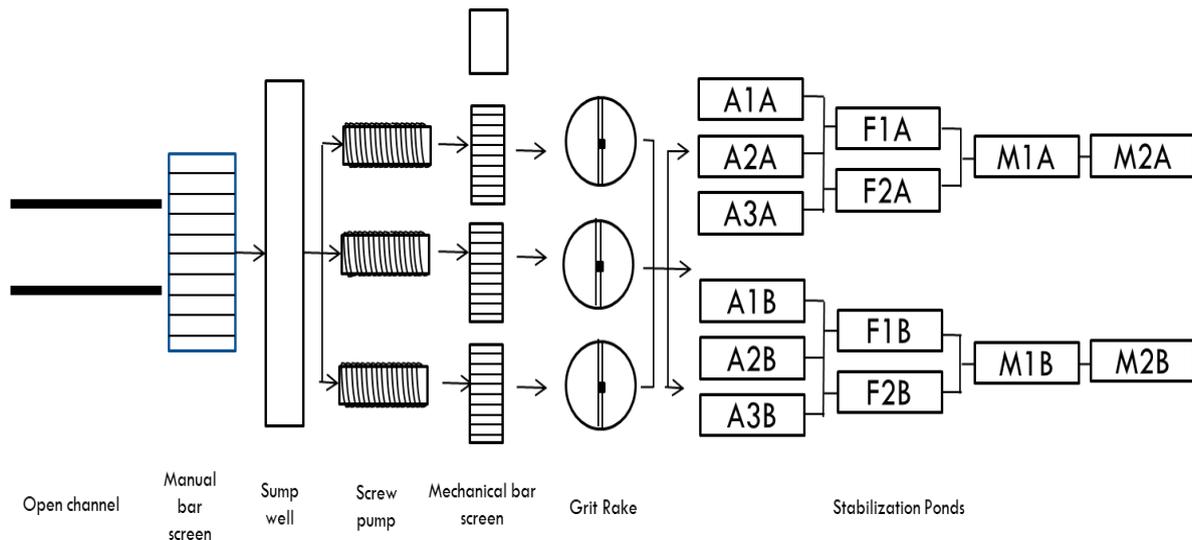
Pada penelitian ini, sampel diambil dari IPAL Bojongsoang yang berlokasi di Kelurahan Bojongsari, Kecamatan Bojongsoang, Kabupaten Bandung. Instalasi Pengolahan Air Limbah Bojongsoang merupakan instalasi yang mengolah air limbah domestik dari Kota Bandung dan sekitarnya. Air limbah domestik yang diterima berasal dari buangan rumah tangga yaitu dari kamar mandi, dapur, dan pencucian. Beberapa air limbah berasal dari area komersil seperti hotel, rumah makan, sekolah, rumah sakit, pusat perbelanjaan, dan perkantoran, namun tidak menerima limbah industri. Peta wilayah pelayanan IPAL Bojongsoang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Wilayah Pelayanan IPAL Bojongsoang

Sumber: PDAM Tirtawening, 2018

Proses pengolahan air limbah di IPAL Bojongsoang terdiri dari dua tahapan proses yaitu proses fisik dan proses biologi. Ilustrasi proses pengolahan air limbah di IPAL Bojongsoang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Proses Instalasi Pengolahan Air Limbah Bojongsoang

Sampel lumpur diambil dari kolam-kolam stabilisasi yaitu anaerobik (kode A), fakultatif (kode F), dan maturasi (kode M) sedangkan sampel air limbah diambil dari kolam-kolam stabilisasi dan inlet. Sampel diambil secara *grab sampling* pada rentang waktu antara pukul 8 - 11 pagi dimana debit air limbah di inlet tinggi. Sebanyak 5 liter sampel air dan 1 – 10 liter sampel lumpur basah per titik diambil dan disimpan dalam botol sampel plastik berpenutup dalam dan luar. Sampel dibawa dengan *ice box* dan segera dibawa ke laboratorium. Sampel diawetkan dengan menyimpan sampel pada pendingin dengan temperatur 4°C. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Kualitas Air dan Laboratorium Mikrobiologi Teknik Lingkungan ITB. Karakterisasi fisik sampel yang dilakukan beserta alat/metodenya tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter fisik-kimia yang diukur dan alat ukur/metodenya

Parameter	Alat Ukur/Metode	Keterangan
pH	pH meter	Uji di laboratorium
Temperatur	Termometer	Uji di lapangan
Kadar air	Metode Gravimetri	Uji di laboratorium

Parameter kadar air dihitung berdasarkan persamaan 1 dan parameter berat kering dihitung berdasarkan persamaan 2.

$$MC = \frac{W_{basah} - W_{kering}}{W_{basah}} \times 100 \quad (1)$$

dengan :

MC = *Moisture Content* atau kadar air (%)

W_{basah} = berat solid basah (gram)

W_{kering} = berat solid kering (gram)

$$BK = A - B \quad (2)$$

dengan

BK = berat kering (gram)

A = berat cawan + sampel setelah dioven 103 - 105° C selama 1 jam

B = berat kosong cawan

Analisis untuk deteksi dan kuantifikasi telur *Ascaris* spp, dilakukan pada air limbah dan lumpur. Pada air limbah, sampel dipreparasi untuk kuantifikasi dengan menggunakan metode *Bailenger* termodifikasi oleh Ayres dan Mara sesuai rekomendasi WHO. Setiap sampel diendapkan selama 24 jam dalam laboratorium dengan suhu ruang. Kemudian sedimen yang terendapkan disentrifugasi pada 1200 rpm selama 15 menit. Residu kemudian dicampur dengan penyangga asam asetat pH 4,5 pada volume yang sama. Satu volume ekuivalen eter ditambahkan hingga volume menjadi dua kali lipat lalu dikocok selama 10 menit. Sampel lalu disentrifuga selama 6 menit pada 1200 rpm. Sedimen yang dihasilkan lalu diresuspensi dengan 5 ml larutan ZnSO₄ SG 1,3.

Pada lumpur, metode deteksi dan kuantifikasi dilakukan menggunakan metode pencucian, flotasi, dan sedimentasi berdasarkan penelitian Amoah *et al.*, (2018). Pada prinsipnya, 20 gram sampel lumpur ditambahkan larutan deterjen Tween80 0,1%, dihomogenisasi, lalu disaring pada ayakan 100 dan 20 µm. Sampel yang tertahan di ayakan 20 µm dimasukkan ke dalam tabung sentrifuga dan disentrifugasi selama 10 menit pada 3000 rpm lalu supernatan dibuang. Larutan ZnSO₄ dengan *specific gravity*, SG 1,3 ditambahkan hingga memenuhi tabung sentrifuga, sentrifugasi kembali selama 10 menit pada 2000 rpm. Supernatan disaring kembali di ayakan 20 µm, residu yang tertahan dipindahkan ke dalam tabung sentrifuga. Resentrifugasi selama 10 menit pada 3000 rpm, buang supernatan, dan amati residu yang dimasukkan dalam *slide* McMaster di bawah mikroskop dengan perbesaran 200x. Identifikasi telur *Ascaris* spp. di bawah mikroskop mengacu pada ciri-ciri fisik yaitu bentuk dan ukuran telur, dicocokkan

dengan acuan dari WHO tahun 1994. Jumlah telur cacing per gram atau per liter sampel dihitung dengan persamaan 3.

$$N = \frac{A X}{P V} \quad (3)$$

dengan

N = jumlah telur cacing (per gram atau per liter)

A = jumlah telur dalam slide atau rerata dari dua atau tiga slide

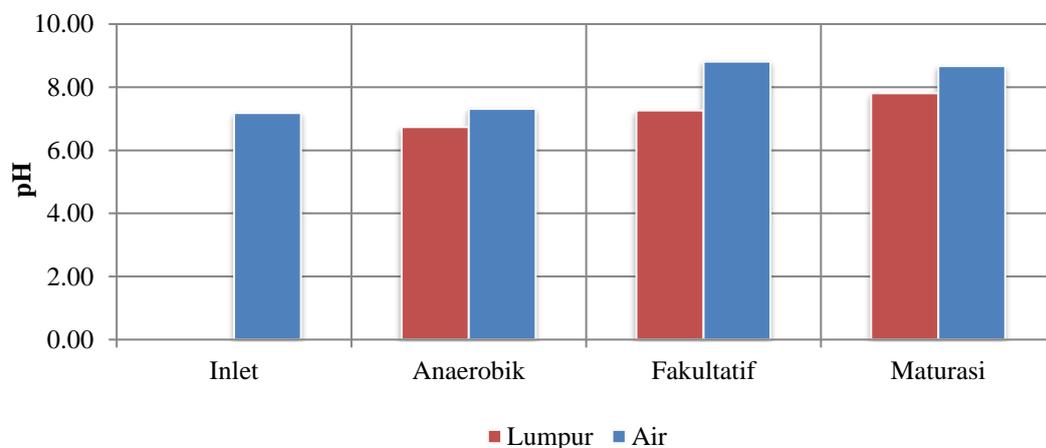
X = volume akhir produk (ml)

P = volume slide, McMaster = 0,3 ml

V = berat sampel awal (gram atau liter)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik fisik lumpur IPAL Bojongsoang yaitu pH, temperatur, dan kadar air merupakan parameter yang mempengaruhi kelangsungan hidup *Ascaris* spp. Nilai pH dari sampel lumpur dan air limbah ditunjukkan pada Gambar 3.



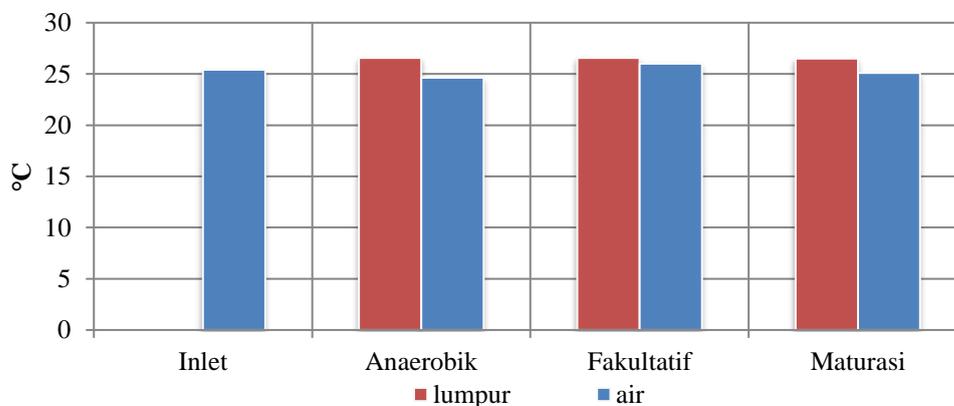
Gambar 3. pH sampel lumpur dan air limbah

pH sampel lumpur semakin meningkat dari kolam anaerobik hingga kolam maturasi. Hasil serupa ditunjukkan oleh penelitian Richard (2015) dimana pH lumpur fekal di kolam stabilisasi meningkat dari kolam anaerobik hingga maturasi, namun dengan pH lebih tinggi yaitu 8,45 hingga tertinggi 9,77. pH yang meningkat dapat terjadi akibat adanya reduksi pada proses oksidasi biologi selama lumpur berpindah pada kolam-kolam stabilisasi. Proses biologis anaerob pada kolam anaerobik menyebabkan adanya proses asetogenesis yang dapat membuat pH lumpur rendah. Pembentukan asam asetat dan asam propionate pada asetogenesis dapat

membuat pembentukan hidrogen dalam jumlah besar sehingga menurunkan pH (Sperling and Chernicharo, 2005). Sedangkan tingginya pH pada lumpur kolam maturasi dapat diakibatkan oleh aktivitas fotosintesis yang tinggi oleh alga yang mengubah CO₂ lebih cepat dibandingkan respirasi bakteri sehingga ion karbonat dan bikarbonat terdisosiasi (Mara and Pearson, 1998).

Secara keseluruhan, pH yang terukur di semua sampel tergolong pH optimum bagi telur cacing karena spesies cacing parasit yang menginfeksi manusia maupun hewan akan berhasil menghasilkan telur dan berkembang menjadi tahap infeksi pada rentang pH 4,6 – 9,4. pH mempengaruhi kelangsungan hidup telur *Ascaris* spp. karena perbedaan ekologis signifikan dalam hal ini adalah feses dan tanah selain menyediakan pH optimum bagi telur juga menyediakan nutrisi dan elektrolit yang diperlukan untuk perkembangan larva menuju tahap infeksi (WHO, 2004)

Rerata temperatur seluruh sampel lumpur berada di rentang 26,5°C – 26,6°C. Nilai ini dicatat pada musim kemarau di bulan Januari dimana temperature ambien relatif tinggi. Nilai temperatur air, di sisi lain, bervariasi pada inlet, kolam anaerobik, kolam fakultatif, dan kolam maturasi. Temperatur sampel lumpur dan air ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Temperatur sampel lumpur dan air limbah

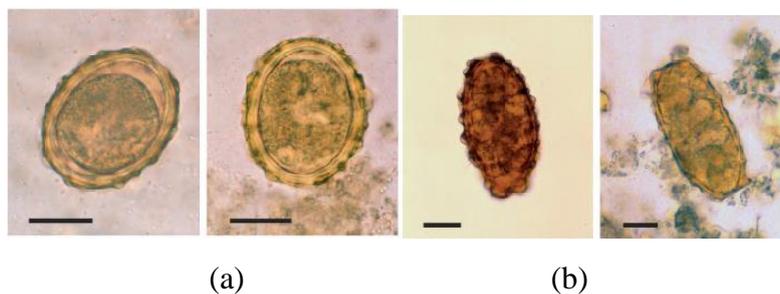
Temperatur merupakan salah satu faktor fisik penting bagi ketahanan telur cacing termasuk *Ascaris* di lingkungan. Temperatur yang sesuai bagi telur agar dapat berkembang menjadi larva infeksi adalah di sekitar 25 °C (de Silva, Chan dan Bundy, 1997). Oleh karena itu, temperatur sampel lumpur dan air limbah yang terukur merupakan temperatur yang cocok bagi perkembangan telur menjadi larva. Parameter lain yaitu kadar air lumpur ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar air sampel lumpur

Kolam	Kadar Air (%)
Anaerobik	85,16
Fakultatif	85,80
Maturasi	75,92

Kadar air pada sampel lumpur di ketiga kolam tergolong tinggi yaitu lebih dari 70%. Kondisi demikian terjadi karena sampel lumpur basah, diambil langsung dari kolam tanpa adanya pemadatan maupun pengeringan. Kadar air dalam lumpur akan berdampak pula pada kelembaban lumpur dimana kelembaban tinggi akan menjadikan lingkungan hidup telur *Ascaris* ideal. Kadar air juga akan menjadi dasar perhitungan berat kering lumpur yaitu faktor pembagi dalam perhitungan telur cacing *Ascaris* spp.

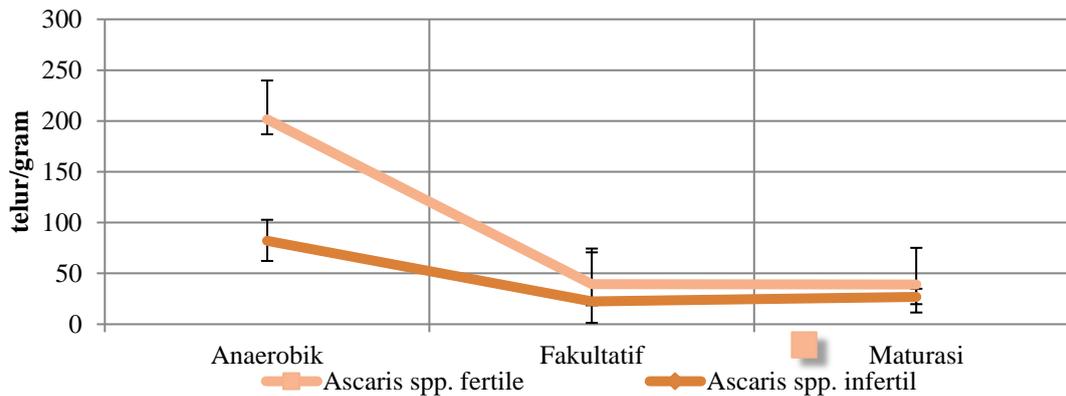
Karena hanya telur cacing parasit *viable* yang dapat menjadi infeksius, dapat dikatakan bahwa penting untuk membedakan antara telur fertil dan infertil. Telur *Ascaris* spp. memiliki ciri fisik yaitu berbentuk lonjong atau bulat, cangkang yang bergerigi (memiliki mamilla), lapisan luar yang tebal dan kasar, lapisan tengah yang tak berwarna dan sangat tebal, lapisan dalam yang mengandung membran inti tipis. Bentuk fertil memiliki panjang 45 – 75 μm dan lebar 35 – 50 μm , sedangkan bentuk infertil secara umum lebih besar (panjang 88 -94 μm , lebar 39 – 44 μm), lebih ramping dan lebih memanjang, kandungan telur penuh dengan butiran refraktil yang bulat dan besar (WHO, 2004). Visual acuan bagi perhitungan telur *Ascaris* spp. di bawah mikroskop ditunjukkan pada Gambar 5.

**Gambar 5.** Bentuk telur (a) *Ascaris lumbricoides* fertil (b) *A. lumbricoides* infertil

Sumber: WHO, 1994

Hasil perhitungan telur *Ascaris* spp. dalam sampel lumpur ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar 6 menunjukkan rata-rata jumlah telur *Ascaris* spp. fertil di pada kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi berturut-turut adalah 202 telur/gram, 40 telur/gram, dan 39 telur/gram. Sedangkan

untuk *Ascaris* spp. infertil, jumlah telur *Ascaris* spp. rata-rata 82 telur/gram, 22 telur/gram, dan 27 telur/gram. jumlah telur *Ascaris* spp. fertil lebih banyak dibandingkan *Ascaris* spp. infertil di semua kolam. Jumlah telur *Ascaris* spp. baik fertil maupun infertil tertinggi terdapat pada kolam anaerobik kemudian menurun di kolam fakultatif sedangkan dari kolam fakultatif ke maturasi terdapat nilai yang konstan cenderung naik.



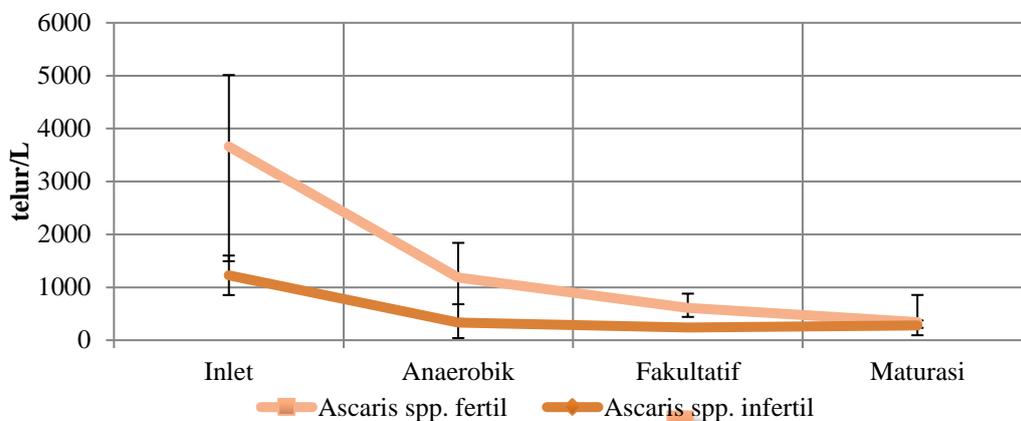
Gambar 6. Jumlah telur *Ascaris* spp. dalam lumpur

Kolam anaerobik menjadi tempat terjadinya sedimentasi pertama air limbah. Oleh karena itu kolam ini memiliki jumlah telur *Ascaris* spp. dalam lumpur paling banyak dibandingkan dua kolam lainnya. Hal ini serupa dengan hasil penelitian Bouhoum *et al* (2000) dimana pada kolam sedimentasi pertama ditemukan telur *Ascaris* spp. dalam jumlah rata-rata 6,5 telur/gram berat kering sedangkan di kolam sedimentasi kedua tidak ditemukan sama sekali. Sedangkan pada kolam fakultatif dan kolam maturasi terjadi penurunan jumlah telur *Ascaris* spp. karena telah tersedimentasi di kolam sebelumnya. Kolam maturasi memiliki tujuan utama menyisihkan organisme patogen sehingga kondisi lingkungan diatur agar tidak sesuai dengan kebutuhan patogen (Von Sperling, 2007).

Pedoman WHO memberikan kriteria telur cacing untuk penggunaan kembali air limbah adalah kurang dari 1 telur/L sementara dalam lumpur adalah kurang dari 1 telur/gram *total solid* (TS) (WHO, 2006). Sedangkan US EPA mengatur biosolid yang telah diolah digolongkan menjadi kelas A atau kelas B dengan perbedaan patogen akhir setelah pengolahan. Persyaratan lumpur agar tergolong biosolid kelas A salah satunya yaitu jumlah telur cacing 1 telur/4 gram berat kering (USEPA, 2003). Sementara di Chili baku mutu untuk air limbah untuk irigasi adalah kurang dari 1 nematode/L. Meksiko juga menerapkan batas yaitu kurang dari 5 telur/L. Meskipun penelitian oleh Bastos dkk. (2013) menyimpulkan bahwa nilai tersebut sangat ketat dan diperlukan pengkajian ulang untuk pola di negara-negara berkembang, tanpa mengabaikan

resiko kesehatan bagi masyarakat. Oleh karena itu, bila hanya dari jumlah telur *Ascaris* yang ditemukan dalam sampel lumpur IPAL Bojongsoang sudah melebihi 1 telur/gram maka keseluruhan jumlah telur cacing parasit akan jauh lebih banyak dan melebihi standar WHO serta US EPA kelas A.

Efisiensi penyisihan telur cacing pada kolam stabilisasi lebih mudah diuraikan dengan parameter telur cacing dalam air limbah. Oleh karena itu, dilakukan pula perhitungan jumlah telur *Ascaris* spp. dalam air inlet, kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi. Jumlah telur *Ascaris* spp. dalam air saat diplot dalam grafik ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Jumlah telur *Ascaris* spp. dalam air limbah

Serupa dengan hasil di sampel lumpur, telur *Ascaris* spp. fertil ditemukan lebih banyak dibandingkan dengan telur *Ascaris* spp. infertil. Rerata telur *Ascaris* spp. fertil dalam air inlet adalah 3662 telur/liter, menurun pada kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi berturut-turut sebesar 1187 telur/liter, 613 telur/liter, dan 342 telur/liter. Sementara jumlah telur *Ascaris* spp. infertil adalah 1227 telur/liter, 333 telur/liter, 240 telur/liter, dan 280 telur/liter. Proses pengolahan air limbah secara biologi secara substansial mampu mengurangi jumlah patogen dalam air limbah (US EPA, 1989). Proses ini juga mampu mengurangi jumlah patogen dengan menyediakan kondisi yang tidak sesuai untuk bertahannya patogen. Sedimentasi menjadi faktor utama untuk eliminasi patogen dalam pengolahan air limbah yang menyebabkan akumulasi patogen di sedimen (Bouhoum, *et al.*, 2000). Pada pengolahan air limbah dalam IPALD, padatan tersuspensi tersisihkan dari air limbah selama pengolahan dari kolam stabilisasi satu ke kolam lainnya seiring dengan sedimentasi. Dengan demikian, secara umum telur cacing telah tersisihkan dari air limbah dan terakumulasi dalam lumpur (Jimenez, 2007a).

Tingginya jumlah telur cacing parasit dalam air limbah mengindikasikan potensi banyaknya penduduk yang menderita Ascariasis dimana feces dari penderita mengandung telur cacing dan masuk ke air limbah. Sebagaimana telah diuraikan oleh Andreoli *et al* (2007) bahwa jumlah telur cacing parasite dalam air limbah domestik salah satunya bergantung pada tingkatan status kesehatan masyarakat sekitar dan kondisi sanitasi. Jumlah tersebut juga menunjukkan resiko tinggi pencemaran badan air dan daerah pertanian karena air dari IPAL Bojongsoang digunakan untuk irigasi masyarakat sekitar.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian terhadap sampel air limbah dan lumpur yaitu telur *Ascaris* spp. ditemukan di semua sampel dengan jumlah bentuk fertil lebih tinggi dibandingkan bentuk infertil. Pada lumpur kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi jumlah telur *Ascaris* spp. fertil berturut-turut adalah 202, 40, dan 39 telur/gram sedangkan telur *Ascaris* spp. infertil adalah 82, 22, dan 27 telur/gram. Pada air inlet, kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi jumlah telur *Ascaris* spp. fertil berturut-turut adalah 3662, 1187, 613, dan 342 telur/liter sedangkan telur *Ascaris* spp. infertil adalah 1227, 333, 240, dan 280 telur/liter. Dengan demikian, bila hanya dari jumlah telur *Ascaris* yang ditemukan dalam sampel lumpur IPAL Bojongsoang sudah melebihi 1 telur/gram maka keseluruhan jumlah telur cacing parasit akan jauh lebih banyak dan melebihi standar WHO serta US EPA kelas A.

DAFTAR PUSTAKA

- Amoah, I. D., Singh, G., Stenström, T.A., and Reddy, P. (2017). Detection and Quantification of Soil-Transmitted Helminths in Environmental Samples : A Review of Current State-of-The-Art and Future Perspectives. *Acta Tropica*, 169, 187–201.
- Amoah, I. D., Reddy, P., Seidu, R., and Stenström, T.A. (2018). Concentration of Soil-Transmitted Helminth Eggs in Sludge from South Africa and Senegal : A Probabilistic Estimation of Infection Risks Associated with Agricultural Application. *Journal of Environmental Management*, 206, 1020–1027.
- Bastos, V. K., Cutolo, S.A., Doria, M.C.O., and Razzolini, M.T.P. (2013). Detection and Quantification of Viable *Ascaris* sp. and Other Helminth Eggs in Sewage Sludge. *International Journal of Environmental Health Research*, 23(4) : 352–362.
- Bouhoum, K., Amahmid, O., and Asmama, S. (2000). Occurrence and Removal of Protozoan Cysts and Helminth Eggs in Waste Stabilization Ponds in Marrakech. *Water Science and Technology*, 42(10–11) : 159–164.

- Chadijah, S., Sumolang, P., and Veridiana, N. (2014). Hubungan Pengetahuan, Perilaku dan Sanitasi Lingkungan dengan Angka Kejadian Kecacingan pada Anak Sekolah Dasar di Kota Palu. *Media Litbangkes*, 24(1) : 50–56.
- Firdayati, M., Notodarmojo, P.A., Muntalif, B.S., Trihartomo, D., Fathuna, I.S., and Somantri, K. (2018). Helminth Eggs Parameter of Water Spinach Agriculture Field in Bandung. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 2(1): 27–34.
- Jimenez, B. (2007). Helminth Ova Control in Sludge : A Review. *Water Science and Technology*, 56 (9) : 147 - 155.
- Jimenez, B. (2007). Helminth Ova Removal from Wastewater for Agriculture and Aquaculture Reuse. *Water Science and Technology*, 55(1-2): 485–493.
- Jimenez, B., Maya, C., Barrios, J.A., and Navarro, I. (2017). *Helminths and Their Role in Environmental Engineering*, in Rodrigo, L. (ed.) *Human Helminthiasis*. London : Intech Open.
- Jimenez, B., Maya, C., and Barrios, J. A. (2002). Comparison of The Quantity and Quality of the Microbiological Content of Sludge in Countries with Low and High Content of Pathogens. *Water Science and Technology*, 46(10) : 17–24.
- Mara, D and Pearson, H. (1998). *Design Manual for Waste Stabilization Ponds in Mediterranean Countries*. Leeds : Lagoon Technology International Ltd.
- Muntalif, B.S., Firdayati, M., Lesmono, F.D., Siregar, A.S.V., Notodarmojo, P.A., and Fathuna, I.S. (2020). Helminth Eggs Assessment of Fecal Sludge in Urban Area of Bandung, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 148, 04002.
- PDAM Tirtawening. (2018). *IPAL Bojongsoang*. Bandung : Tirtawening PDAM Kota Bandung.
- Richard, O. A. (2015). *Treatment Efficiency of Waste Stabilisation Ponds for Faecal Sludge and Potential Reuse in Agriculture*. Thesis, University for Development Studies.
- de Silva, N., Chan, M., and Bundy, A. (1997). Morbidity and Mortality due to Ascariasis: Reestimation and Sensitivity Analysis of Global Numbers at Risk. *Tropical Medicine and International Health*, 2(6) : 519–528.
- Von Sperling, M. (2007). *Waste Stabilisation Ponds, in Biological Wastewater Treatment Series*. London: IWA Publishing.
- Sperling, M. von and Chernicharo, C. A. de L. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*. London: IWA Publishing.
- Tan, M., Kusriastuti, R., Savioli, L., and Hotez, P.J. (2014). *Indonesia: An Emerging Market*

Economy Beset by Neglected Tropical Diseases (NTDs). *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 8(2) : 6–10.

US EPA. (1989). *Technical Support Document for Pathogen Reduction in Sewage Sludge*. Springfield: National Technical Information Service.

US EPA. (2003). *Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge, Environmental Regulations and Technology*. Washington, DC.

WHO. (1994). *Bench Aids for The Diagnosis of Intestinal Parasites*. France: World Health Organization.

WHO. (2004). *Integrated Guide to Sanitary Parasitology*. Amman, Jordan: World Health Organization.

WHO. (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta And Greywater volume 1*. Geneva : World Health Organization.