



JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING & WASTE MANAGEMENT

JURNAL TEKNIK LINGKUNGAN DAN PENGELOLAAN LIMBAH

**JENV**

Vol. 01

No. 01

Page 01-63

April 2016

ISSN 2527-9629



JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING & WASTE MANAGEMENT
JURNAL TEKNIK LINGKUNGAN DAN PENGELOLAAN LIMBAH

Penanggung Jawab

Ir. Temmy Wikaningrum, M.Si.

Dewan Editor

Prof. Dr.-Ing. Ir. Suprihatin	Institut Pertanian Bogor
Ir. R. Driejana, M.SCE, Ph.D.	Institut Teknologi Bandung
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.S.E., M.Sc., Ph.D.	Institut Teknologi Sepuluh November
Dr. Astri Rinanti Nugroho, M.T.	Universitas Trisakti
Dr. Ir. Yunita Ismail, M.Si.	Universitas Presiden
Ir. Ramadhani Yanidar, M.T.	Universitas Trisakti
Anindrya Nastiti, S.T. M.T.	Institut Teknologi Bandung

Ketua Editor Pelaksana

Filson M. Sidjabat, S.T., M.T.	Universitas Presiden
--------------------------------	----------------------

Editor Pelaksana

Rijal Hakiki, S.S.T., M.T.	Universitas Presiden
Yandes Panelin, S.T., M.T.	Universitas Presiden
Sukino, S.I.P.	Universitas Presiden
Eva Mudzalifah, S.E.	Universitas Presiden

Alamat Redaksi

JEN Journal of Environmental Engineering & Waste Management
Jurnal Teknik Lingkungan dan Pengelolaan Limbah

Building A Lt. 3 President University
Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang Baru, Bekasi 17550 – Indonesia
Phone./Fax: (021) 8910 9762 / 9768; Email: j-env@president.ac.id
Website: env.president.ac.id (President University: www.president.ac.id)

JENV adalah jurnal yang mengkaji berbagai masalah/persoalan terkini yang bersifat mendasar atau terapan yang berhubungan dengan bidang teknik dan pengelolaan lingkungan serta pengelolaan limbah dengan frekuensi penerbitan dua kali setahun pada April dan Oktober. Kelayakan pemuatan dipertimbangkan oleh penilai dengan *double blind review* berdasarkan keaslian dan keabsahan ilmiah.



JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING & WASTE MANAGEMENT
JURNAL TEKNIK LINGKUNGAN DAN PENGELOLAAN LIMBAH

Volume 1, No.1, April 2016

EDITORIAL

Pembaca yang terhormat, Jurnal Teknik Lingkungan dan Pengelolaan Limbah (JENV) yang terbit bulan April 2016 ini merupakan edisi perdana yang diterbitkan oleh Universitas Presiden. Dengan tujuan untuk berkontribusi secara nyata di bidang Teknik Lingkungan berdasarkan ilmu pengetahuan, manajemen dan teknologi yang terkini, kehadiran jurnal ini diharapkan mampu memberikan inspirasi terhadap solusi masalah-masalah lingkungan yang semakin memerlukan perhatian yang memadai.

Pada edisi perdana Jurnal JENV ini terdapat satu makalah di bidang manajemen lingkungan : Pengembangan Kebijakan Integrasi Sistem Manajemen Mutu dan Lingkungan Berkelanjutan; tiga makalah di bidang pengolahan air : Studi Potensi Penyisihan Organik pada Efluen IPAL Domestik dengan *Constructed Wetland*, Mikroalga sebagai Bioindikator Kualitas Air Permukaan dan *Application of UV Technology on Water De-chlorination*; satu makalah di bidang pencemaran udara : Kontribusi Emisi Gas Rumah Kaca oleh kegiatan Eksplorasi dan Produksi Minyak dan Gas pada PT PEP; serta satu makalah tentang daya dukung lingkungan : Analisis Daya Dukung Lahan dan Daya Tampung Air Sungai Pudu Kecamatan Mandau Kabupaten Bengkalis Riau.

Semua tulisan ilmiah yang dipublikasikan telah melalui proses seleksi dengan metoda *double blind* oleh dewan redaksi dan mitra bestari.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terimakasih kepada dewan pengarah, dewan redaksi, editor pelaksana, tim sekretariat, dan para penulis yang telah memberikan peran secara aktif sehingga penerbitan Jurnal JENV ini dapat terlaksana dengan baik. Kami berharap Jurnal JENV volume 1 nomor 1 bulan April 2016 ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu dan pendidikan di Indonesia, khususnya di bidang Lingkungan Hidup.

Ketua Dewan Editor

PENGEMBANGAN KEBIJAKAN INTEGRASI SISTEM MANAJEMEN MUTU DAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN

Studi Kasus Kawasan Industri Jababeka, Cikarang, Bekasi

Aris Dwi Cahyanto
PT Jababeka Infrastruktur
WTP Building, Jln Jababeka IV Blok B-12
Kawasan Industri Jababeka Tahap I Cikarang Bekasi 17530
Email : arisdwicahyanto@gmail.com , cahyanto_adc@hotmail.com

Abstrak: Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengembangan kebijakan integrasi sistem manajemen mutu dan lingkungan secara berkelanjutan. Peneliti menggunakan analisis multi dimensi. Analisis multi dimensi digunakan untuk menentukan status keberlanjutan dan faktor pengungkit dari layanan pelanggan. Hasil yang didapat bahwa status keberlanjutan layanan pelanggan ditinjau dari dimensi ekonomi adalah cukup keberlanjutan, namun ditinjau dari dimensi ekologi, sosial, teknologi dan kelembagaan adalah kurang keberlanjutan. Hasil analisis MDS menjelaskan terdapat dua puluh tiga atribut yang menjadi faktor pengungkit. Agar pengembangan kebijakan sistem manajemen mutu dan lingkungan berkesinambungan maka pengelola kawasan mengarahkan kebijakan pada dimensi kelembagaan, diikuti dimensi teknologi, ekologi dan sosial.

Kata Kunci: kebijakan, mutu, lingkungan

Abstract: The purpose of this research is to analyze an integrated policy development of quality and environment management system. To achieve the purpose, researcher use multi dimensional scaling (MDS) method. MDS can use to analyze sustainability status and leverage factors of tenant service. Result of this research show that tenant service reviewed from ecological, sociable, technological, institutional dimensions has less-sustainable status. However, when seen from its economical dimension, this tenant service matter is quite sustainable. Result of MDS describe that there were twenty three attributes which become to be leverage factor. The integrated policy development of quality and environment management system become to sustainable, if the area management direct policy to focus on institutional, technological, ecological and social dimensions.

Keywords: policy, quality and environment.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Aktifitas industri di dalam sebuah kawasan industri diperlukan untuk mendorong laju pertumbuhan ekonomi. Namun akibat aktifitas industri dapat berpotensi positif dan negatif bagi pemangku kepentingan, yang berada di kawasan industri. Dunia industri juga dituntut untuk memberikan sumbangan dalam pencapaian hubungan yang harmonis dan saling menguntungkan antara industri dengan ekosistem yang berada di sekitar industri.

Upaya untuk menempatkan aktifitas industri dalam sebuah kawasan industri mempunyai misi dan tujuan yang baik yaitu menciptakan lingkungan industri yang baik serta membantu industri yang berada di dalam kawasan industri untuk mencapai efektifitas proses produksi.

Proses dan perijinan pembangunan pabrik berjalan dengan lebih baik karena di dalam kawasan industri diwajibkan menyediakan sarana dan prasarana penunjang sebagaimana diamanatkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2009 tentang Kawasan Industri serta Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 35 tahun 2010 tentang Pedoman Teknis Kawasan Industri.

Kawasan industri selain menciptakan pertumbuhan ekonomi, juga menimbulkan permasalahan yang kompleks. Permasalahan yang kompleks yang meliputi tuntutan pelanggan di dalam kawasan industri dan pengelolaan lingkungan dalam kawasan industri. Tjiptono (2001) mengungkapkan bahwa kepuasan pelanggan akan memberikan manfaat positif bagi perusahaan yakni terbentuknya loyalitas

pelanggan baik internal maupun eksternal perusahaan. Untuk menangani tuntutan pelanggan serta pengelolaan lingkungan dibutuhkan sistem integrasi manajemen mutu dan lingkungan yang mampu meningkatkan pengelolaan kawasan industri. Sistem integrasi manajemen mutu dan lingkungan membutuhkan kebijakan yang merupakan arahan dalam mengelola kawasan industri. Kebijakan integrasi sistem manajemen mutu dan lingkungan perlu ditinjau dan dikembangkan, mengingat tuntutan pelanggan dan pengelolaan lingkungan juga memerlukan proses perbaikan yang berkesinambungan, yang pada akhirnya menuju pengelolaan kawasan industri yang berkelanjutan.

Kawasan Industri Jababeka dipilih sebagai contoh kasus karena merupakan kawasan industri swasta nasional pertama di Indonesia serta mempunyai jumlah pelanggan terbanyak. Kebijakan integrasi sistem manajemen mutu dan lingkungan Kawasan Industri Jababeka (KIJA) yang telah ada terdiri dari (1) kualitas produk dan jasa yang melampaui harapan pelanggan, (2) keramahan pelayanan dan respon yang cepat atas setiap pengaduan pelanggan, (3) inovatif dalam pengembangan produk dan pelayanan serta penyempurnaan organisasi secara berkesinambungan, (4) pemenuhan persyaratan dan perundangan dalam upaya mencegah pencemaran lingkungan, telah ada sejak tahun 2001 perlu dievaluasi untuk disesuaikan dengan kondisi sekarang dan yang akan datang.

Kebijakan integrasi sistem manajemen mutu dan lingkungan yang telah ada, sangat perlu mendapat masukan dari pelanggan. Pelayanan yang diberikan kepada pelanggan oleh KIJA terdiri dari bidang : (1) air bersih, (2) air limbah, (3) *customer service* (4) UKL/UPL, dokumen lingkungan, (5) pengelolaan infrastruktur, (6) keamanan, (7) pemadam kebakaran, (8) *traffic management*, (9) *business development*, (10) perijinan dan (11) layanan lain.

Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, timbul pertanyaan mendasar yang perlu dijawab yaitu :

- Bagaimana keberlanjutan layanan pelanggan KIJA yang diberikan pada tenant yang berada dalam kawasan?
- Apa saja yang merupakan faktor pengungkit yaitu faktor yang sensitif terhadap status keberlanjutan?
- Bagaimana pengembangan kebijakan integrasi sistem manajemen mutu dan lingkungan?

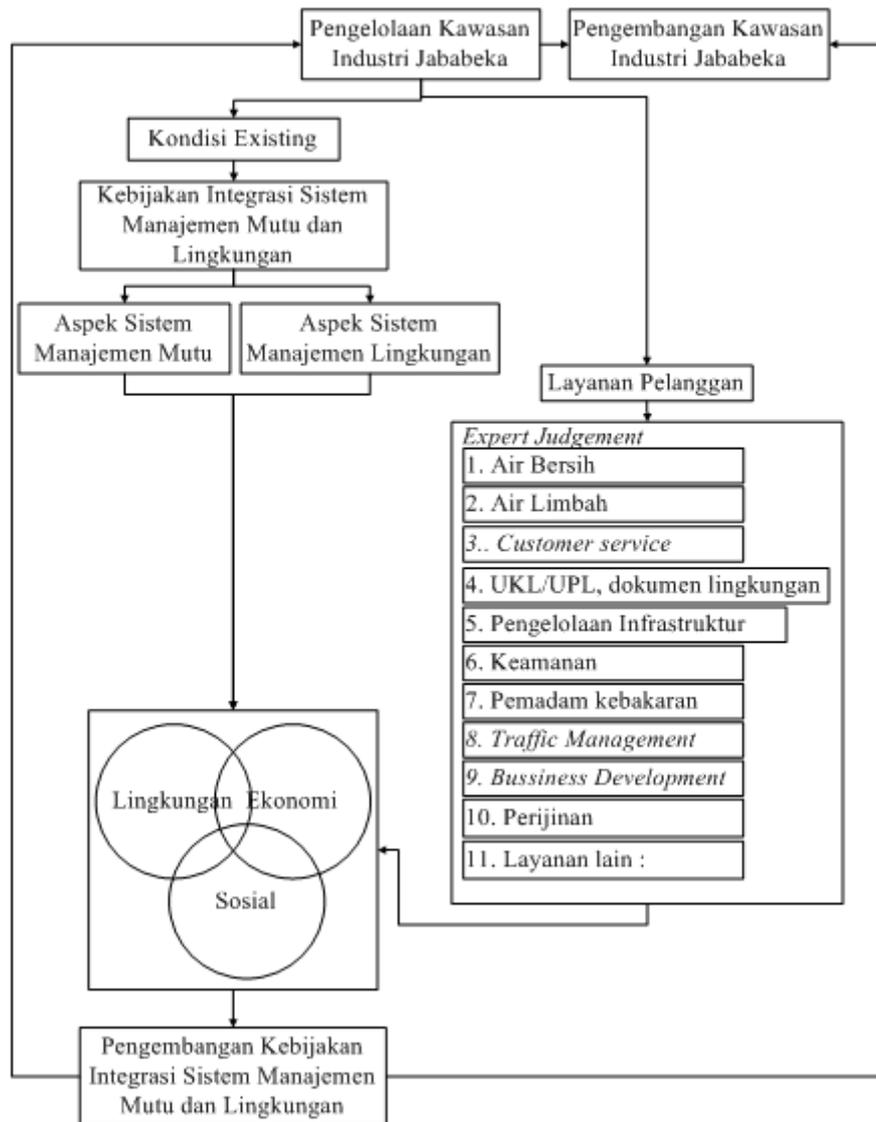
Kerangka Pemikiran

Berdasarkan perumusan masalah yang telah diuraikan, maka dibuat kerangka pemikiran penelitian sebagaimana terdapat dalam Gambar 1. Pengelolaan KIJA selama ini menerapkan integrasi sistem manajemen mutu dan lingkungan sejak tahun 2001. Kebijakan yang telah ada pada pengelolaan KIJA terdapat empat butir kebijakan yang dikelompokkan menjadi dua aspek yaitu aspek sistem manajemen mutu dan lingkungan. Kebijakan yang merupakan aspek manajemen mutu yaitu : kualitas produk dan jasa yang melampaui harapan pelanggan, keramahan pelayanan dan respon yang cepat atas setiap pengaduan pelanggan, inovatif dalam pengembangan produk dan pelayanan serta penyempurnaan organisasi secara berkesinambungan. Sedangkan kebijakan yang merupakan aspek manajemen lingkungan yaitu : pemenuhan persyaratan dan perundangan dalam upaya mencegah pencemaran lingkungan. Berdasarkan masukan dari *expert judgment* yang berasal dari pemangku kepentingan yang terdiri dari pengelola kawasan, pelanggan, dan pemerintah, maka kebijakan yang telah dipakai selama kurang lebih lima belas tahun perlu mendapatkan perubahan dari masukan pelanggan.

Layanan pelanggan KIJA yang merupakan operasional dari kebijakan integrasi, mempunyai sepuluh jenis layanan yaitu air bersih, air limbah, *customer service*, UKL/UPL, dokumen lingkungan, pe-

ngelolaan infrastruktur, keamanan, *traffic management*, pemadam kebakaran, perijinan dan layanan lain. Tiga pilar pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan yaitu lingkungan, ekonomi dan sosial digunakan sebagai dasar untuk pengem-

bangunan kebijakan. Pengembangan kebijakan ini merupakan umpan balik untuk pengelolaan kawasan industri, serta untuk masukan bagi pengembangan kawasan industri.



Gambar 1. Kerangka pemikiran

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah

- Menganalisis status keberlanjutan layanan pelanggan ditinjau dari dimensi ekologi, ekonomi, sosial, teknologi dan kelembagaan.
- Mengidentifikasi faktor pendorong yang merupakan faktor sensitif terhadap status keberlanjutan.

- Pengembangan kebijakan integrasi sistem manajemen mutu dan lingkungan.

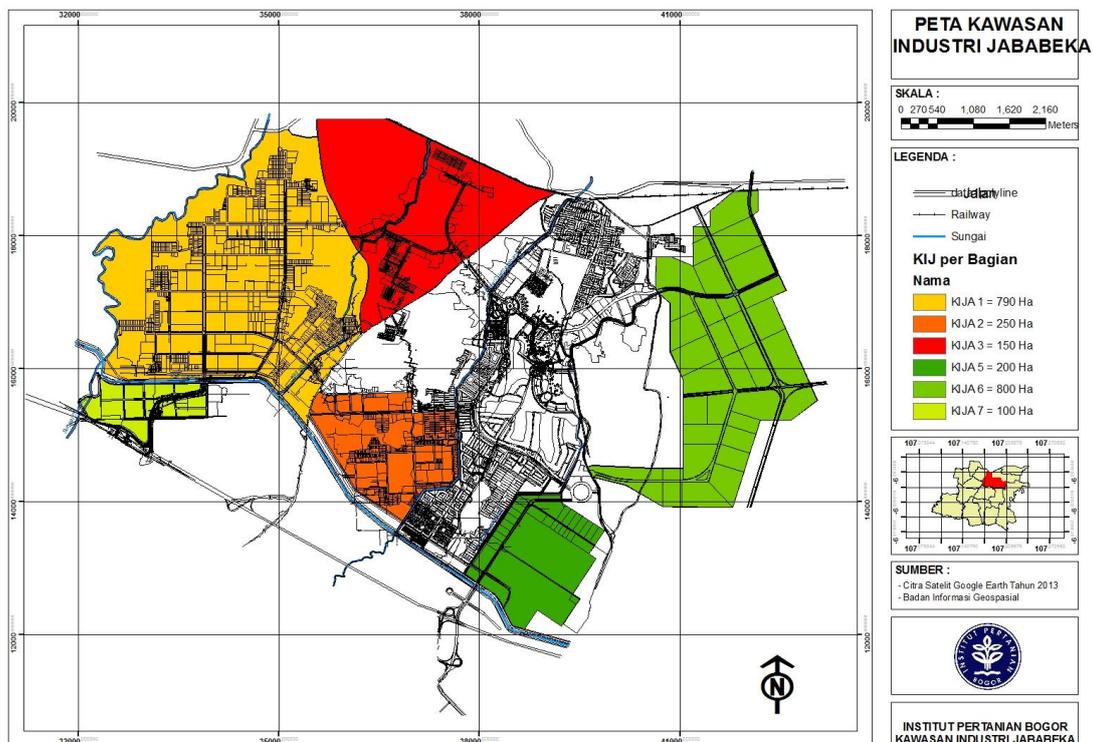
Tinjauan Pustaka

Sykes (2000) menyatakan bahwa kebijakan sebagai suatu sistem atau cara pemerintah (*system or manner of government*) yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan, terutama di bidang politik, ekonomi atau bisnis, sedangkan

Laird (2003) mengartikan kebijakan sebagai pengendalian atau pengaturan urusan-urusan umum dan kesejahteraan (masyarakat) oleh unit pemerintah (pusat atau daerah). Menurut Samin (2005), formulasi definisi kebijakan yaitu peraturan yang telah dirumuskan dan disetujui untuk dilaksanakan guna mempengaruhi suatu keadaan (mempengaruhi pertumbuhan), baik besaran maupun arahnya yang melingkupi kehidupan masyarakat umum.

Penelitian-penelitian yang berkaitan tentang model pengembangan kebijakan adalah sebagai berikut : Napitupulu (2009) dalam disertasi “Pengembangan Model Kebijakan pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan pada PT (Persero) Kawasan Berikat Nusantara”, menyatakan bahwa hampir semua perusahaan dalam KBN melakukan pencegahan terhadap pencemaran udara dan tanah serta kebisingan,

namun masih menghasilkan limbah cair yang mencemari lingkungan. Terdapat tiga dimensi yang belum berkelanjutan yaitu dimensi ekonomi, sosial dan teknologi, sedang dimensi kelembagaan dan ekologi telah berkelanjutan. Setiawati (2014) dalam disertasi berjudul “Pengembangan Kebijakan Eko-Inovasi Kawasan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, di Kota Tangerang Selatan”, memberikan kesimpulan bahwa langkah-langkah yang harus diambil dalam pengembangan kebijakan ekoinovasi adalah (1) melakukan restrukturisasi lembaga yang saat ini, (2) perencanaan program dilakukan secara terpadu, (3) mengembangkan instrumen reward dan punishment (4) meningkatkan kemampuan sumber daya manusia, (5) melakukan sosialisasi, (6) melakukan monitoring dan evaluasi.



Gambar 2. Peta Kawasan Industri Jababeka
 Sumber : Data KIJA 2015

Analisis MDS (*Multi Dimensional Scaling*) dengan *Rapfish* adalah teknik yang dikembangkan oleh *University of*

British Columbia Canada yang merupakan analisis untuk melakukan evaluasi terhadap keberlanjutan dari perikanan secara

multidisipliner. *Rapfish* didasarkan pada teknik ordinasasi yaitu menempatkan sesuatu pada urutan atribut yang terukur dengan menggunakan *multi dimensional scalling* (Fauzi dan Anna 2002). Nilai ordinasasi mencerminkan indeks keberlanjutan dan status keberlanjutan. MDS untuk mendiagnosa atribut-atribut yang merupakan faktor penguangkit yang menjadi masukan pengembangan kebijakan. Sehingga faktor penguangkit akan menjadi faktor penting masukan kebijakan. Faktor yang mempunyai *root mean square* tertinggi, apabila dihilangkan dalam dimensi maka akan mempengaruhi nilai ordinasasi dan status keberlanjutan (Fauzi dan Anna 2002, Nababan BO 2007)

METODA

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian pengembangan kebijakan integrasi sistem manajemen mutu dan lingkungan berlokasi di Kawasan Industri Jababeka (KIJA), Cikarang, Kabupaten Bekasi. Lokasi penelitian, yaitu KIJA, Cikarang, Bekasi, Jawa Barat yang terletak di sebelah Timur Jakarta. Secara geografi, Kawasan Industri Jababeka terletak pada 107°06'30" Bujur Timur sampai 107°13'00" Bujur Timur dan 06°15'30" Lintang Selatan sampai 06°20'00" Lintang Selatan. Pemilihan lokasi berdasarkan pertimbangan : merupakan kawasan industri swasta nasional pertama di Indonesia, skala luas kawasan yang besar, telah beroperasi lebih dari 25 tahun, tempat berlokasinya lebih dari 1.650 perusahaan industri yang berasal dari 30 negara, jenis industri yang beragam dari industri tekstil, makanan dan minuman, kimia, farmasi, elektronik, otomotif, kosmetik dan aneka industri lainnya.

Penelitian difokuskan pada KIJA-1 dan KIJA-2, dengan pertimbangan pada kedua lokasi 80% pelanggan beraktifitas untuk kegiatan industri.

Alat dan Bahan

Bahan penelitian terdiri dari data primer, data sekunder, format kuesioner, peta,

sedangkan alat penelitian terdiri dari *computer*, program *Rapfish* merupakan pengembangan program *Excell* yang telah dimodifikasi dari *microsoft excel for Rapfish* (Kavanagh 2004).

Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Data yang digunakan adalah data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui kuesioner, *interview* dari *expert judgement* yang berasal dari pemangku kepentingan yaitu manajemen KIJA, pelanggan, dan pemerintah daerah. Kuesioner menggali penilaian terhadap atribut penelitian dalam dimensi ekologi, ekonomi, teknologi dan kelembagaan. Atribut-atribut penelitian merupakan *expert judgement* yang berasal dari pengelola kawasan yang merupakan implementasi dari layanan pelanggan.

Responden pakar yang berasal dari pelanggan sejumlah dua belas orang, manajemen KIJA sejumlah empat orang dan dari pemerintah daerah sejumlah satu orang. Sedangkan data sekunder didapatkan dari manajemen KIJA.

Metoda sampling yang digunakan adalah *purposive sampling*. Untuk mendapatkan informasi dari sekelompok sasaran secara spesifik, pengambilan sampel terbatas pada jenis responden tertentu sehingga dapat memberikan informasi yang diinginkan. Pengambilan sampel dengan tujuan tertentu (*purposive sample*) yaitu : pengambilan sampel berdasarkan pertimbangan tertentu karena melibatkan pemilihan subyek pada posisi yang terbaik untuk memberikan informasi yang diperlukan (Sekaran 2006). Tabel 1. Menunjukkan tujuan penelitian, metoda analisis serta *output* yang diharapkan.

Analisis MDS (*Multi Dimensional Scalling*) adalah teknik analisis yang digunakan untuk mengetahui tingkat keberlanjutan secara multidisipliner (Kavanagh 2004). Sedangkan menurut Borg dan Gronen (2005) bahwa MDS merupakan analisis statistik untuk mengetahui kemiripan atau ketidakmiripan variabel yang

digambarkan dalam ruang geometris. Menurut Lee (2001), kelemahan dari MDS adalah analisis hanya berdasar pada pemodelan kognitif. Analisis muti dimensi menggunakan software yaitu *Rapfish*. Menurut Pitcher (2001), *Rapfish* adalah

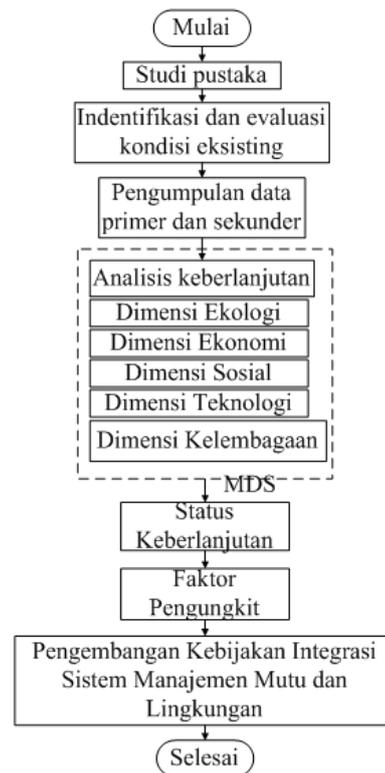
teknik penilaian multi dimensi secara cepat untuk mengevaluasi status keberlanjutan perikanan. Dalam penelitian ini, *Rapfish* telah dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan penelitian.

Tabel 1. Tujuan penelitian, metoda analisis, *output* yang diharapkan.

Tujuan penelitian	Jenis data	Metoda Sampling	Metoda Analisis	<i>Output</i> yang diharapkan
Menganalisis status keberlanjutan layanan pelanggan dipandang dari dimensi ekologi, ekonomi, sosial, teknologi dan kelembagaan.	Data primer dan sekunder	<i>Purposive sampling.</i>	<i>Multi Dimensional Scalling</i>	Status keberlanjutan layanan pelanggan KIIA
Mengidentifikasi faktor penguangkit yang sensitif terhadap status keberlanjutan	Data primer dan sekunder	<i>Purposive sampling.</i>	<i>Multi Dimensional Scalling</i>	Faktor penguangkit
Pengembangan kebijakan integrasi system manajemen mutu dan lingkungan	Data primer dan sekunder	<i>Purposive sampling.</i>	<i>Multi Dimensional Scalling</i>	Pengembangan kebijakan

Tahapan Penelitian

Sebagaimana terdapat dalam Gambar 3, tahapan penelitian dimulai dengan melakukan studi pustaka yang berasal dari jurnal, disertasi, tesis, dan buku literatur. Kemudian melakukan identifikasi kondisi eksisting dengan cara mencari data primer yang berasal dari responden pakar dan data-data yang berasal dari KIIA. Hasil kuesioner, dan *interview* dibahas dalam *forum group discussion*, digunakan untuk sumber data pada analisis multi dimensi. Dengan bantuan *software Rapfish*, dilakukan analisis untuk mengetahui status keberlanjutan dan faktor penguangkit. Selanjutnya dikembangkan kebijakan integrasi sistem manajemen mutu dan lingkungan berdasarkan status keberlanjutan setiap dimensi dan faktor penguangkit.



Gambar 3. Tahapan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyusunan atribut dalam analisis multi dimensi berdasarkan *expert judgement* dari pemangku kepentingan dalam lima dimensi yaitu dimensi ekologi, ekonomi, sosial, teknologi dan kelembagaan. Atribut dimensi ekologi yaitu kualitas air bersih WTP, kuantitas sumber air baku, kualitas distribusi air bersih ke pelanggan, kualitas air limbah pelanggan, upaya pencegahan pencemaran air limbah pada saluran *drainase*, pengendalian kualitas air limbah pada WWTP (*Waste water treatment plant*), penanganan *sludge* WWTP, taman, sampah non B3, pemanfaatan sampah non B3 menjadi kompos. Atribut dalam dimensi ekonomi yaitu tarif air bersih, penghematan biaya listrik operasional pompa, pengendalian kehilangan air (*water losses*), tarif air limbah, tarif MC (*Maintenance Charge*), penghematan biaya listrik PJU, pameran produk, sarana kuliner, komersial ruko, iklan. Atribut dimensi sosial adalah respon layanan, keramahan layanan, kemampuan komunikasi, patroli keamanan, penertiban transportasi umum, parkir, penanganan kebakaran, sarana ibadah dan sarana kesehatan.

Atribut dimensi teknologi adalah teknologi monitoring keluhan pelanggan, teknologi optimasi bahan kimia, teknologi suplai air bersih dengan sistem perpompaan, teknologi pengendalian tekanan distribusi air, teknologi *Early Warning System* (EWS), teknologi *Light Emited Dioda* (LED), teknologi *Fiber Optic* (FO), teknologi distribusi gas, Teknologi pengembangan WTP / WWTP, teknologi peralatan laboratorium. Dan atribut dalam dimensi kelembagaan yaitu penanganan pelanggaran baku mutu air limbah, sosialisasi peraturan perundangan lingkungan, rekayasa lalu lintas, pengaturan akses masuk-keluar kawasan, tindak lanjut penanganan keluhan pelanggan, regulasi kawasan, Pengendalian Koefisien Dasar Bangunan (KDB) GSB (Garis Sepadan Bangunan). inovasi pengembangan produk, kesesuaian persyaratan sistem manajemen mutu dan lingkungan. Setiap

dimensi diidentifikasi atribut-atribut penelitian yang berasal dari implementasi layanan pelanggan pengelola kawasan. Selanjutnya dilakukan skoring masing-masing atribut, dan kemudian dimintakan pendapat pakar. Dengan menggunakan bantuan program *Rapfish* yang telah dimodifikasi, didapatkan ordinasi dan faktor pengungkit (*leverage factor*). Status keberlanjutan didapat dengan mencari indeks keberlanjutan, nilai indeks keberlanjutan diperoleh dari ordinasi setiap dimensi. Tabel 2 menunjukkan nilai indeks dan status keberlanjutan, yang digolongkan menjadi empat kelompok.

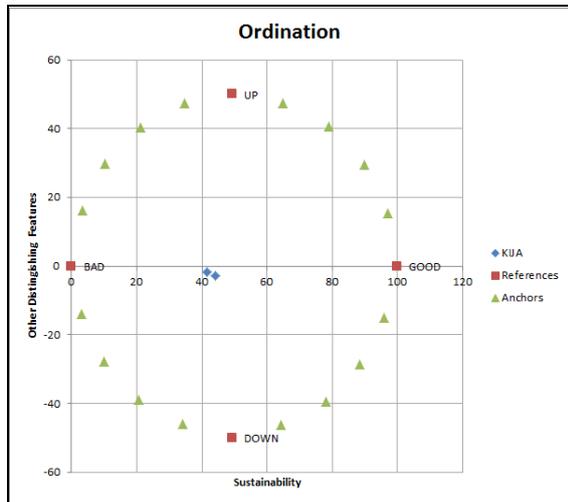
Tabel 2. Indeks dan status keberlanjutan

No	Indeks keberlanjutan	Status keberlanjutan
1.	0 - 25	Tidak keberlanjutan
2.	<25 - 50	Kurang keberlanjutan
3.	<50 - 75	Cukup keberlanjutan
4.	<75 - 100	Keberlanjutan

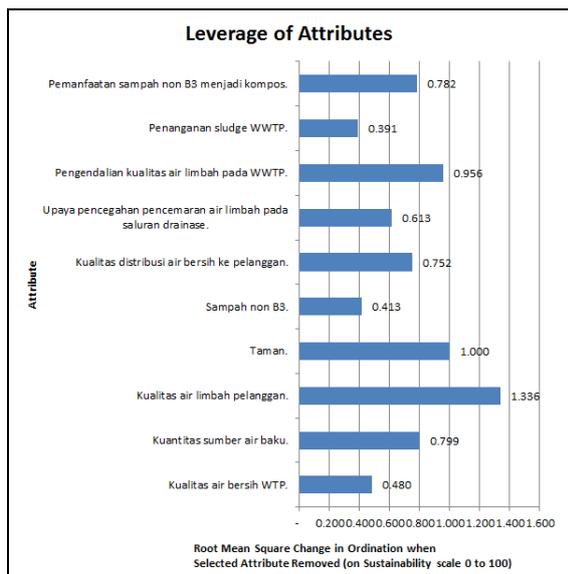
Sumber : Nababan 2007, Amarullah, 2015

Gambar 4, menunjukkan ordinasi dan Gambar 5 faktor pengungkit dimensi ekologi. Nilai indeks keberlanjutan KIIA-1 sebesar 41,60, sedangkan KIJ-2 sebesar 44,17. Berdasarkan Tabel 2, nilai indeks keberlanjutan 41,60 dan 44,17 terletak antara 25-50 dengan status kurang keberlanjutan. Faktor pengungkit didapatkan dari nilai *root mean square* atribut lebih besar dari *median root mean square* atribut-atribut yang terdapat dalam dimensi ekologi (Supono 2009). Nilai *median root mean square* sebesar 0,766. Faktor pengungkit yaitu kualitas air limbah pelanggan (1,336), taman (1,000), pengendalian kualitas air limbah WWTP (0,956), kuantitas sumber air baku (0,799), pemanfaatan sampah non B3 (0,782), karena mempunyai nilai *root mean square* lebih besar dari 0,766. Faktor yang paling sensitif terhadap status keberlanjutan dimensi ekologi adalah kualitas air limbah pelanggan, hal ini mencerminkan bahwa kualitas air limbah pelanggan perlu mendapat perhatian tinggi, agar aspek ekologi memberikan dampak yang positif

bagi pengelolaan kawasan. Kualitas air limbah pelanggan akan mempengaruhi kualitas air limbah WWTP. Taman yang dipelihara dengan konsisten akan memberikan dampak yang positif terhadap lingkungan kawasan. Sampah yang berasal dari pemeliharaan taman dapat digunakan untuk bahan baku pupuk kompos. Kuantitas sumber air baku juga merupakan faktor yang penting.



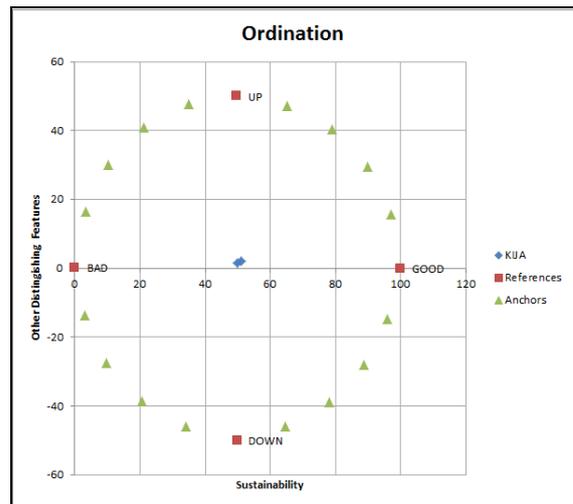
Gambar 4. Ordinası dimensi ekologi
Sumber : Pengolahan data.



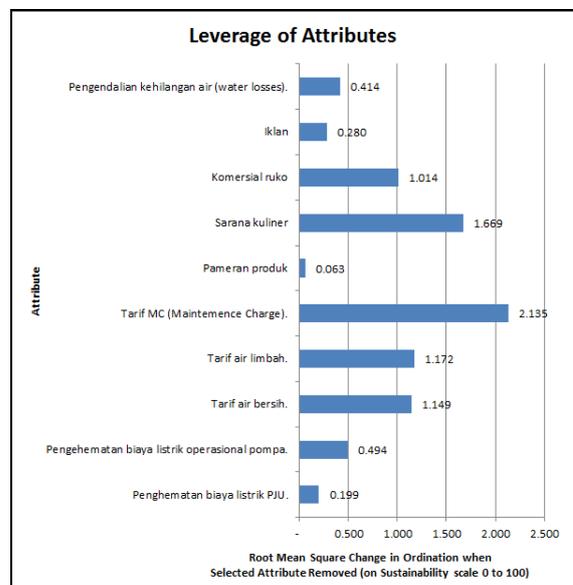
Gambar 5. Faktor pengungkit dimensi ekologi.
Sumber : pengolahan data

Di dalam kawasan tidak diperkenankan untuk mengambil air tanah sebagai bahan baku. Sumber air baku berasal dari air permukaan, namun karena air permukaan sangat terbatas maka penggunaan air baku

juga harus mempertimbangkan pemakaian untuk pertanian.



Gambar 6. Ordinası dimensi ekonomi
Sumber : Pengolahan data

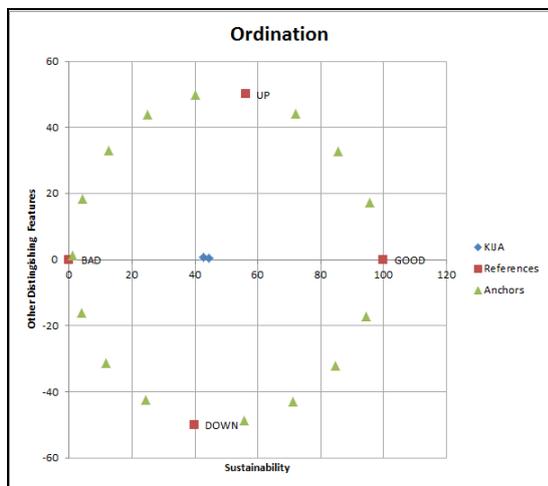


Gambar 7. Faktor pengungkit dimensi ekonomi.
Sumber : Pengolahan data

Gambar 6, menunjukkan ordinası dimensi ekonomi, sedangkan Gambar 7 menunjukkan faktor pengungkit. Nilai indeks keberlanjutan KIIA-1 sebesar 50,01, sedangkan KII-2 sebesar 51,18. dengan status cukup keberlanjutan. Faktor pengungkit didapatkan dari nilai *root mean square* atribut lebih besar dari *median root mean square* atribut-atribut yang terdapat dalam dimensi ekonomi (Supono 2009). Faktor pengungkit pada gambar 5, yaitu atribut yang mempunyai *median root mean*

square lebih besar dari 0,670 yaitu tarif MC (2,135), sarana kuliner (1,669), tarif air limbah (1,172), tarif air bersih (1,149), dan komersial ruko (1,014)

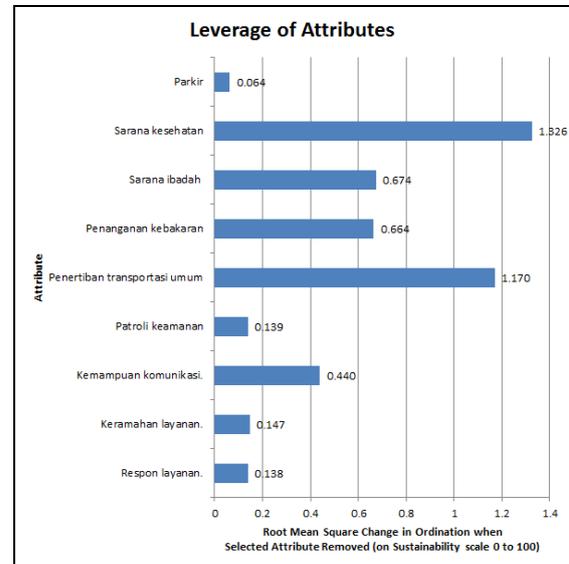
Ekonomi adalah aspek yang paling diperhatikan oleh pemangku kepentingan. Mereka memberikan perhatian tinggi terhadap pendapatan, hal ini tercermin dalam nilai yang tinggi untuk tarif air bersih, limbah dan *maintenance charge*. Tarif dalam kawasan dalam bentuk kurs US\$ memberikan nilai rupiah yang tidak stabil. Ketidakstabilan nilai US\$ terhadap rupiah ini juga mendapatkan perhatian dari pemangku kepentingan. Pengembangan sarana kuliner dan komersial ruko dibutuhkan pelanggan dalam kawasan. Terutama karyawan pabrik senantiasa membutuhkan makan dan kebutuhan sehari-hari. Pengembangan komersial ruko harus mempertimbangkan koefisien dasar bangunan dan ketersediaan parkir. Perbandingan antara lahan terbuka dan tertutup harus 40:60 sesuai dengan peraturan pemerintah PP 24/2009. Ketersediaan parkir juga menjadi pertimbangan utama agar tidak mempengaruhi kelancaran lalu lintas. Kendaraan mempunyai kecenderungan parkir di badan jalan, jika tidak disediakan lahan parkir.



Gambar 8. Ordinasasi dimensi sosial
Sumber : Pengolahan data

Gambar 8, menunjukkan ordinasasi dan Gambar 9 faktor pengungkit dimensi sosial. Nilai indeks keberlanjutan KIIA-1 sebesar 42,74, sedangkan KIIA-2 sebesar

44,49, dengan status kurang keberlanjutan. Faktor pengungkit dimensi sosial didapatkan dari nilai *root mean square* atribut lebih besar dari *median root mean square* atribut-atribut yang terdapat dalam dimensi sosial (Supono 2009).

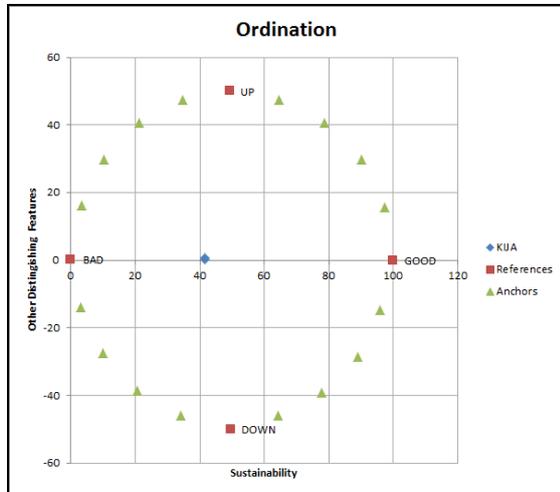


Gambar 9. Faktor pengungkit dimensi sosial
Sumber : Pengolahan data

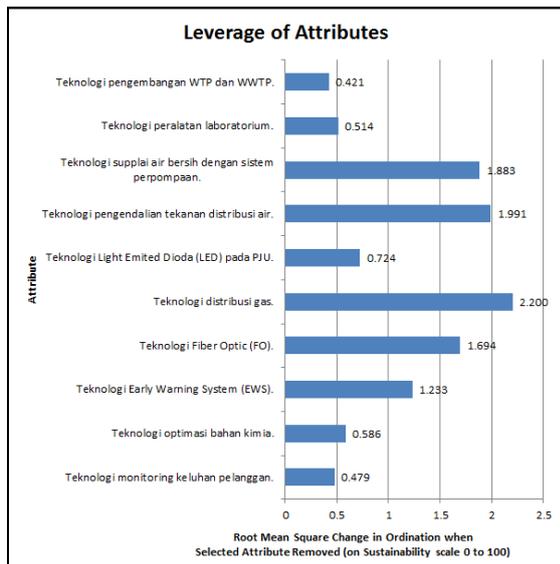
Nilai *median root mean square* sebesar 0,429. Terdapat empat faktor pengungkit dari dimensi sosial adalah sarana kesehatan (1,326), penertiban transportasi umum (1,170), sarana ibadah (0,674), penanganan kebakaran (0,664).

Faktor yang paling sensitif terhadap status keberlanjutan dimensi sosial adalah sarana kesehatan. Pemangku kepentingan memandang ketersediaan sarana kesehatan dalam kawasan kurang cukup jika dibandingkan dengan jumlah pekerja. Perlu penambahan sarana kesehatan seperti rumah sakit, klinik dan apotik. Transportasi umum roda empat seperti angkot dan bis antar kota perlu ditertibkan dan diarahkan dalam penempatan kendaraan. Parkir yang tidak pada terminal akan memberikan dampak negatif pada lalu lintas kawasan. Sarana ibadah seperti masjid, gereja mendapatkan perhatian juga oleh pemangku kepentingan. Keberadaan sarana ibadah sangat dibutuhkan oleh karyawan pabrik. Kesiapan sarana dalam menangani kebakaran lebih diutamakan,

karena tersedianya mobil pemadam kebakaran, alat pemadam api ringan yang cukup maka kecepatan penanganan kebakaran lebih terjamin. Tim pemadam kebakaran juga senantiasa diberikan pelatihan praktek lapangan untuk menjamin kecepatan penanganan kebakaran.



Gambar 10. Ordinasasi dimensi teknologi
Sumber : Pengolahan data



Gambar 11. Faktor pengungkit dimensi teknologi
Sumber : Pengolahan data

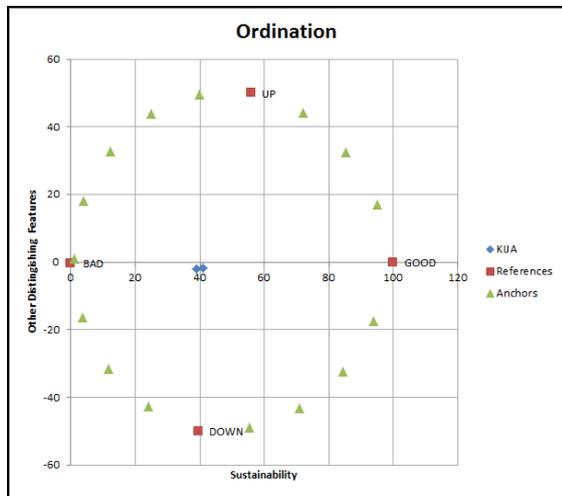
Gambar 10 menunjukkan ordinasasi dan Gambar 11 faktor pengungkit dimensi teknologi. Nilai indeks keberlanjutan KIIA-1 sebesar 41,54, sedangkan KIIA-2 sebesar 41,61 dengan status kurang keberlanjutan. Faktor pengungkit dimensi teknologi didapatkan dari nilai *root mean square* atribut lebih besar dari *median root*

mean square atribut-atribut yang terdapat dalam dimensi teknologi (Supono 2009). Nilai *median root mean square* sebesar 0,768. Faktor pengungkit dari dimensi teknologi adalah teknologi distribusi gas (2,200), teknologi pengendalian tekanan distribusi air (1,991), teknologi suplai air bersih dengan sistem perpompaan (1,883), teknologi *Fiber Optic* (FO) (1,694), dan teknologi *Early Warning System* (EWS) (1,233).

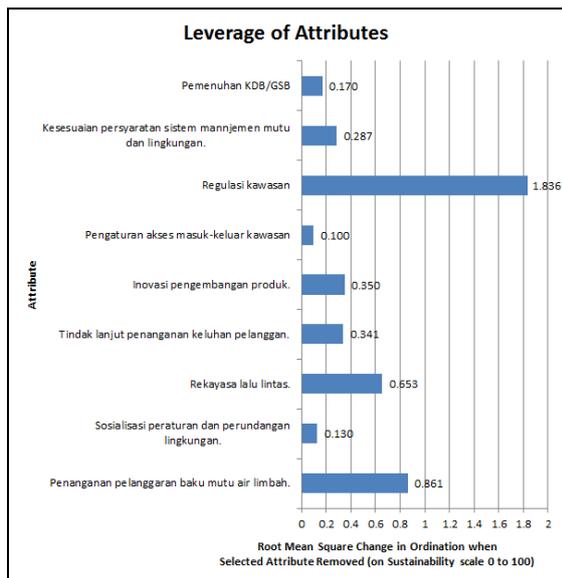
Kebutuhan gas sebagai sumber energi untuk produksi pabrik sangatlah diperlukan oleh pelanggan. Teknologi distribusi gas dibutuhkan untuk menjamin kehandalan pasokan gas sampai pada pelanggan. Selain gas, kontinuitas suplai air bersih juga menjadi perhatian penting pelanggan. Untuk menjaga kontinuitas diperlukan sistem perpompaan yang handal, serta untuk memastikan air bersih sampai pada titik terjauh dibutuhkan teknologi PLC (*Programming Logical Control*). Tekanan distribusi air bersih dapat dikendalikan oleh PLC, sehingga pelanggan terjauh masih dapat menikmati air bersih. Sudah lazim kecepatan proses data sangat dibutuhkan untuk aktifitas industri, guna memastikan proses data berjalan dengan baik maka teknologi fiber optic sebagai salah satu pilihan. Faktor terakhir yang mempengaruhi terhadap status keberlanjutan dimensi teknologi adalah EWS. Untuk mengontrol *level* muka air sungai yang melintasi kawasan maka diperlukan EWS. Ketika EWS memberikan data level muka air sungai posisi maksimum maka data segera diterima petugas bendung untuk membuka pintu, sehingga posisi muka air sungai kembali normal.

Gambar 12, menunjukkan ordinasasi dan Gambar 13 faktor pengungkit dimensi kelembagaan. Nilai indeks keberlanjutan KIIA-1 sebesar 39,13, sedangkan KIIA-2 sebesar 41,11 dengan status kurang keberlanjutan. Faktor pengungkit dimensi kelembagaan didapatkan dari nilai *root mean square* atribut lebih besar dari *median root mean square* atribut-atribut

yang terdapat dalam dimensi kelembagaan (Supono 2009). Nilai *median root mean square* sebesar 0,382. Faktor pengungkit dari dimensi kelembagaan adalah regulasi kawasan (1,836), penanganan pelanggaran baku mutu air limbah (0,861), rekayasa lalu lintas (0,653), inovasi pengembangan produk (0,350).



Gambar 12. Ordinasasi dimensi kelembagaan
Sumber : Pengolahan data



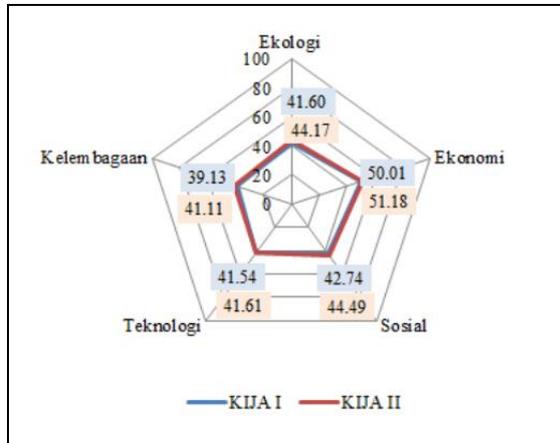
Gambar 13. Faktor pengungkit dimensi kelembagaan.
Sumber : Pengolahan data

Dimensi kelembagaan adalah dimensi yang kurang mendapat perhatian dari pemangku kepentingan. Hal ini terlihat dari indeks keberlanjutan yang rendah. Pentaatan terhadap regulasi kawasan tidak terpenuhi. *Update* terhadap regulasi

kawasan juga belum diperbarui, sehingga banyak peraturan pemerintah yang baru belum diakomodasi dalam regulasi kawasan. Baku mutu air limbah belum dipenuhi secara konsisten oleh pemangku kepentingan, sehingga menimbulkan pelanggaran baku mutu air limbah. Upaya serius yang berkelanjutan sangat dibutuhkan untuk penanganan pelanggaran baku mutu air limbah. Rekayasa lalu lintas dibutuhkan untuk mengurai kemacetan. Salah satu dampak dari kegiatan industri adalah timbulnya bangkitan kendaraan. Pada jam-jam puncak yaitu pada jam 7 pagi atau jam 5 sore, jumlah kendaraan yang berada dalam kawasan padat sekali. Dengan mengatur route lalu lintas dalam kawasan, maka kepadatan lalu lintas dapat dikendalikan. Faktor terakhir yang sensitif terhadap status keberlanjutan dimensi kelembagaan adalah inovasi pengembangan produk. Produk air bersih yang telah ada dapat dikembangkan menjadi air minum dalam kemasan. Pengembangan *fiber optic* dengan meningkatkan kapasitas bandwidth yaitu meningkatkan jalur data. Pengembangan yang lain yaitu retrologistik. Retrologistik yaitu *me-recycle* limbah (gelas) B3 kemasan bahan kimia menjadi *non B3*

Gambar 14 menunjukkan diagram layang-layang yang merupakan perbandingan indeks keberlanjutan setiap dimensi yaitu ekologi, ekonomi, sosial, teknologi, kelembagaan. Diagram layang-layang mencerminkan bahwa pemangku kepentingan sangat memberi perhatian pada aspek ekonomi. Perhatian terhadap pendapatan yang berasal dari tarif air bersih, limbah, *maintenance charge*. Selain itu juga perhatian terhadap pengembangan komersial ruko, karena aspek ekonomi dipengaruhi dengan bertambahnya komersial ruko. Perhatian terhadap dimensi ekonomi terlihat dari indeks keberlanjutan ekonomi adalah paling tinggi dibandingkan dengan dimensi lain. Sedangkan dimensi kelembagaan, ekologi, sosial dan teknologi kurang mendapat perhatian dari pemangku

kepentingan. Diagram layang-layang menggambarkan kualitas layanan KIIA tidak melampaui harapan pelanggan. Bahkan untuk memenuhi harapan pelanggan juga kecil. Hal ini tercermin dari indeks keberlanjutan empat dimensi kurang dari lima puluh.



Gambar 14. Diagram layang-layang.
Sumber : Pengolahan data

Tabel 3 menunjukkan rekapitulasi nilai r^2 , *stress* pada dimensi ekologi, ekonomi, sosial, teknologi dan kelembagaan. Nilai *stress* masih dapat diterima jika kurang dari 0,25 (Fauzi dan Anna 2002). Nilai *stress* seluruh dimensi mempunyai nilai yang kecil, dan nilai koefisien determinasi (r^2) seluruh dimensi mendekati satu, nilai *stress* yang baik $< 0,25$ menunjukkan bahwa konfigurasi atribut dimensi pada

MDS merefleksikan data aktual (Amarulloh, 2015). Sedangkan nilai koefisien determinasi (r^2) mendekati satu menunjukkan bahwa atribut yang terdapat dalam seluruh dimensi dapat menjelaskan dan memberi rekomendasi pada sistem yang diteliti. Menurut Ka-vanagh, nilai koefisien determinasi (r^2) yang baik adalah lebih dari 80% atau mendekati 100%.

Tabel 4 menunjukkan faktor pengungkit dimensi ekologi, ekonomi, sosial, teknologi dan kelembagaan. Faktor pengungkit ini mencerminkan tingkat sensitifitas terhadap status keberlanjutan setiap dimensi (Nababan, 2007).

Berdasarkan diagram layang-layang dan faktor pengungkit yang merupakan faktor penting untuk pengembangan kebijakan integrasi sistem manajemen mutu dan lingkungan, maka kebijakan diarahkan pada dimensi yang mempunyai status kurang keberlanjutan. Dimensi kelembagaan merupakan dimensi yang mempunyai status keberlanjutan paling kecil, maka pemenuhan regulasi kawasan, penanganan baku mutu air limbah, rekayasa lalu lintas, inovasi pengembangan produk harus mendapat perhatian utama. Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 24 tahun 2009, regulasi kawasan merupakan hak dan kewajiban dari pelanggan dan pengelola kawasan.

Tabel 3. Nilai r^2 , *stress* pada dimensi ekologi, ekonomi, sosial, teknologi dan kelembagaan

Parameter Statistik	Ekologi	Ekonomi	Sosial	Teknologi	Kelembagaan
Nilai r^2	0,943	0,943	0,941	0,944	0,942
<i>Stress</i>	0,165	0,164	0,169	0,161	0,168
Iterasi	2	2	2	2	2

Sumber : Pengolahan data

Tabel 4. Faktor pengungkit dimensi ekologi, ekonomi, sosial, teknologi dan kelembagaan

Dimensi	Faktor pengungkit
Ekologi	Kualitas air limbah pelanggan, taman, pengendalian kualitas influen WWTP, kuantitas sumber air baku, pemanfaatan sampah non B3
Ekonomi	Tarif <i>maintenance charge</i> , sarana kuliner, tarif air limbah, tarif air bersih, komersial ruko.
Sosial	Sarana kesehatan, penertiban transportasi umum, sarana ibadah, penanganan kebakaran.
Teknologi	Teknologi distribusi gas, teknologi tekanan distribusi air, teknologi suplai sir bersih, teknologi <i>fiber optic</i> , teknologi <i>Early Warning System</i> (EWS)
Kelembagaan	Regulasi kawasan, penanganan pelanggaran baku mutu air limbah, rekayasa lalu lintas, inovasi pengembangan produk

Sumber : Pengolahan data

Tidak terpenuhinya regulasi kawasan maka hal ini mencerminkan pemangku kepentingan tidak mengindahkan hak dan kewajiban mereka. Dimensi teknologi yang harus diperhatikan terletak pada pelayanan air bersih. Teknologi untuk meningkatkan tekanan dan suplai air bersih harus mendapat perhatian. Perlu dilakukan perbaikan pada sistem tekanan dan suplai air bersih. Selanjutnya dimensi ekologi juga mesti diperhatikan. Kualitas air limbah merupakan atribut yang mendapat sorotan tajam oleh pemangku kepentingan. Perlu dievaluasi tentang baku mutu, pengawasan kualitas air limbah pelanggan. Yang terakhir adalah dimensi sosial. Pengelola kawasan harus lebih memperhatikan sarana kesehatan, penertiban transportasi umum.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa status keberlanjutan layanan pelanggan yang diberikan oleh pengelola kawasan kurang keberlanjutan. Hal ini mencerminkan bahwa layanan yang diberikan oleh pengelola kawasan belum memenuhi harapan pelanggan. Untuk dapat meningkatkan layanan pelanggan maka didapatkan faktor penguangkit yang merupakan faktor penting untuk menjadi masukan pengembangan kebijakan. Pengembangan kebijakan diarahkan untuk memperbaiki faktor penting yang terdapat pada dimensi kelembagaan, teknologi, ekologi dan sosial.

Saran

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan mempertimbangkan pemangku kepentingan yang lain seperti Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) untuk lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan atas dukungan, masukan, arahan, kepada : Bapak Prof Dr Ir Bambang Pramudya, MEng, dan Ibu Prof Dr Ir Erliza Noor yang senantiasa memberikan arahan. Ibu Temmy Wikaningrum, selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Presiden, Cikarang, Bekasi. Bapak/Ibu yang belum kami sebutkan satu persatu, yang telah bersedia membantu secara ikhlas dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amarullah, Hadi S., Kusumastanto T., Fahrudin A. 2015. Sustainable Regional Development of Seibu Strait at Kotabaru Regency South Kalimantan. *International Journal of Research in Social Science*. Vol. 5. No. 03.
- Borg I., Groenen PJF. 2005. Modern Multidimensional Scaling : Theory and Application. *Journal of Statistical Software*. Vol. 14 No. 4.
- Fauzi A., Anna S. 2002. Evaluasi Status Keberlanjutan Pembangunan Perikanan : Aplikasi Pendekatan Rappfish. *Pesisir dan Lautan*. Volume 4. No. 3.
- Kavanagh P., Pitcher TJ. 2004. Implementing Microsoft Excel Software For Rappfish : A Technique For The Rapid Appraisal of Fisheries Status. *Fisheries Centre Research Reports*. Vol. 12 No. 2. Vancouver (CA) : University of British Columbia.
- Laird C. 2003. Webster's Dictionary and Thesaurus. Geddes and Grusset. Scotland.
- Lee MD. 2001. Determining The Dimensionality of Multidimensional Scaling Model for Cognitive Modelling. *Journal of Mathematical Psychology*. Vol. 45. No. 1.
- Nababan BO., Sari YD., Hermawan M., 2007. Analisis Keberlanjutan Perikanan Tangkap Skala Kecil di Kabupaten Tegal Jawa Tengah. *J. Bijak dan Sosek KP*. Vol. 2. No. 2.
- Peraturan Pemerintah nomor 24 tahun 2009, tentang Kawasan Industri
- Peraturan Menteri Perindustrian nomor 35 tahun 2010, tentang Petunjuk Teknis Kawasan Industri.
- Pitcher TJ., Preikshot D. 2001. Rappfish : A Rapid Appraisal Technique to evaluate The Sustainability Status of Fisheries. *Fisheries Research*. 49 (2001) 255-270.
- Samin B. 2005. Kebijakan. Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan

- Lingkungan. Sekolah Pascasarjana IPB. Tidak dipublikasikan. Bogor.
- Sekaran U. 2006. Metodologi Penelitian Untuk Bisnis. Penerbit Salemba Empat. Jakarta.
- Supono S. 2009. Model Kebijakan Pengembangan Kawasan pantai Utara, Jakarta secara Berkelanjutan. [Disertasi]. Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Sykes JB. 2000. Clearview English Dictionary and Thesaurus. Geddes and Grosset. Scotland.
- Tjiptono F., Diana A. 2001. Total Quality Management. Penerbit Andi. Yogyakarta

KONTRIBUSI EMISI GAS RUMAH KACA OLEH KEGIATAN EKSPLORASI DAN PRODUKSI MINYAK DAN GAS PADA PT PEP, INDONESIA

Agung Ghani Kramawijaya

Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik, Universitas Presiden

Jl Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang, Jawa Barat 17550

agung.ghani@yahoo.com

Abstrak:- Penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi potensi penurunan emisi GRK di PT PEP. Penelitian ini juga diperlukan untuk melihat potensi kontribusi upaya penurunan emisi GRK di PT PEP terhadap kebijakan nasional Pemerintah Indonesia yang berkaitan dengan penurunan emisi GRK meliputi Peraturan Presiden RI No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca. dan Peraturan Presiden RI No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Inventarisasi emisi adalah langkah pertama yang dilakukan untuk menghitung jumlah GRK yang dilepaskan ke atmosfer. Tahap pertama dalam penelitian ini adalah inventarisasi emisi dengan tujuan untuk mengestimasi emisi GRK di PT PEP. Metode perhitungan menggunakan metode yang dikembangkan oleh American Petroleum Institute (API, 2009). Metode ini membagi sumber emisi menjadi sumber pembakaran, sumber vented, sumber fugitive, dan sumber tidak langsung. Setelah dilakukan inventarisasi emisi, diketahui bahwa total emisi gas rumah kaca yang diemisikan di PT PEP sebesar 283.250 ton CO₂e/tahun. Dapat dikatakan bahwa emisi GRK di PT PEP berkontribusi terhadap emisi GRK Indonesia dari sektor energi sebesar $0,64 \times 10^{-4}$ % dan $0,17 \times 10^{-4}$ % kontribusi terhadap emisi GRK nasional. Sumber combustion melepaskan emisi GRK dengan jumlah yang paling signifikan (63%), diikuti oleh sumber vented (36%) dan fugitive (1%).

Kata Kunci: inventarisasi emisi, inventarisasi gas rumah kaca, industri minyak hulu.

Abstract: The activity of exploration and production in oil and gas industry is significant greenhouse gas (GHG) emission source. PT PEP is one of upstream oil and gas industry in Indonesia and it have large crude oil and gas potential with it reserves that not manage yet. Therefore, GHG emission potential from the activity of exploration and production in PT PEP is very large. This study was conducted to estimate GHG emission reduction potential in PT PEP. This study is also needed to observe the potential contribution of abatement measures in PT PEP against the Government of Indonesia national policies relating to GHG emission reductions include Presidential Regulation Number: 61 of 2011 on The National Action Plan for Greenhouse Gas Emission Reduction and Presidential Regulation Number: 71 of 2011 on the Implementation of National Greenhouse Gas Inventory. Emission inventory was the first step of this study to estimate GHG released to atmosphere from PT PEP. Method of estimation was used the method developed by American Petroleum Institute (API). After inventory emission was conducted, it is known that total emissions of GHG emitted in PT PEP amounted to 283.250 tonnes CO₂e/year. It could be argued that GHG emissions in PT PEP contributes to Indonesia's GHG emissions from energy sector amounted to 0.64×10^{-4} % and 0.17×10^{-4} % contribution to the national GHG emissions. Combustion sources was emitted GHG with the most significant number (63%), followed by vented source (36%) and fugitive source (1%).

Keywords: emission inventory, greenhouse gas inventory, upstream petroleum industry

PENDAHULUAN

Kegiatan eksplorasi dan produksi di industri minyak dan gas merupakan sumber emisi gas rumah kaca (GRK) yang cukup signifikan. Oleh karena itu, pemerintah Indonesia mengeluarkan beberapa kebijakan terkait penurunan emisi GRK untuk memenuhi komitmen dalam menurunkan GRK. Salah satunya

adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 tahun 2009 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan atau Kegiatan Minyak dan Gas Bumi. Berdasarkan regulasi tersebut, setiap penanggung jawab kegiatan minyak dan gas bumi wajib melakukan beberapa kajian pengelolaan kualitas udara udara,

salah satunya adalah inventarisasi emisi GRK.

PT PEP merupakan salah satu industri minyak dan gas bumi sektor hulu di Indonesia dan memiliki potensi minyak dan gas bumi yang besar dengan cadangan yang masih belum dikelola sehingga potensi emisi GRK dari kegiatan eksplorasi dan produksi di PT PEP sangat besar. Berdasarkan regulasi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 tahun 2009 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan atau Kegiatan Minyak dan Gas Bumi, penanggung jawab kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas di PT PEP harus melakukan kajian inventarisasi emisi guna memenuhi regulasi tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah emisi GRK yang diemisikan dari kegiatan operasional PT PEP dengan melakukan inventarisasi emisi GRK.

METODOLOGI

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menghitung emisi gas rumah kaca (GRK) yang dilepaskan kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas PT PEP.

Deskripsi Kegiatan

Industri minyak dan gas di PT PEP terbagi menjadi 4 distrik, yaitu Distrik I, Distrik II, Distrik III, dan Distrik Gas, dengan beberapa fasilitas produksi di masing-masing distrik. Fasilitas-fasilitas produksi meliputi Stasiun Pengumpul (SP), Stasiun Pengumpul Gas, Stasiun Penyerahan Gas Stasiun Kompresi Gas (SKG), Pusat Pengumpul Produksi (PPP), Stasiun Pengukur Minyak (SPM) dan Stasiun Pengumpul Utama (SPU). Jumlah fasilitas yang terdapat di industri minyak dan gas PT PEP sebanyak 30 buah. Fasilitas-fasilitas tersebut tersebar di distrik-distrik meliputi:

- Distrik I terdiri dari 4 SKG dan 6 SP
- Distrik II terdiri dari 8 SP
- Distrik III terdiri dari 2 SPM, 1 SPU, 1 PPP, 1 SKG, dan 5 SP

- Distrik IV terdiri dari 1 SPG dan 1 Stasiun Penyerahan gas

Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer dilakukan dengan metode survey lapangan, yaitu mengambil data dengan datang langsung ke lokasi penelitian, terutama kondisi eksisting semua fasilitas kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas. Data-data primer yang dikumpulkan diantaranya:

- Titik koordinat lokasi
- Unit-unit produksi eksisting di setiap fasilitas (*wellhead, manifold, separation, gas compression, metering, storage, export*)
- Layout unit produksi di masing-masing fasilitas
- Jumlah, dimensi, kapasitas, dan waktu operasional unit produksi
- Jenis dan jumlah konsumsi bahan bakar untuk sumber energi
- Jumlah *valve* dan *connection*

Sementara itu data sekunder dikumpulkan dari pihak penanggung jawab kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas di area PT PEP.

- Data-data yang sama dengan data primer. Data sekunder ini digunakan untuk validasi dengan data primer. Perbandingan kedua data ini ditunjang dengan proses klarifikasi ke pihak penanggung jawab kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas, sehingga data yang diperoleh lebih representatif.
- Data yang tidak dapat diperoleh di lapangan tetapi menunjang untuk proses inventarisasi emisi, seperti: data jumlah kendaraan operasional, konsumsi bahan bakar kendaraan, *trunk line*, dan *flowline*.

Perhitungan Emisi GRK di PT PEP

Data-data primer dan sekunder digunakan dalam perhitungan beban emisi GRK. Gas rumah kaca yang paling banyak

diemisikan dari industri minyak dan gas bumi meliputi karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan nitrogen oksida (N₂O). Oleh karena itu gas-gas tersebut yang masuk ke dalam cakupan dalam penelitian ini. Sumber-sumber emisi dari kegiatan eksplorasi dan produksi minyak bumi dan gas di PT PEP dikelompokkan ke dalam beberapa kelompok sumber emisi, yaitu sumber pembakaran, sumber vented, sumber fugitive, dan sumber tidak langsung (API, 2009). Perhitungan emisi menggunakan metode faktor emisi yang dinyatakan dalam persamaan di bawah ini.

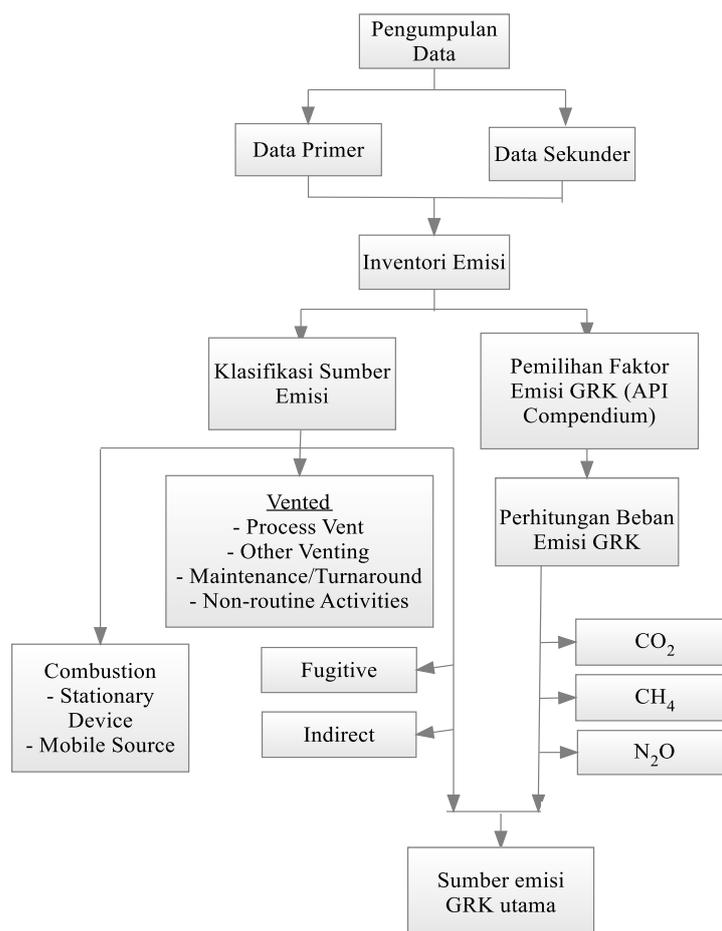
$$Emission = \sum EF_{a,b,c} \times Activity_{a,b,c}$$

Dimana:

Emission = Laju emisi polutan (ton/tahun)

EF = Faktor emisi polutan (ton/aktivitas)

Activity = Laju aktivitas (aktivitas/tahun)



Gambar 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

GRK dihitung sebagai karbon dioksida ekuivalen (CO₂e), dimana senyawa yang dilepaskan ke atmosfer dikonversi menjadi nilai CO₂e dengan menggunakan faktor yang spesifik terhadap senyawa tersebut (Beaubien, 2009). Nilai CO₂e diperoleh dengan mengalikan emisi GRK non-

karbon dioksida dengan nilai GWP tersebut. Hasil perhitungan dijumlahkan dengan beban emisi karbon dioksida sehingga diperoleh nilai CO₂e total. Nilai CO₂e ini merepresentasikan total GRK yang diemisikan dari seluruh sumber dan dapat digunakan untuk membandingkan

kontribusi emisi GRK dari masing-masing sumber. Sementara itu, kontribusi emisi GRK PT PEP diperoleh dengan membandingkan antara jumlah emisi GRK yang terhitung dibandingkan dengan emisi GRK dari sektor energi dan total emisi secara nasional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan emisi karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan nitrogen oksida (N₂O) dideskripsikan dalam satuan CO₂e dengan memanfaatkan nilai GWP. Berdasarkan rekomendasi IPCC, GWP metan dan nitrogen oksida adalah 21 dan 310.

Combustion Source

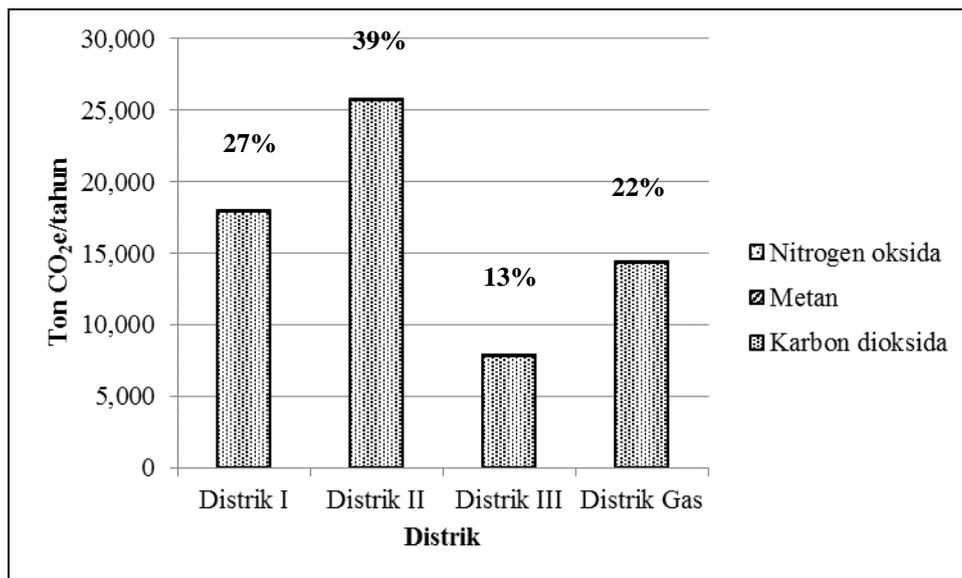
Emisi yang termasuk ke dalam kategori combustion source terdiri dari 2 jenis, yaitu *stationary source* dan *mobile source*. Sumber emisi yang termasuk ke dalam *stationary source* dari industri minyak dan gas bumi di PT PEP meliputi *stationary device* dan *flare*. Sementara itu, sumber

emisi yang termasuk ke *dalam mobile source* meliputi angkutan berat, angkutan ringan, dan alat berat.

a. Stationary Device

Beberapa peralatan memerlukan bahan bakar sebagai sumber energi yang diperlukan selama berlangsungnya kegiatan produksi. Peralatan tersebut meliputi alat generator, kompresor, dan *prime mover*. Pembakaran bahan bakar ini menghasilkan emisi CO₂, CH₄, dan N₂O. Beban emisi dari pembakaran bahan bakar dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Berdasarkan **Gambar 2** diketahui bahwa Distrik II merupakan distrik yang mengemisikan GRK terbesar di PT PEP dengan kontribusi sebesar 39%. Distrik I, distrik III, dan distrik gas masing-masing berkontribusi terhadap emisi GRK sebesar 27%, 13%, dan 22%. Total emisi CO₂, CH₄, dan N₂O dari sumber *stationary* masing-masing adalah sebesar 65.745,867 ton CO₂/tahun, 25,225 ton CO₂e/tahun, dan 38,618 ton CO₂e/tahun.



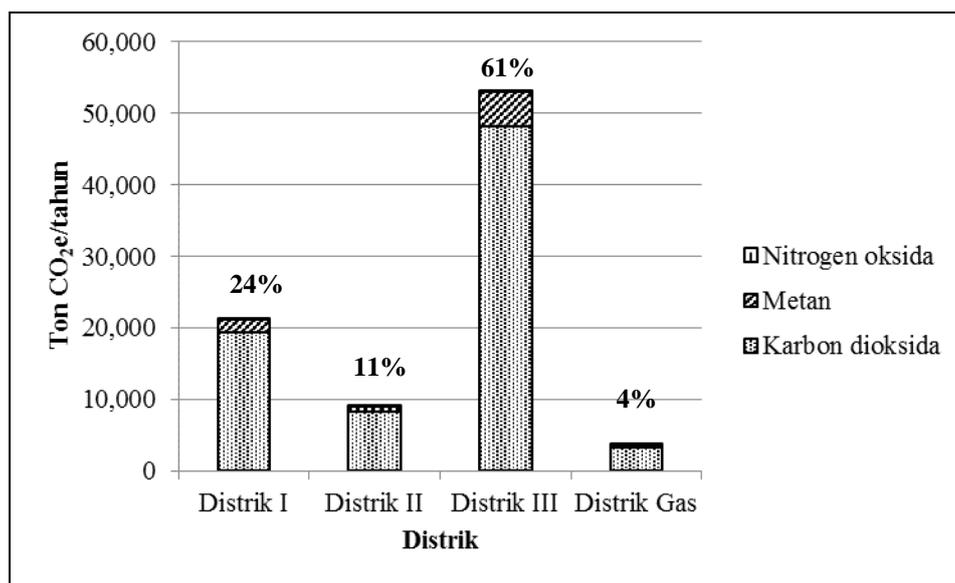
Gambar 2 Beban emisi pembakaran dari *stationary device*

b. Flare

Flare dilakukan untuk membakar associated gas berlebih yang dihasilkan oleh sumur produksi. Besarnya emisi GRK tergantung dari banyaknya associated gas yang dibakar. Beban emisi GRK dari *flare* di PT PEP dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Berdasarkan **Gambar 3** diketahui bahwa jumlah emisi GRK di Distrik III merupakan yang terbesar mencapai 61% dari total GRK yang diemisikan dari kegiatan *flaring*. Hal ini dikarenakan

kegiatan *flaring* di distrik III merupakan yang tertinggi, dimana laju gas yang di-*flaring* di distrik III mencapai 2,05 MMSCFD. Sementara itu, distrik I, distrik II, dan distrik gas mengemisikan GRK sebesar 24% , 11%, dan 4% dari total emisi GRK dari kegiatan *flaring*. Total emisi CO₂, CH₄, dan N₂O dari sumber *flaring* masing-masing adalah sebesar 79.054,723 ton CO₂/tahun, 7.884,512 ton CO₂e/tahun, dan 0,311 ton CO₂e/tahun.



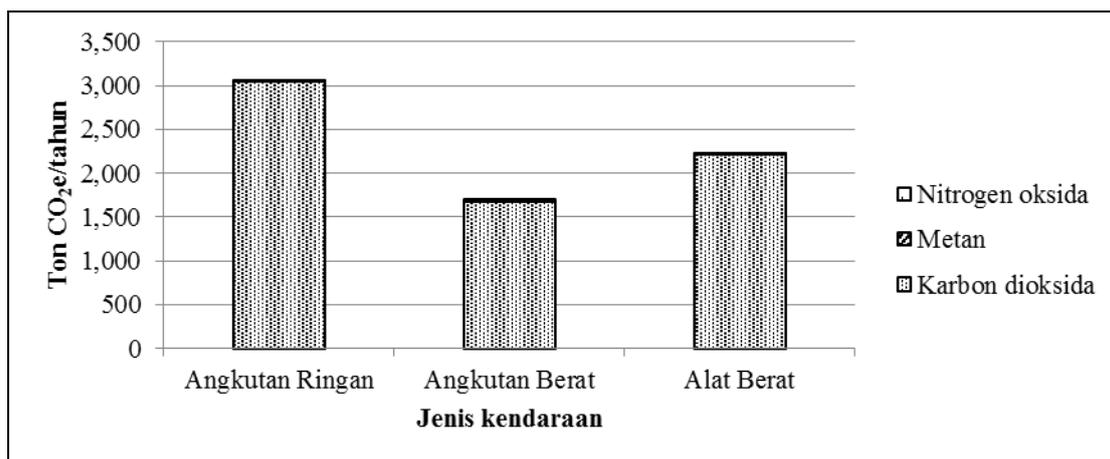
Gambar 3 Beban emisi dari *flaring*

c. Mobile Source

Sumber emisi GRK lain yang termasuk ke dalam kategori sumber pembakaran adalah kegiatan operasional angkutan ringan, angkutan berat dan alat berat. GRK dihasilkan dari pembakaran bahan bakar premium dan solar. Beban emisi GRK dari ketiga jenis alat angkut ini dapat dilihat pada **Gambar 4**. Berdasarkan **Gambar 4** diketahui bahwa emisi GRK paling banyak berasal dari angkutan ringan, seperti

mobil, motor, dan bus. Angkutan ringan mengemisikan 44% dari total emisi GRK dari sektor transportasi. Sementara itu, angkutan berat dan alat berat berkontribusi terhadap emisi GRK sebesar 24% dan 32%.

Total emisi CO₂, CH₄, dan N₂O dari sumber transportasi masing-masing adalah sebesar 6.949,526 ton CO₂/tahun, 5.926 ton CO₂e/tahun, dan 17,497 ton CO₂e/tahun.



Gambar 4 Beban emisi dari sektor transportasi

Vented Source

Sumber emisi yang tergolong vented source di PT PEP terdiri dari 4 macam, yaitu *process vent*, *other venting*, *maintenance*, dan *non-routine activities*.

a. Process Vent

Salah satu fasilitas produksi di PT PEP memiliki acid gas removal yang berfungsi untuk mengolah gas dengan konsentrasi asam tinggi. Pengolahan dilakukan dengan mengontakkan sour gas dan cairan pelarut amine sehingga gas CO₂ dan H₂S dalam *sour gas* tersisihkan. Larutan amine juga dapat menyerap sedikit CH₄, sedangkan sisanya terlepas ke atmosfer melalui reboiler vent (API, 2009). Estimasi emisi CH₄ dapat dilakukan dengan menggunakan faktor emisi. Beban emisi dari unit AGR sebesar 4.968,453 ton CO₂e/tahun yang belokasi di SPG Merbau.

b. Other Venting

Sumber emisi di PT PEP yang termasuk ke dalam kategori ini adalah tangki penyimpanan minyak dan air terproduksi, serta *casing* sumur produksi. Tangki minyak dan air terproduksi mengemisikan CH₄ melalui *flashing losses*, yang terjadi karena penurunan tekanan dari kondisi separator ke kondisi atmosfer di tangki penyimpanan (API Compendium, 2009).

Untuk mencapai potensi aliran yang layak, maka penting untuk

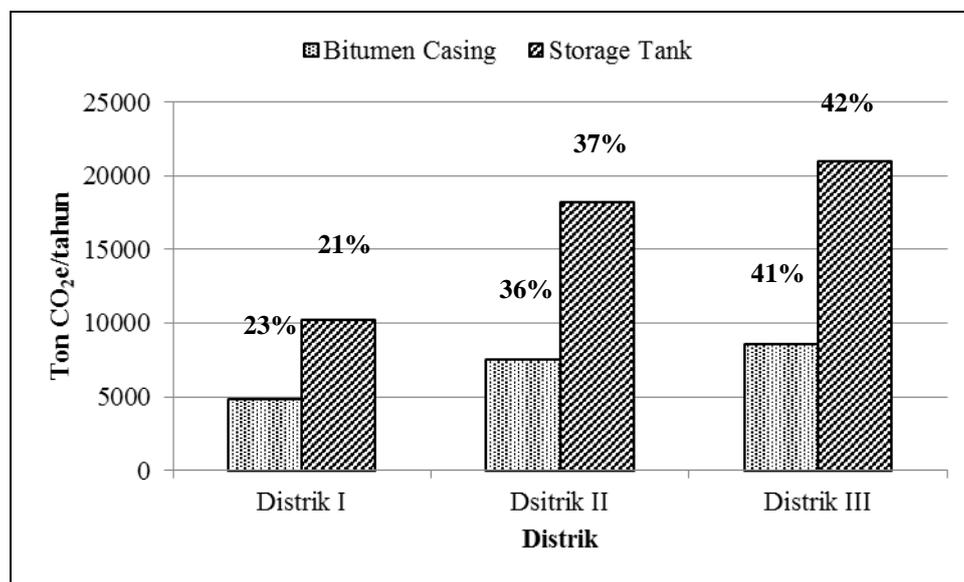
melepaskan tekanan gas dari lubang sumur. Dengan kata lain, tekanan sumur dikendalikan dengan menggunakan *casing vent*. Volume gas yang kecil dari *casing vent* memungkinkan untuk dilepaskan langsung ke atmosfer. Pelepasan gas dari casing vent ke atmosfer berpotensi melepaskan CH₄ yang terkandung di dalam gas. Oleh karena itu CH₄ juga diemisikan dari casing vent. Beban emisi dari tangki penyimpanan dan casing bitumen dapat dilihat di **Gambar 5**.

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditampilkan di **Gambar 5**, tangki minyak berkontribusi sebesar 96% sedangkan tangki air terproduksi hanya berkontribusi sebesar 4% dari total CH₄ yang dilepaskan ke atmosfer oleh tangki penyimpanan. Hal ini dikarenakan hidrokarbon yang terlarut di dalam minyak lebih banyak daripada hidrokarbon yang terkandung di dalam air terproduksi. Oleh karena itu, uap hidrokarbon yang keluar dari minyak lebih banyak dari pada uap yang keluar dari air terproduksi. Distrik III melepaskan emisi CH₄ terbanyak sekitar 42% dari total emisi CH₄ dari tangki penyimpanan. Hal ini dikarenakan jumlah minyak yang ditampung di distrik III merupakan yang terbesar, yaitu sekitar 1,08 juta barrel minyak.

Sementara itu distrik III menghasilkan emisi CH₄ terbanyak yang berasal dari bitumen casing vent, yaitu sekitar 41%

dari total emisi dari bitumen casing vent. Hal ini dikarenakan jumlah sumur di distrik II merupakan yang terbanyak yaitu 54 sumur aktif dan 15 sumur non-aktif. Sedangkan emisi gas well casing hanya berasal dari distrik I yang memiliki sumur gas. CH₄ yang diemisikan dari gas well casing sebesar 157,822 ton CO₂e/tahun. Sementara itu distrik III menghasilkan emisi CH₄ terbanyak yang berasal dari

bitumen casing vent, yaitu sekitar 41% dari total emisi dari bitumen casing vent. Hal ini dikarenakan jumlah sumur di distrik II merupakan yang terbanyak yaitu 54 sumur aktif dan 15 sumur non-aktif. Sedangkan emisi gas well casing hanya berasal dari distrik I yang memiliki sumur gas. CH₄ yang diemisikan dari gas well casing sebesar 157,822 ton CO₂e/tahun.

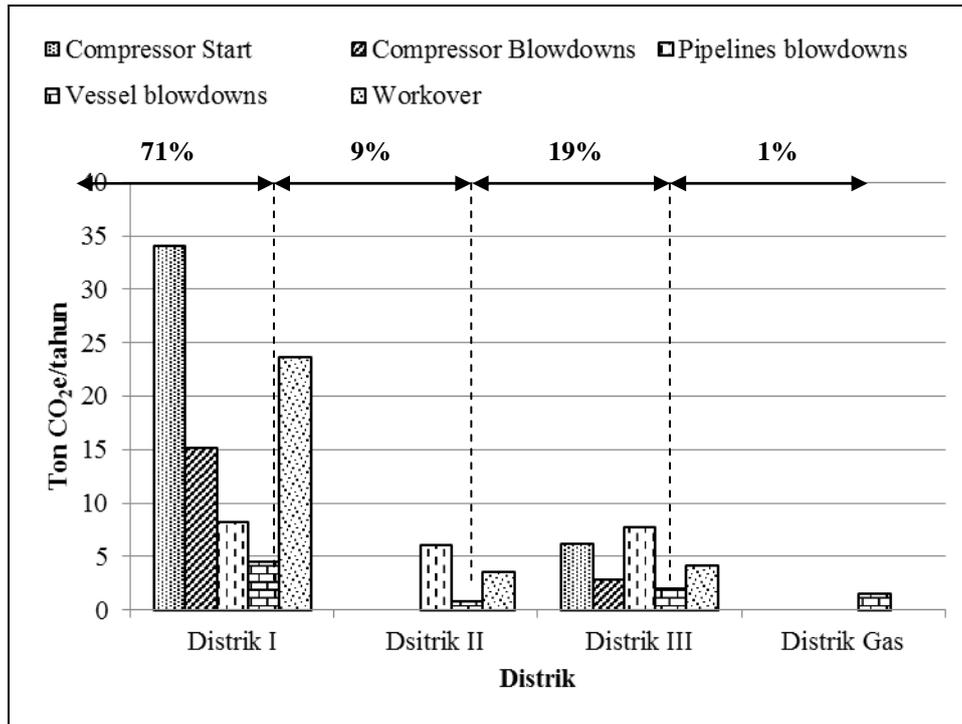


Gambar 5 Beban emisi dari bitumen casing dan storage tank

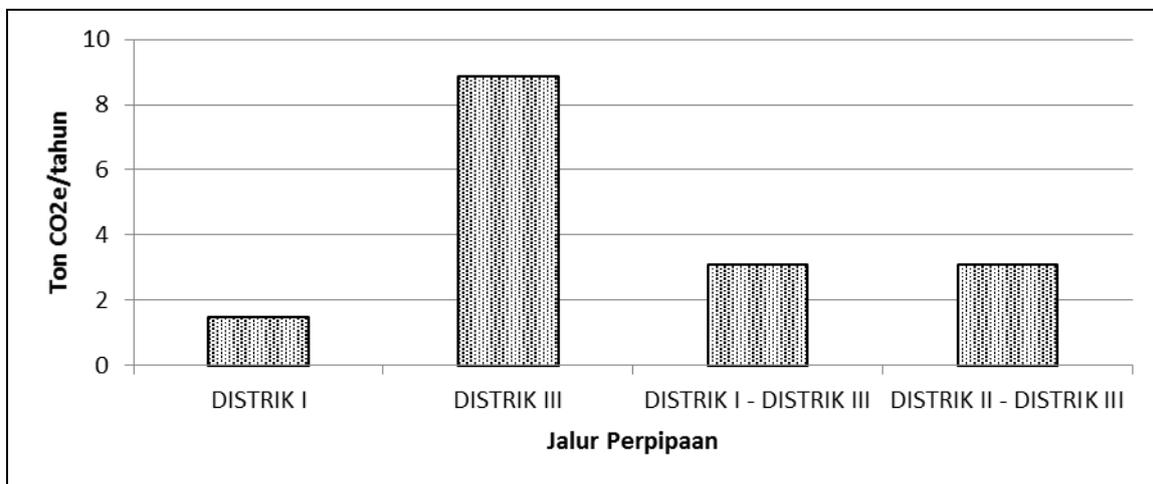
c. Perawatan (Maintenance)

Sumber emisi yang termasuk ke dalam kategori ini meliputi *compressor starts*, *compressor blowdowns*, *pipelines blowdowns*, *vessel blowdowns* dan *well workovers*. Gas CH₄ terlepas ke atmosfer secara tidak sengaja dari sumber-sumber ini. *Compressor starts* merupakan emisi vented dari gas alam yang digunakan untuk menghidupkan kompresor. Sedangkan *compressor blowdowns* terjadi karena tekanan diturunkan menjadi tekanan atmosfer ketika kompresor dimatikan. *Pipeline blowdowns* dapat terjadi ketika pipa diperbaiki sehingga melepaskan CH₄ ke atmosfer. *Vessel blowdown* mengacu pada blowdown berbagai vessel proses produksi termasuk

separator, dehidrator, dan in-line heater. *Well workover* mengacu pada kegiatan yang dilakukan untuk mengembalikan atau meningkatkan produksi sumur. Kegiatan *workover* meliputi reparasi pompa, pergantian pompa dengan kapasitas yang lebih besar dan perbaikan tubing yang bocor. Selain itu juga pemindahan zona produksi dari interval yang satu ke interval yang lebih produktif, dan perbaikan hasil penyemenan yang kurang baik. Di PT PEP, *workover* dilakukan 2 kali dalam 1 tahun pada setiap sumur produksi baik sumur minyak maupun sumur gas. Beban emisi dari kegiatan perawatan dapat dilihat pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**.



Gambar 6 Beban emisi dari peralatan PRV

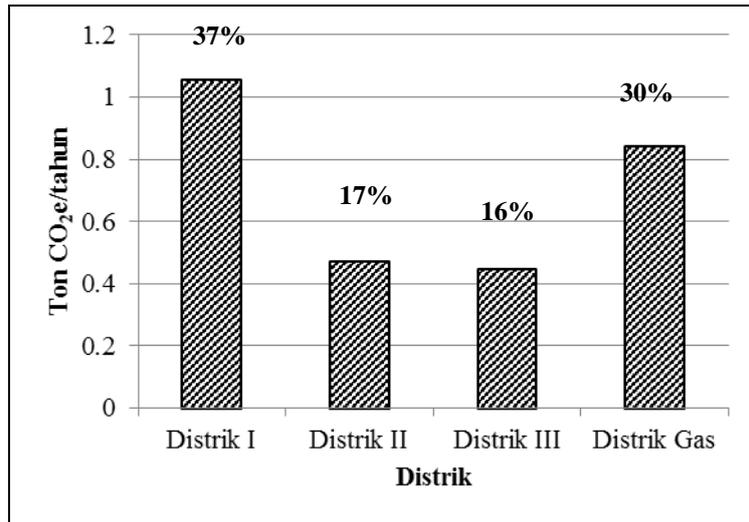


Gambar 7 Beban emisi pipeline blowdowns

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**, diketahui bahwa CH₄ dari *compressor start*, *compressor blowdowns*, *vessel blowdowns*, dan *well workover* paling banyak diemisikan dari Distrik I. Sementara itu, CH₄ dari *pipeline blowdowns* paling banyak diemisikan dari distrik III. Kegiatan *well work over* berkontribusi terhadap 37% dari total emisi *maintenance*. Sementara itu

compressor start, *compressor blowdowns*, *pipeline blowdowns*, dan *vessel blowdowns* berkontribusi terhadap 23%, 20%, 25%, dan 5% dari total emisi *maintenance*.

Sementara itu, pipa antar fasilitas juga mengemisikan CH₄ dari *pipeline blowdowns*. Berdasarkan hasil perhitungan yang ditampilkan di **Gambar 7** diketahui bahwa pipa minyak dari PPP ke KM 3 Plaju mengemisikan metan dengan jumlah terbesar, mencapai 6,53 ton CO₂e/tahun.

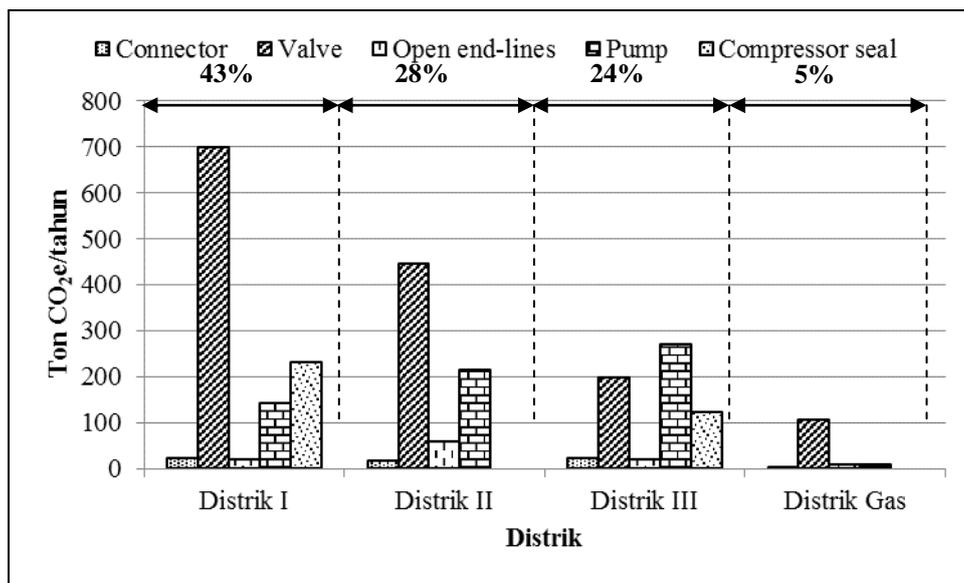


Gambar 8 Beban emisi dari PRV

Fugitive Source

Emisi *fugitive* yang terdapat di PT PEP meliputi kebocoran peralatan dari *valves*, *connector*, *open-endlines*, dan *compressor seal*. Kebocoran ini berpotensi melepaskan CH₄ ke atmosfer. Beban emisi CH₄ dari kebocoran peralatan dapat dilihat pada **Gambar 9**. Berdasarkan **Gambar 9** diketahui bahwa emisi CH₄ dari *connector* dan *pump seal* paling banyak diemisikan

di distrik II. sedangkan emisi CH₄ dari *open-endline* dan *compressor seal* paling banyak berasal dari distrik II. Sementara itu emisi CH₄ dari *valve* paling banyak berasal dari distrik I. Secara keseluruhan, distrik I mengemisikan emisi dari sumber *fugitive* terbesar dengan kontribusi sebesar 43%.



Gambar 9 Beban emisi dari kebocoran peralatan

Rekapitulasi Emisi GRK DI PT PEP

Sumber *combustion* paling banyak mengemisikan GRK sebesar 72% dari total emisi GRK di PT PEP. Sementara itu,

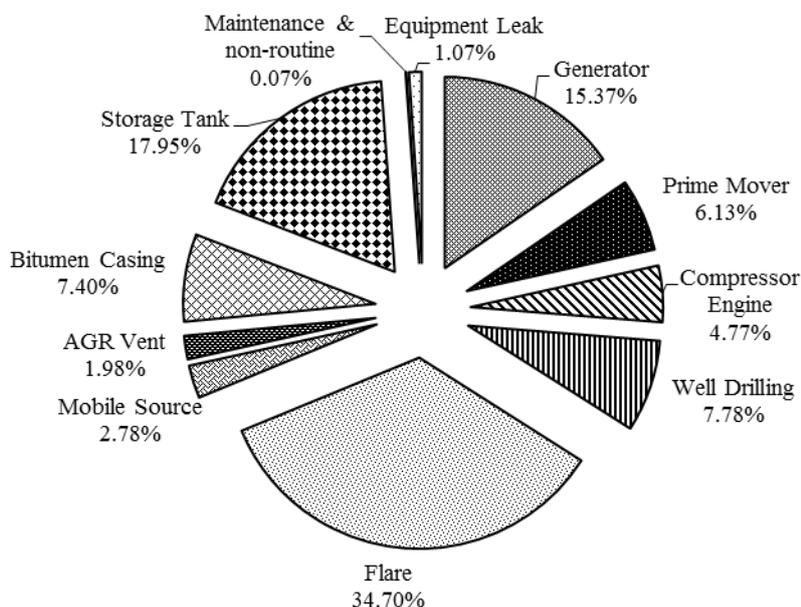
sumber *vented* 27% dan *fugitive* mengemisikan 1% dari total emisi GRK di PT PEP. Kontribusi masing-masing

sumber emisi dapat dilihat pada **Gambar 10**.

Sumber Emisi Utama GRK

Berdasarkan **Gambar 10**, diketahui bahwa *flare*, tangki penyimpanan (*storage tank*), dan generator mengemisikan GRK paling

banyak dibandingkan sumber yang lain, yaitu mencapai 34,7%, 17,95%, dan 15,42% dari total emisi GRK yang diemisikan dari aktivitas eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi di PT PEP.



Gambar 10 Kontribusi Masing-Masing Sumber Emisi di PT PEP

KESIMPULAN

Setelah dilakukan inventarisasi emisi GRK, diketahui bahwa total emisi gas rumah kaca yang diemisikan di PT PEP adalah sebesar 283.250 ton CO₂e/tahun. Emisi GRK di PT PEP berkontribusi terhadap emisi GRK dari sektor energi sebesar 0,64x10⁻⁴% dan 0,17x10⁻⁴% kontribusi terhadap emisi GRK nasional. Sementara itu, kontribusi tertinggi dari sumber combustion, vented, fugitive terhadap total emisi GRK di PT PEP

masing-masing sebesar 30,66% dari *flare*, 17,44% dari *storage tank*, dan 0,92%.

DAFTAR PUSTAKA

- EPA. (2012) Greenhouse Gas Emission Reporting From The Petroleum and Natural Gas Industry
- API. (2009) Compendium of Greenhouse Gas Emission Methodologies For The Oil and Gas Industry
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Sumber Emisi Bergerak bagi Usaha dan/atau Kegiatan Minyak dan Gas Bumi.

STUDI POTENSI PENYISIHAN ORGANIK PADA EFLUEN IPAL DOMESTIK DENGAN PENGGUNAAN *CONSTRUCTED WETLAND* (Studi Kasus : IPAL Bojongsoang, Bandung)

Yandes Panelin

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Presiden
Jalan Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang, West Java 17550
yandespanelin@gmail.com

Abstrak : Sebagian besar air digunakan sebagai air pembilas, sebagai contoh air bersih yang digunakan untuk mandi, cuci tangan, mencuci baju, dan lainnya, sekitar 70-80 % pemakaian air bersih akan berubah menjadi air limbah domestik. Seiring dengan peningkatan kebutuhan air, maka kebutuhan air baku untuk diproses semakin meningkat pula. Namun, peningkatan kebutuhan akan air baku ini tidak diikuti dengan peningkatan persediaan air baku, baik secara kualitas maupun kuantitas. Kondisi tersebut mendorong upaya untuk mencari alternatif sumber air baku lainnya yang lebih terjamin dari segi kualitas dan kuantitas. Salah satu upayanya yaitu dengan memanfaatkan kembali (reuse) efluen hasil pengolahan air limbah. Teknologi yang akan digunakan untuk pengolahan haruslah teknologi yang murah, tepat guna, dan tidak terlalu susah dalam perawatannya. Salah satu teknologi yang bisa digunakan adalah *constructed wetland*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengukur efisiensi pengolahan dan menentukan kondisi operasi yang optimum dalam pengolahan efluen IPAL Bojongsoang. Penelitian ini dilakukan di laboratorium menggunakan *constructed wetland* menggunakan jenis tanaman *Typha latifolia*. Variasi yang digunakan adalah variasi waktu detensi (1, 3, & 5 hari). Tipe reaktor yang digunakan adalah *constructed wetland* dengan aerasi & tanpa aerasi. Masing-masing reaktor diberikan umpan air limbah efluen IPAL Bojongsoang. Parameter yang diperiksa adalah COD dan BOD, pH, dan temperatur. Pengukuran parameter COD, pH, dan temperatur dilakukan setiap hari, sedangkan parameter BOD dilakukan setelah reaktor dalam kondisi steady state. Berdasarkan pengukuran, diketahui bahwa penyisihan organik paling baik terjadi pada waktu detensi 5 hari dengan efisiensi 91,2-94,9 %. Reaktor dengan penambahan aerasi dapat menyisihkan parameter COD lebih baik dibandingkan tanpa aerasi, dengan signifikansi yang cukup baik pada waktu detensi 1 hari.

Kata kunci : air limbah domestik, *constructed wetland*, daur ulang, kondisi optimum

Abstract: Most of water we used as rinse water, for example water used for bathing, for washing hands, to wash clothes, and more, approximately 70-80% of water consumption will turn into gray water. Along with the increasing water demand, the raw water needs to be processed is increasing as well. However, the increasing need for raw water is not followed by an increase in raw water, both in quality and quantity. These conditions encourage efforts to find alternative sources of raw water which more secure than others in terms of quality and quantity. One of its efforts is by making use again (reuse) effluent from wastewater treatment. The technology will be used to process must be cheap, effective, and not difficult in treatment. Technology used in this study is *constructed wetland*. The purpose of this research is measuring the treatment efficiency, determining the optimum operating conditions, determining the criteria for water reuse. This research is conducted in the laboratory using a *constructed wetland* with type of plant is *Typha latifolia*. Variations are made in this study are detention time (1day, 3days and 5 days) and type of reactors (*constructed wetland* & aerated *constructed wetland*). Each reactor is given wastewater feed derived from effluent of WWTP Bojongsoang. Parameters examined in this study are COD, BOD, pH, and temperature. Measurement of COD, pH, and temperature conducted every day, while the BOD parameter are done after the reactor reaching steady state conditions. Based on the measurements, it is known that the best detention time to remove organic matter is at 5 days with efficiency between 91,2-94,9%. Aerated *constructed wetland* can remove organic matter better than non-aerated reactor, with good significance removal at 1 day detention time.

Key Words: *constructed wetland*, gray water, optimum conditions, water reuse.

PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap air cenderung terus meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan peningkatan taraf hidup. Seiring dengan peningkatan

kebutuhan air ini, maka kebutuhan akan air baku untuk diproses semakin meningkat pula. Namun, peningkatan kebutuhan akan air baku ini tidak diikuti dengan

peningkatan air baku, baik secara kualitas maupun kuantitas.

Sumber-sumber air baku yang potensial, khususnya diperkotaan adalah air tanah, air sungai, dan badan air lainnya. Namun kualitas dan kuantitas nya tidak terjamin, dan kadang harus didatangkan dari luar daerahnya. Kondisi sumber air baku tersebut, mendorong upaya untuk mencari sumber air baku lainnya yang lebih terjamin dari segi kualitas dan kuantitas. Salah satu upayanya yaitu dengan memanfaatkan kembali (*reuse*) air hasil pengolahan limbah.

Sebagian besar air digunakan dalam kehidupan sehari-hari sebagai air pembilas, sebagai contoh air bersih yang digunakan untuk mandi, untuk cuci tangan, untuk mencuci baju dan lainnya. Sekitar 70-80 % pemakaian air bersih akan berubah menjadi air limbah domestik. Dengan melihat banyaknya penggunaan air untuk membilas, maka teknologi daur ulang air yang berasal dari limbah domestik menjadi salah satu alternatif untuk menambah persediaan air diluar kebutuhan air minum. Konsep daur ulang

air mengambil dari konsep bahwa pemakaian air hasil daur ulang harus sesuai dengan peruntukannya. Strategi dalam pemanfaatan kembali air limbah dapat dilakukan dengan prinsip *wastewater reuse* atau *wastewater recycling*.

Teknologi yang akan digunakan untuk mengolah kembali air limbah domestik ini haruslah teknologi yang murah, tepat guna, dan tidak terlalu susah dalam perawatannya. Salah satu teknologi yang bisa digunakan adalah lahan basah buatan (*constructed wetland*). *Constructed wetland* dapat mengolah pencemar organik yang berasal dari limbah domestik dengan lebih baik daripada limbah jenis lain (Vymazal, 2008). Banyak jenis dari teknologi *constructed wetland* ini, maka diperlukan suatu studi untuk mendapatkan teknologi *constructed wetland* yang tepat. Pada studi ini digunakan efluen dari kolam maturasi IPAL Bojongsoang, Bandung. Berikut pada **Tabel 1** adalah beberapa data penelitian mengenai *wetland* dalam menyisihkan organik.

Tabel 1. Kemampuan *wetland* dalam menyisihkan COD

Jenis Limbah Cair	Sistem pengolahan	Efisiensi (%)	Keterangan
Domestik	Kombinasi, dua <i>Surface Flow Wetland</i>	59,9	(Yeh, 2006)
Domestik	Kombinasi, SSF dan <i>Surface Flow Wetland</i>	85,56	(Soeprijanto, 2005)
Domestik	<i>Free Water System</i>	37,43-42,43	(Nurul, 2009)
Domestik	3 Stage HSF	93,6	(Merlin, 2002)
Domestik	<i>Integrated Constructed Wetland</i>	89,1 & 97	(Kayranli,2010)
Lindi	<i>Free Water Surface Wetland</i>	99,5	(Wojciechowska, 2010)

Definisi *wetland* sangat beragam, diantaranya adalah suatu lahan yang jenuh air dengan kedalaman air tipikal kurang dari 0,6 m yang mendukung pertumbuhan tanaman air *emergent* misalnya cattail, bulrush, umbrella plant dan canna (Metcalf dan Eddy, 1991). Sementara definisi dari *Constructed wetland* merupakan sistem

pengolahan terencana atau terkontrol yang telah didesain dan dibangun dengan menggunakan proses alami yang melibatkan vegetasi *wetland*, tanah, dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah (Setiyawan, 2007). Metode ini memungkinkan pengolahan limbah yang murah, efektif, dan ramah lingkungan.

Proses pengolahan yang terjadi pada sistem ini adalah filtrasi oleh akar-akar tanaman terhadap tanah dan bahan organik.

Tipe pengaliran air limbah pada *constructed wetland* umumnya secara horizontal, karena jenis ini memiliki efisiensi pengolahan terhadap suspended solid dan bakteri yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe yang lain. Hal ini disebabkan karena daya filtrasinya lebih baik. Penurunan BOD-nya juga lebih baik karena kapasitas transfer oksigen lebih besar.

Air limbah yang telah diolah dengan *constructed wetland* harus memenuhi standar kualitas air yang berlaku sebelum digunakan kembali sebagai alternatif air baku. Oleh karena itu, pengolahan fisika kimia dilakukan untuk menyempurnakan kualitas efluen yang dihasilkan. Pengolahan yang dilakukan umumnya merupakan desinfeksi, sehingga air yang digunakan kembali memiliki kualitas yang layak sesuai standar yang berlaku.

METODOLOGI

Lokasi yang dipilih sebagai tempat pengambilan sampel adalah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Bojongsoang. Lokasi ini dipilih dikarenakan instalasi pengolahan limbah domestik satu-satunya yang terdapat di Bandung, dan karakteristik efluen dari kolam maturasi (*maturation pond*) ini beberapa parameternya masih melebihi baku mutu. Diharapkan melalui penelitian ini, dapat menurunkan parameter tersebut secara signifikan.

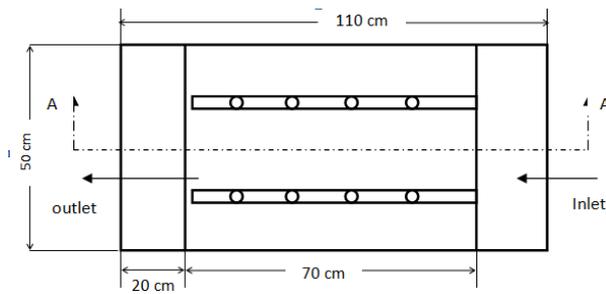
Tanaman yang dipilih dalam penelitian ini adalah *Typha Latifolia*. Alasan tanaman tersebut dipilih dikarenakan tanaman ini hidup liar sehingga tidak membutuhkan perawatan secara khusus, dan mudah ditemukan di berbagai daerah. Tanaman tersebut diambil di daerah Garut. Tanaman tersebut tumbuh di daerah lahan pertanian dan daerah rawa-rawa.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran konsentrasi pencemar sebelum diolah kedalam reaktor. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari pencemar yang akan diolah oleh reaktor *constructed wetland*.

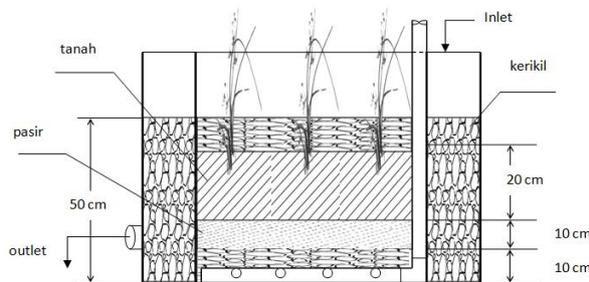
Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran tanah, pasir dan kerikil yang terstratifikasi. Tanah yang digunakan adalah tanah dari Lembang tanpa penambahan pupuk, sehingga tidak mempengaruhi efluen yang akan diperiksa. Alasan penggunaan tanah Lembang karena tanah tersebut subur dan banyak mengandung unsur hara yang baik untuk tanaman. Pasir dan kerikil yang digunakan berasal dari Sungai Cikapundung.

Tahap penjenjuran dilakukan pada awal pengaliran limbah. Pada tahap ini reaktor diisi dengan air keran hingga air menggenangi permukaan lalu dibiarkan hingga pori-pori antar partikel media terisi penuh oleh air, biasanya membutuhkan waktu beberapa hari. Tanah menjadi jenuh apabila tinggi muka air tidak turun lagi, yang disebabkan seluruh air telah mengisi pori-pori tanah. Setelah tanah jenuh dengan air maka, reaktor siap untuk dialirkan limbah.

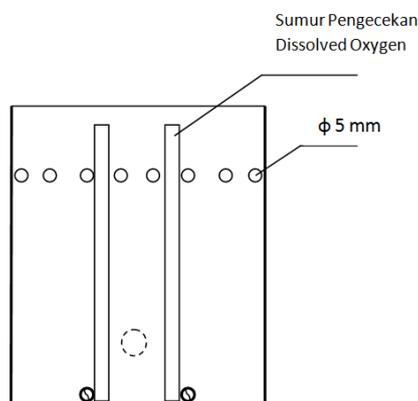
Reaktor dibagi menjadi tiga kompartemen yang terdiri dari zona inlet, zona pengolahan dan zona outlet. Panjang zona inlet dan outlet 0,2 m dan panjang zona pengolahan 0,7 m dengan lebar 0,5 m. Antara zona inlet-zona pengolahan-zona outlet diberi sekat berlubang dengan diameter lubang 0,5 cm. Zona inlet dan outlet diisi dengan kerikil yang memiliki ukuran seragam dengan diameter 2 cm. Zona pengolahan diisi dengan media tanah, pasir, kerikil, dan tanaman dengan kedalaman total media 50 cm. Volume dari zona pengolahan yaitu 140 liter. Pada zona outlet dibuat lubang outlet dengan ketinggian 15 cm dari permukaan reaktor. Kemiringan setiap reaktor adalah 0,1%. Gambar reaktor, potongan melintang dan membujur dapat dilihat pada **Gambar 1**, **Gambar 2**, **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



Gambar 1. Skema reaktor *constructed wetland*

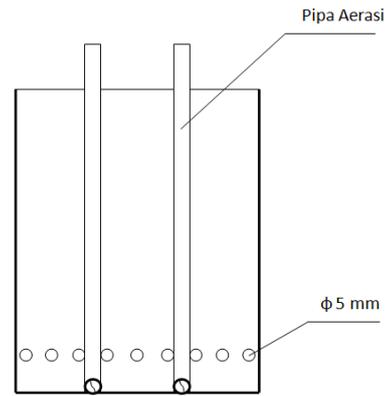


Gambar 2. Potongan A-A reaktor



Gambar 3. Potongan B-B reaktor

Umpan limbah berasal dari efluen IPAL Bojongsoang Bandung. Umpan dialirkan secara paralel dari penampung limbah kedalam zona inlet dari masing-masing reaktor menggunakan sebuah pompa diafragma. Debit pengaliran kedalam zona inlet reaktor disesuaikan sesuai dengan variasi waktu detensi. Untuk waktu detensi 1 hari debit pengalirannya adalah 0,567 ml/detik, untuk waktu detensi 3 hari debit pengalirannya adalah 0,189 ml/detik dan untuk waktu detensi 5 hari debit pengalirannya adalah 0,113 ml/detik.



Gambar 4. Potongan C-C reaktor

Pada penelitian ini digunakan empat reaktor *Horizontal Subsurface Flow System*. Dua reaktor merupakan reaktor *aerated wetland*.

- Reaktor A : tanaman *Typha Latifolia* tanpa penambahan aerator
- Reaktor B : tanaman *Typha Latifolia* dengan penambahan aerator

Pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi parameter. Variasi pertama adalah variasi waktu detensi yang didasarkan kepada variasi debit. Waktu detensi yang digunakan adalah 1 hari, 3 hari, dan 5 hari.

Variasi yang kedua adalah jenis dari reaktor yang digunakan, yaitu reaktor *constructed wetland* dan *aerated constructed wetland*.

Parameter COD terlarut dilakukan analisa setiap dua kali sehari yaitu pagi hari dan sore hari untuk mengetahui stabilitas penyisihan organik oleh reaktor. Pemilihan waktu pengambilan sampel ini dengan pertimbangan kondisi lingkungan yang tidak jauh berbeda. Walaupun pada siang hari memiliki interval waktu yang lebih pendek, namun aktivitas biologi lebih banyak terjadi pada siang hari. Dilakukan pengukuran influen dan efluen pada reaktor untuk memperoleh efisiensi pengolahan. Disetiap pengambilan sampel dilakukan pengukuran suhu dan pH. Parameter BOD dianalisa setelah reaktor mencapai kondisi tunak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Surat Keputusan Gubernur Jawa Barat No.39 Tahun 2000, terlihat bahwa parameter nitrit dan amonium masih melebihi baku mutu, hal ini dapat membebani badan air yang akan menjadi tempat pembuangan limbah hasil olahan ini. Melihat besarnya jumlah air yang diolah pada saat ini yaitu sekitar 40000 m³/hari, maka potensi ini cukup besar untuk dimanfaatkan kembali, sehingga dapat memberi manfaat bagi lingkungan dan bagi kehidupan manusia. Namun, air limbah hasil olahan tersebut harus kembali disesuaikan karakteristiknya terhadap peraturan yang berlaku untuk pemanfaatan air, yaitu Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001.

Di awal penelitian dilakukan pengecekan awal dari karakteristik awal limbah yang akan diolah. Data karakteristik tersebut disajikan dalam **Tabel 2**. Efluen IPAL Bojongsoang dapat dikategorikan kedalam kelas lemah, walaupun beberapa parameter berada pada kelas sedang dan kuat, parameter BOD, COD, total fosfat, dan nitrit melewati baku mutu. Parameter COD memiliki rentang nilai antara 68,57 – 154,59 mg/L, sedangkan

parameter BOD memiliki rentang 23 – 97 mg/L.

Dengan membandingkan antara nilai BOD dan COD akan didapatkan suatu nilai yang menggambarkan angka biodegradabilitas limbah yang akan diolah. Dari tabel diatas didapat bahwa rasio BOD/COD adalah 0,878. Nilai rasio BOD/COD ini tipikal dari limbah cair rumah tangga. Jika nilai tersebut lebih besar dari 0,5 maka limbah tersebut dapat didegradasi oleh bakteri (Tchobanoglous et al., 2003).

Diharapkan melalui penelitian ini, karakteristik efluen yang dihasilkan dapat memenuhi PP no.82 Tahun 2001 kelas 3, yang dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertamanan, dan untuk kegunaan lain dengan persyaratan mutu air yang sama, mengingat mata pencaharian penduduk sekitar IPAL Bojongsoang yang kebanyakan bercocok tanam dan membudidayakan ikan.

Tabel 2. Karakteristik awal umpan reaktor

No	Parameter Karakteristik Awal	Unit	Limbah IPAL Bojongsoang	kelas *			Baku Mutu	
				lemah	sedang	kuat	konsentrasi**	konsentrasi***
1	pH		7.5 - 9,216	-	-	-	6 -9	6 -9
2	Suhu	0C	25.2 - 27,18	-	-	-	-	-
3	Total Solid	mg/L	375 - 567	350	770	1200	1400	-
4	BOD	mg/L	23 - 97	110	220	350	6	-
5	COD	mg/L	77,8 - 154,59	250	500	1000	50	-
6	Total P	mg/L	0,156 - 29,3156	4	8	15	1	-
7	Nitrat	mg/L	1,58 - 0,2041	-	-	-	20	10
8	Nitrit	mg/L	0,0888 - 1,054	-	-	-	0,06	0,06
9	Amonium	mg/L	1,428 - 2,555	12	25	50	-	0,02
10	NTK	mg/L	2,38 - 10,282	20	40	85	-	-
11	Oksigen Terlarut	mg/L	3,01 - 4,90				3	3

Baku Mutu : * Metcalf & Eddy, 2003.

** PP 82 Tahun 2001 untuk kelas III

*** Surat Keputusan Gubernur Jawa Barat No.39 Tahun 2000

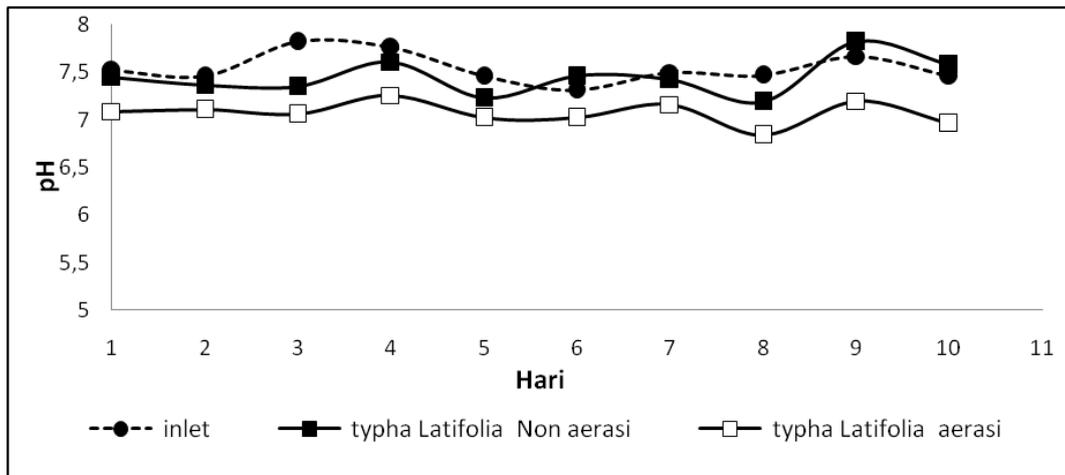
Pengaruh Waktu Detensi Terhadap pH

Pengukuran pH dilakukan karena beberapa parameter pencemar, penyisihannya bergantung pada nilai pH. Data tersebut diambil setiap kali dilakukan pengambilan sampel. Untuk reaktor dengan tanaman *Typha latifolia* tanpa perlakuan aerasi pH-nya adalah 7,44, sedangkan untuk reaktor dengan tanaman *Typha latifolia* dengan penambahan aerasi pH-nya adalah 7,07. Suhu harian rata-rata untuk waktu detensi 1 hari di dalam reaktor adalah 25,1 °C. Data tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5**.

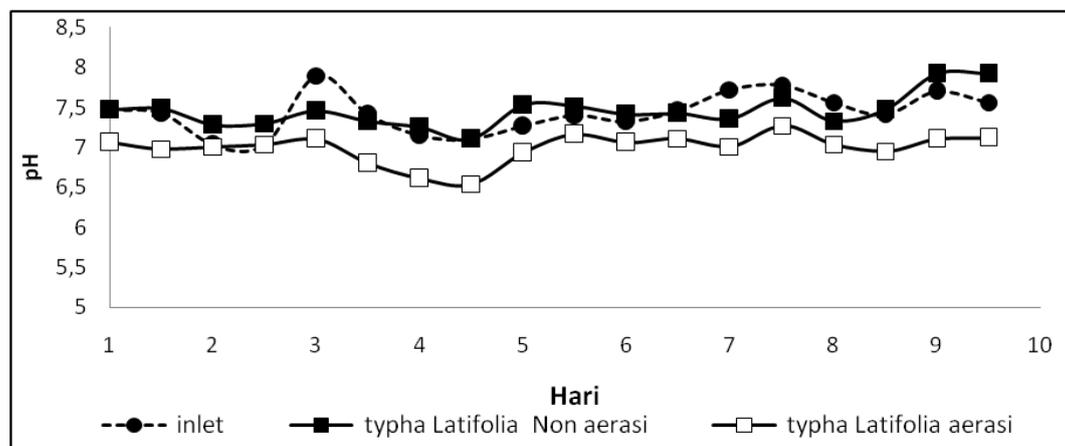
pH inlet harian rata-rata untuk waktu detensi 3 hari, sebesar 7,43. Untuk reaktor tanpa penambahan aerasi pH rata-rata pada perlakuan waktu tinggal 3 hari

adalah 7,42, sedangkan pH pada reaktor dengan penambahan aerasi adalah 7,02. Suhu rata-rata harian untuk waktu detensi 3 hari adalah 25,3 °C. Data tersebut dapat dilihat pada **Gambar 6**.

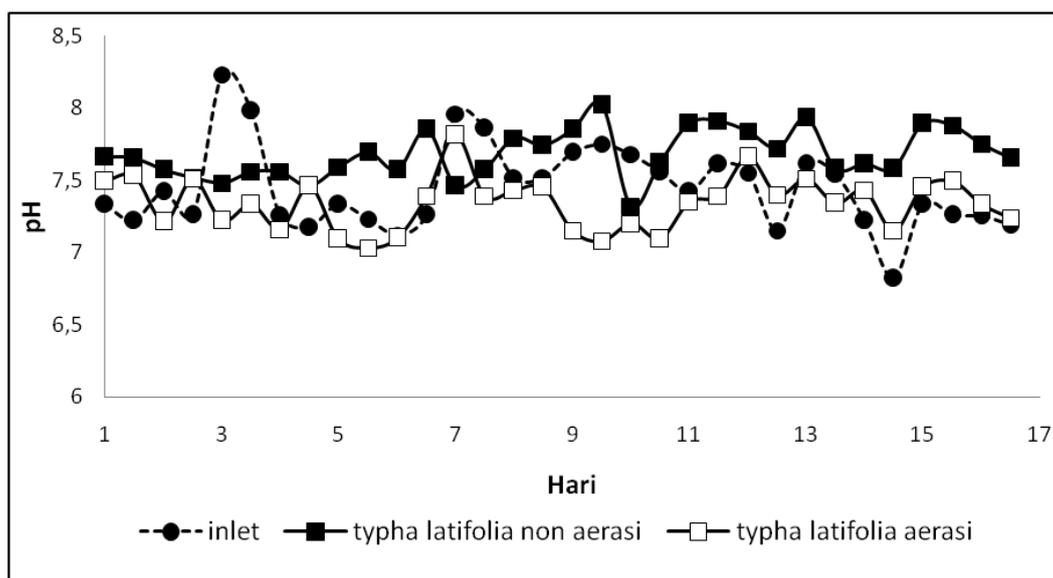
pH inlet harian rata-rata untuk waktu detensi 5 hari, sebesar 7,44. Untuk reaktor tanpa penambahan aerasi pH rata-rata pada perlakuan waktu tinggal 5 hari adalah 7,68, sedangkan pH pada reaktor dengan penambahan aerasi adalah 7,33. Suhu rata-rata harian untuk waktu detensi 5 hari adalah 25,1 °C. Data tersebut dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 5. Pengaruh waktu detensi 1 hari terhadap pH



Gambar 6. Pengaruh waktu detensi 3 hari terhadap pH



Gambar 7. Pengaruh waktu detensi 5 hari terhadap pH

Berdasarkan **Gambar 5**, **Gambar 6**, dan **Gambar 7**, diketahui bahwa lama kontak limbah terhadap reaktor tidak berpengaruh pada nilai dari pH. Namun dengan adanya penambahan aerasi pada reaktor C dan D, tampak jelas mempengaruhi nilai pH. Efluen dari reaktor C dan D tampak lebih tinggi nilai pH-nya daripada reaktor A dan B. Lebih kecilnya pH pada reaktor dengan tambahan aerasi, dapat disebabkan akibat mikroorganisme aerob yang lebih aktif pada reaktor dengan aerasi. Mikroorganisme aerob selain menghasilkan energi untuk dirinya sendiri, juga menghasilkan CO_2 yang dapat menurunkan pH.

Efisiensi penyisihan organik

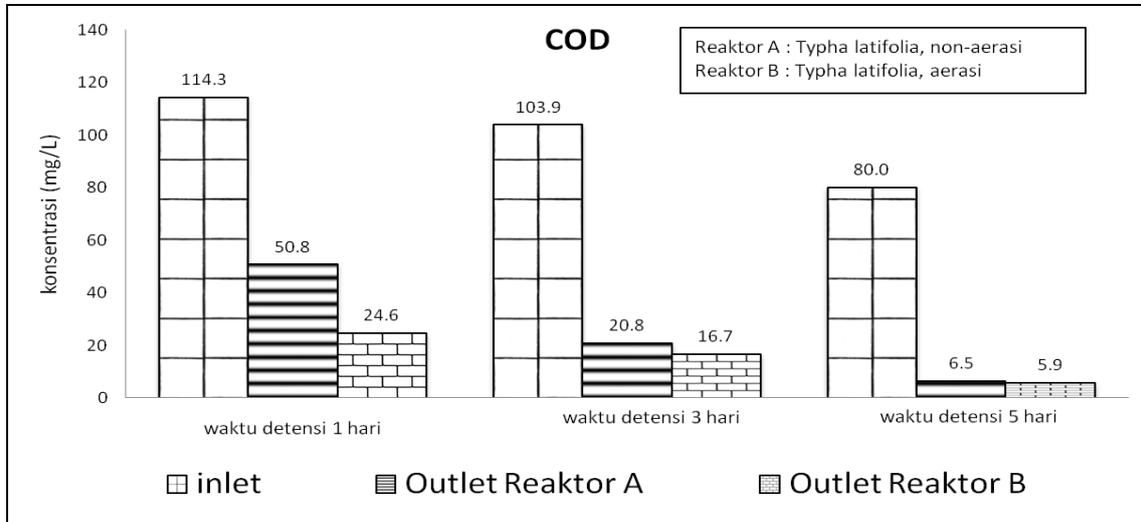
Sampel dari masing-masing outlet reaktor *constructed wetland* diambil setiap hari pada pukul 09.00 dan 15.00 untuk mengetahui konsentrasi COD terlarut. Berdasarkan penelitian terlihat bahwa pada waktu detensi 1 hari konsentrasi akhir COD terlarut setelah reaktor stabil berkisar antara 37,67 – 49,41 %, untuk waktu detensi 3 hari efisiensi penyisihan COD terlarut berkisar antara 30,07-70,83%, sedangkan untuk waktu detensi 5 hari efisiensinya berkisar antara 55,72-69,81%.

Efisiensi penyisihan organik yang diwakili oleh parameter COD. Berdasarkan **Gambar 8** dan **Gambar 9**, terlihat bahwa penyisihan COD berlangsung paling baik pada waktu detensi 5 hari, baik pada reaktor dengan aerasi atau tanpa aerasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak antara limbah dengan mikroorganisme dan akar tanaman, semakin baik penyisihan organik yang didapatkan. Hal ini karena mekanisme dasar penyisihan organik adalah adanya simbiosis antara tanaman dan bakteri (Polprasert, 1998).

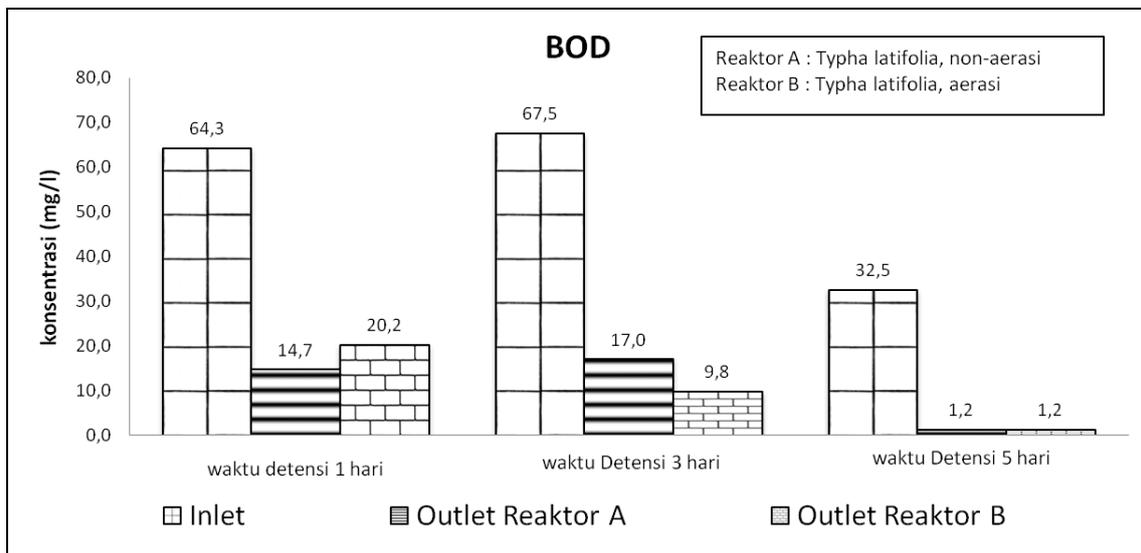
Reaktor *aerated constructed wetland* dikembangkan untuk memperbesar efisiensi penyisihan zat pencemar dalam limbah, salah satunya zat organik (Nurul, 2009). Dari **Gambar 8**, terlihat bahwa penyisihan zat organik pada reaktor *constructed wetland* dengan aerasi lebih tinggi dibandingkan yang tanpa aerasi. Jika dirata-ratakan dari seluruh variasi waktu detensi yang digunakan, terlihat perbedaan efisiensi sebesar 8,6 %. Pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**, menunjukkan bahwa pada waktu detensi 5 hari efisiensi penyisihan antara reaktor aerasi dan reaktor tanpa aerasi tidak begitu signifikan perbedaannya, namun pada waktu detensi 1 hari, signifikansinya cukup terlihat.

Pada penelitian ini juga dilakukan pengecekan konsentrasi oksigen terlarut (*dissolved oksigen*) pada reaktor dengan membuat beberapa sumur pengecekan disalah satu reaktor aerasi dan reaktor non aerasi (pada **Gambar 3**). Setelah dilakukan pengukuran didapatkan hasil bahwa

rata-rata konsentrasi oksigen terlarut pada reaktor aerasi adalah 5,31 mg/l sedangkan untuk reaktor non-aerasi adalah 3,68 mg/l. Terlihat bahwa benar terjadi aerasi pada reaktor aerasi.



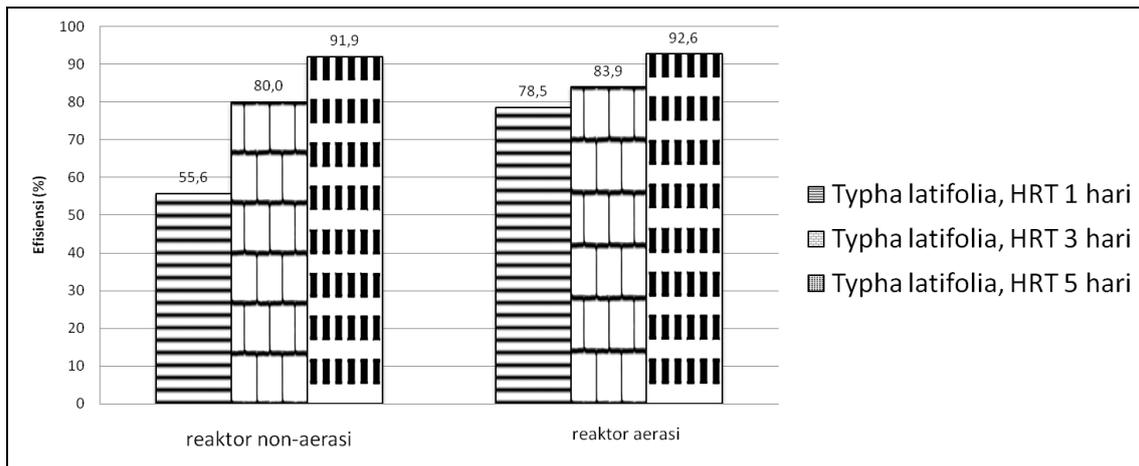
Gambar 8. Pengaruh jenis reaktor terhadap penyisihan COD



Gambar 9. Pengaruh jenis reaktor terhadap penyisihan BOD

Efisiensi penyisihan terbaik terjadi pada waktu detensi 5 hari. Pada reaktor A yang merupakan reaktor tanpa penambahan aerasi, efisiensi penyisihan COD adalah sebesar 91,9 %. Efisiensi penyisihan COD untuk reaktor D adalah 92,6% (lihat **Gambar 10**). Hal tersebut mengindikasikan

kan bahwa semakin lama kontak limbah dengan zona pengolahan pada reaktor, semakin baik penyisihan COD yang dapat dilakukan. Penyisihan COD, pada *constructed wetland* merupakan fungsi dari waktu detensi, dan cocok dengan persamaan kinetik orde satu (Ning et al., 2006).



Gambar 10. Pengaruh waktu detensi terhadap penyisihan COD

KESIMPULAN

Pengolahan limbah cair menggunakan *constructed wetland* dapat menyisihkan pencemar organik dengan baik. Jenis tanaman yang digunakan adalah *Typha latifolia*. Penyisihan pencemar organik paling baik terjadi pada waktu detensi 5 hari, konsentrasi efluen yang dihasilkan pada waktu detensi ini antara 4,1-7,1 mg/l dengan efisiensi 91,2-94,9 %. Reaktor *constructed wetland* dengan tambahan aerasi dapat menyisihkan parameter COD lebih baik daripada reaktor tanpa tambahan aerasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh DIPA DIKTI 2010. Kepada Ibu Prayatni Soewondo dan Ibu Marisa Handajani yang telah memberikan arahan dalam penelitian ini.

REFERENCE

Kayranli, Birol., Scholz, Miklas., Mustafa, Atif., Hofmann, Oliver., Harrington, Rory. (2010). *Performance Evaluation of Integrated Constructed Wetlands Treating Domestic Wastewater*. *Water Air Soil Pollution* 210: 435–451.

Merlin, Gérard., Pajeau, Jean-Luc., Lissolo, Thierry. (2002). *Performances of constructed wetlands for municipal wastewater*

treatment in rural mountainous area. *Hydrobiologia* 469: 87–98.

Metcalf & Eddy. (1991). *Wastewater Engineering, Fourth Edition*. Singapore: Mc Graw Hill Book Co.

Nurul, Amaliyah. *Penyisihan COD dan BOD dalam Greywater dengan Free Water Surface System Constructed Wetland*. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2009.

Polprasert, C., Khatiwada, N.R, Bhurtel, J. (1998). *Design Model for COD Removal in Constructed Wetlands Based on Biofilm Activity*. *Journal of Environmental Engineering*: 838-843.

Setiyawan, Ahmad Soleh. (2007). *Optimasi Efisiensi Pengolahan Efluen Reaktor Anaerobik Bersekat dengan Menggunakan Rekayasa Aliran Wetland (Studi Kasus : Limbah Cair RPH dan Industri Tahu)*. Tugas Akhir S1, Prodi Teknik Lingkungan, ITB, Bandung.

Sonie, Rakhmi. (2007). *Pengolahan Efluen ABR (Anaerobic Buffled Reactor) Dengan Rekayasa Aliran Pada Constructed Wetland*. Tugas Akhir S1, Prodi Teknik Lingkungan, ITB, Bandung.

Soeprijanto. (2005). *Performance of Constructed Wetland Systems for*

Nitrogen Removal. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

Vymazal, Jan. (2009). *Removal of Organics in Constructed Wetlands With Horizontal Sub-Surface Flow: A Review of The field Experience.* Science of The Total Environment 407: 3911-3922.

Wojciechowska, Ewa., Gajewska, Magdalena., Obarska-Pempkowiak, Hanna. (2010). *Treatment of Landfill Leachate by Constructed Wetlands: Three Case Studies.* Polish J. of Environ. Stud Vol. 19, No. 3: 643-650.

Yeh, T.Y., Chuang, C.C., Ju, C.H. *Pollutans Transformation and Removal Within Constructed Wetland Hybrid System.* (2006). Proceedings of the 4th WSEAS int. Conf. On Heat Transfer, Thermal Engineering, And Environment : 27-33.

ANALISA DAYA DUKUNG LAHAN DAN DAYA TAMPUNG AIR DI SUNGAI PUDU KECAMATAN MANDAU KABUPATEN BENGKALIS PROVINSI RIAU

Ika Kusmawati,
Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik, Universitas Presiden
Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang, Jawa Barat 17550
1k4kusmawati@gmail.com

Abstrak: Kualitas lingkungan yang sehat didukung dengan adanya indikator penentu lingkungan, salah satunya adalah daya dukung dan daya tampung lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui gambaran kualitas lingkungan yang ada di Sungai Pudu Kecamatan Mandau Kabupaten Bengkalis Provinsi Riau. Metode yang digunakan adalah metode perbandingan ketersediaan dengan kebutuhan lahan dan metode perbandingan ketersediaan dan kebutuhan air. *Pertama* metode perbandingan ketersediaan dengan kebutuhan lahan untuk mengetahui daya dukung berdasarkan perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan lahan bagi penduduk yang hidup di suatu wilayah, dalam metode ini menggunakan perhitungan Kebutuhan (*Demand*) Lahan dan Penentuan Status Daya Dukung Lahan. *Kedua* metode perbandingan ketersediaan dan kebutuhan air, metode ini menunjukkan cara perhitungan daya dukung air di suatu wilayah, dengan mempertimbangkan ketersediaan dan kebutuhan akan sumber daya air bagi penduduk yang hidup di Sungai Pudu. Hasil Analisis menunjukkan bahwa status daya dukung lahan di Kecamatan Mandau dapat disimpulkan mengalami surplus yang artinya ketersediaan lahan (S_L) lebih besar dibandingkan kebutuhan beban (D_L). Sedangkan untuk status daya dukung air di Kecamatan Mandau dapat disimpulkan mengalami surplus yang artinya nilai perhitungan ketersediaan water (S_A) lebih besar dibandingkan kebutuhan beban (D_A).

Kata Kunci : *Daya Dukung, Daya Tampung, Sungai Pudu*

Abstract: *The quality of a healthy environment is supported by the environmental determinants, one of which is the environmental carrying capacity. The purpose of this study was to find out the picture of environmental quality of Pudu river which located at Mandau, Bengkalis district, Riau province. Method used are the comparison between supply and demand of the land and the comparison between supply and demand of the water. At the first method, the purpose is to determine the carrying capacity based on the comparison between availability and demand of the land by calculate the demand of the land and land carrying capacity status. And for the second method comparison based on the consideration of the availability of the water and the water carrying capacity for the residents around Pudu river. Analytical results showed that the land carrying capacity status of Mandau districts is surplus, it means the availability of the land (S_L) is higher than the demand (D_L). While the status of water availability at Mandau district is surplus and it means the value of water availability (S_A) is higher than the demand (D_A)*

Kata Kunci : *Carrying Capacity, Daya Tampung, Pudu River*

PENDAHULUAN

Informasi lingkungan di suatu wilayah merupakan hal yang perlu diketahui oleh berbagai pihak sebagai langkah awal dalam mendapatkan data-data yang diperlukan untuk tindakan selanjutnya. Salah satu indikator yang digunakan dalam informasi lingkungan adalah daya dukung dan daya tampung lingkungan sesuai dengan amanah Undang-Undang RI Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang serta Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang

Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Terkait dengan daya tampung badan air, Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air antara lain menetapkan bahwa “Pemerintah, Pemerintah Provinsi dan Pemerintah Kabupaten /Kota sesuai dengan kewenangan masing-masing, dalam rangka pengendalian pencemaran air pada sumber air berwenang menetapkan daya tampung beban pencemaran”. Daya tampung beban pencemar-

an untuk selanjutnya digunakan untuk pemberian izin lokasi, pengelolaan air dan sumber air, penataan ruang, pemberian izin pembuangan air limbah, penetapan mutu air, sasaran dan program kerja pengendalian pencemaran air serta penegakan hukum dalam pengendalian pencemaran air.

Kecamatan Mandau merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Bengkalis Provinsi Riau yang cukup berkembang, dengan kekayaan alam berupa komoditas pertanian yang dihasilkannya (RTRW Kabupaten Bengkalis 2010-2030). Dengan produksi yang cukup melimpah, penduduk di wilayah ini banyak memanfaatkan hasil pertanian untuk dijual di pasar daerah dan sebagian juga diolah menjadi produk makanan lainnya.

Seiring dengan penambahan jumlah penduduk dan peningkatan kegiatan penduduk di Kecamatan Mandau dalam memenuhi kebutuhan penduduknya, kondisi lingkungan yang ada di wilayah ini terabaikan, salah satunya adalah Sungai Pudu. Sungai Pudu merupakan salah satu Sungai yang mengalir di Kecamatan Mandau Kabupaten Bengkalis. Sungai ini memiliki panjang sekitar 28,47 km (BLH Kabupaten Bengkalis, 2013). Sungai ini melintasi berbagai penggunaan lahan, yaitu : permukiman, pertanian, perkebunan, industri, perdagangan, jasa, perkantoran, dan lain-lain.

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Bengkalis pada tahun 2012, diperoleh informasi bahwa terdapat luapan air yang menyebabkan banjir di musim hujan dan juga ditemukan beberapa parameter air di Sungai Pudu yang berada di atas Baku Mutu. Salah satu penyebab dari adanya luapan air di musim hujan adalah terdapatnya penyempitan lebar sungai karena perubahan lahan. Sedangkan perubahan parameter air yaitu *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Perubahan kualitas air ini disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya adalah buangan limbah yang berasal dari pembangunan industri kecil dan

limbah yang berasal dari permukiman penduduk (BLH Kabupaten Bengkalis, 2012).

Dengan kondisi tersebut, maka diperlukan kajian yang dapat memberikan gambaran kualitas lingkungan yang ada di Sungai Pudu Kecamatan Mandau Kabupaten Bengkalis Provinsi Riau dilakukan untuk mengetahui gambaran kualitas lingkungan yang ada

BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah :

Metode Perbandingan Ketersediaan dan Kebutuhan Lahan

Dalam metode perbandingan ketersediaan dan kebutuhan lahan ini dijelaskan cara mengetahui daya dukung berdasarkan perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan lahan bagi penduduk yang hidup di suatu wilayah. Dengan metode ini dapat diketahui gambaran umum apakah daya dukung lahan suatu wilayah dalam keadaan surplus atau defisit. Keadaan surplus menunjukkan bahwa ketersediaan lahan setempat disuatu wilayah tersebut, sedangkan keadaan defisit menunjukkan bahwa ketersediaan lahan setempat sudah tidak dapat memenuhi kebutuhan akan produksi hayati di wilayah tersebut.

Hasil perhitungan dengan metode ini dapat dijadikan bahan masukan pertimbangan dalam penyusunan rencana tata ruang dan evaluasi pemanfaatan ruang terkait dengan penyediaan produk hayati secara berkelanjutan melalui upaya pemanfaatan ruang yang menjaga kelestarian fungsi lingkungan hidup.

A. Cara Perhitungan

Perhitungan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Penghitungan Ketersediaan (*Supply*) Lahan

Rumus:

$$SL = \frac{\sum(P_i \times H_i)}{H_b} \times \frac{1}{P_{tvb}} \quad (1)$$

Keterangan :

- SL = ketersediaan lahan (ha).
 P_i = produksi aktual tiap jenis komoditi (satuan tergantung kepada jenis komoditas). Komoditas yang diperhitungkan meliputi pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan dan perikanan.
 H_i = harga satuan tiap jenis komoditas (Rp/satuan) di tingkat produsen.
 H_b = harga satuan beras (Rp/kg) di tingkat produsen.
 P_{tvb} = produktivitas beras (kg/ha).

Dalam perhitungan ini, faktor konversi yang digunakan untuk menyetarakan produk non beras dengan beras adalah harga.

- Penghitungan Kebutuhan (*Demand*) Lahan

Rumus:

$$DL = N \times KHLL \quad (2)$$

Keterangan :

- DL = total kebutuhan lahan setara beras (ha).
 N = jumlah penduduk (orang).
 $KHLL$ = luas lahan yang dibutuhkan untuk kebutuhan hidup layak per penduduk.

- Penentuan Status Daya Dukung Lahan

Status daya dukung lahan diperoleh dari perbandingan antara ketersediaan lahan (SL) dan kebutuhan lahan (DL). Bila $SL > DL$, daya dukung lahan dinyatakan surplus. Bila $SL < DL$, daya dukung lahan dinyatakan defisit atau terlampaui.

Metode Perbandingan Ketersediaan dan Kebutuhan Air

Metode ini menunjukkan cara perhitungan daya dukung air di suatu wilayah, dengan mempertimbangkan ketersediaan dan kebutuhan akan sumber daya air bagi pendu-

duk yang hidup di suatu wilayah. Dengan metode ini dapat diketahui secara umum apakah daya dukung air di suatu wilayah dalam keadaan surplus atau defisit. Keadaan surplus menunjukkan bahwa ketersediaan air di suatu wilayah tersebut tercukupi, sedangkan keadaan defisit menunjukkan bahwa wilayah tersebut tidak dapat memenuhi kebutuhan akan air. Guna memenuhi kebutuhan air, fungsi lingkungan yang terkait dengan sistem tata air harus dilestarikan.

Hasil perhitungan dengan metode ini dapat dijadikan bahan masukan pertimbangan dalam penyusunan rencana tata ruang dan evaluasi pemanfaatan ruang dalam rangka penyediaan sumber daya air yang ber-kelanjutan.

A. Cara Perhitungan

Perhitungan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Penghitungan Ketersediaan (*Supply*) Air

Perhitungan dengan menggunakan metode koefisien limpasan yang dimodifikasi dari metode rasional. (*Permen Lingkungan Hidup No. 17 Tahun 2009*).

Rumus:

$$C = \frac{\sum(C_i \times A_i)}{\sum A_i} \quad (3)$$

$$R = \frac{\sum R_i}{m} \quad (4)$$

$$SA = 10 \times C \times R \times A \quad (5)$$

Keterangan:

- SA = ketersediaan air (m^3 /tahun).
 C = koefisien limpasan tertimbang.
 C_i = koefisien limpasan penggunaan lahan i .
 A_i = luas penggunaan lahan i .
 R = rata-rata aljabar curah hujan tahunan wilayah (mm /tahun).

- R_i = curah hujan tahunan pada stasiun i .
 C = koefisien limpasan tertimbang.
 m = jumlah stasiun pengamatan curah hujan.
 A = luas wilayah (ha).
 10 = faktor konversi dari mm.ha menjadi m^3 .

- Perhitungan Kebutuhan (Demand) Air (**Tabel 4**)

Rumus:

$$DA = N \times KHLA \quad (4)$$

Keterangan:

- DA = total kebutuhan air (m^3 /tahun).
 N = jumlah penduduk (orang).
 $KHLA$ = kebutuhan air untuk hidup layak.
= $1600 m^3$ air/kapita/tahun,

- Penentuan Status Daya Dukung Air

Status daya dukung air diperoleh dari perbandingan antara ketersediaan air (SA) dan kebutuhan air (DA). Bila $SA > DA$, daya dukung lahan dinyatakan surplus. Bila $SA < DA$, daya dukung lahan dinyatakan defisit atau terlampaui.

Jenis dan sumber data yang dikumpulkan terdiri dari:

1. Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan melalui survei lapangan seperti pengukuran debit, kecepatan aliran, lebar, kedalaman sungai, data klimatologis insitu, untuk data kualitas air sungai didapat dengan mengambil sampel air di 6 (enam) titik lokasi yang ditentukan untuk dianalisis di laboratorium.

2. Data Sekunder

Data sekunder yaitu data-data sungai seperti panjang sungai, iklim dan kualitas air dari dinas-dinas terkait.

Instrumen atau peralatan yang digunakan dalam pengambilan contoh air dan pengukuran kualitas air di lapangan terdiri dari:

1. Alat untuk pengambilan contoh air (**Tabel 1**)
2. Alat untuk pengukuran (**Tabel 2**)

Penentuan lokasi dan titik sampel air sungai serta tata cara pengambilan sampel didasarkan pada Metode Pengambilan Contoh Uji Kualitas Air Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor SNI 06-2421-1991. Analisa sampel air dilakukan pada laboratorium yang telah KAN (Komite Akreditasi Nasional).

Pengambilan sampel air Sungai Pudu dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menentukan lokasi dan titik pengambilan sampel;
2. Mengukur lebar, kedalaman dan kecepatan aliran;
3. Menetapkan jumlah titik pengambilan sampel;
4. Melakukan pengambilan sampel (secara komposit);
5. Melakukan pengukuran parameter insitu;
6. Mengisi *form* data lapangan;
7. Mewadahi sampel air untuk uji di laboratorium;
8. Memberi bahan pengawet (sesuai parameter uji) dan memberi label pada setiap sampel;
9. Menyimpan sampel air dalam kotak pendingin (*cool box*).

Untuk mengukur parameter BOD, sampel air yang diambil dari lapangan perlu di awetkan sebelum sampai di laboratorium dengan cara pendinginan pada suhu $4^{\circ}C$, sedangkan untuk mengukur parameter COD, sampel air diawetkan dengan penambahan H_2SO_4 Pekat sampai dengan pH >2 dan pendinginan pada suhu $4^{\circ}C$. (**Tabel 3**)

Lokasi pemantauan dan pengambilan contoh air sungai dalam kajian ini mencakup 10 (sepuluh) titik koordinat sepanjang Sungai Pudu. Adapun per-

timbangan pengambilan jumlah titik lokasi pengamatan ini dilakukan berdasarkan ketentuan persyaratan Metode Qual2Kw yang mensyaratkan minimal terdapat 10 titik lokasi pengamatan. (**Tabel 4**) Menurut

SNI 06-2421-1991, untuk menentukan jumlah dan lokasi contoh air sungai yang tepat dipengaruhi oleh kecepatan aliran air sungai tersebut. (**Tabel5**)

Tabel 1. Alat untuk Pengambilan dan Penyimpanan Contoh Air

No	Nama Alat	Fungsi Alat
1	Ember dan Gayung	Untuk mengambil dan mengumpulkan contoh uji air sungai (secara Komposit)
2	Botol dari gelas/kaca ukuran 1-5 liter	Untuk menyimpan contoh uji air sungai
3	Botol plastik (Poly Ethylene)	Untuk mengambil dan menyimpan contoh air sungai
4	Botol DO	Untuk mengambil contoh air DO
5	Cool Box/Kotak Pendingin	Untuk pengukuran dan penyimpanan sementara botol yang berisi contoh air

Sumber: SNI 06-2421-1991

Tabel 2. Alat untuk Pengukuran

No	Nama Alat	Fungsi Alat
1	pH meter (kisaran 0-14)	Untuk mengukur derajat keasaman air
2	Thermometer	Untuk mengukur temperatur air
3	DO meter	Untuk mengukur kadar oksigen terlarut di dalam air
4	Titrator	Untuk melakukan titrasi larutan
5	Conductivity/TDS meter	Untuk mengukur daya hantar listrik dan total padatan yang terlarut di dalam air
6	GPS	Untuk menentukan koordinat lokasi
7	Current meter	Untuk mengukur kecepatan arus sungai
8	Echo meter	Untuk mengukur kedalaman sungai
9	Water sampler 1 L	Untuk mengambil contoh uji air di kedalaman tertentu

Sumber: SNI 06-2421-1991

Tabel 3. Parameter dan Teknik Pengujian atau Peralatan

No	Parameter	Teknik Pengujian/ Peralatan	Keterangan
1	pH	Potensiometrik/pH meter	Insitu
2	DO	Elektrometrik/DO meter	Insitu
3	Temperatur Air	Thermometer	Insitu
4	Temperatur Udara	Wind meter	Insitu
5	Total Padatan Terlarut (TDS)	TDS meter	Insitu
6	Daya Hantar Listrik	Kondukti meter	Insitu
7	Lebar Sungai	GPS	Insitu
8	Kedalaman Sungai	Echo sounder	Insitu
9	Kecepatan Aliran Sungai	Current meter	Insitu
10	Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD)	Inkubasi pada temperatur 20 ⁰ C, selama 5 hari	Laboratorium

No	Parameter	Teknik Pengujian/ Peralatan	Keterangan
11	Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	Refluks secara tertutup	Laboratorium

Sumber: SNI 06-2421-1991

Tabel 4. Titik-Titik Lokasi Pemantauan dan Pengambilan Contoh Air Sungai Pudu

No	Nama Lokasi	Koordinat Pengamatan	Penggunaan Lahan	Sumber Pencemar	Jarak Titik Antar Sampel (km)
1	Dekat Jalan Desa Harapan; Kelurahan Air Jamban (Hulu Sungai Pudu)	X: 101,1575470 Y: 1,2896550	Perumahan	Limbah rumah tangga	
2	Jembatan Jalan Nusantara I; perbatasan antara Kelurahan Babussalam dan Kelurahan Air Jamban	X: 101,1621126 Y: 1,2832345	Perumahan	Limbah rumah tangga	0,933
3	Jembatan Hangtuah; Kelurahan Babussalam	X: 101,1617530 Y: 1,2710325	Perumahan, Pertokoan	Limbah dari kegiatan rumah tangga dan pasar	1,510
4	Jembatan Jalan Ranggau (titik km 4); perbatasan antara Kelurahan Babussalam dan Kelurahan Pematang Pudu	X: 101,1638477 Y: 1,2654670	Perkebunan	Pertanian	0,699
5	Jembatan Jalan Tegar I; Kelurahan Pematang Pudu	X: 101,1530415 Y: 1,2478039	Perkebunan	Pertanian	2,620
6	Desa Petani	X: 101,1442820 Y: 1,2339360	Perkebunan	Pertanian	1,860
7	Desa Petani	X: 101,1298086 Y: 1,2287773	Perkebunan	Pertanian	1,910
8	Desa Petani	X: 101,0991816 Y: 1,2328653	Perkebunan	Pertanian	3,780
9	Desa Petani	X: 101,0716394 Y: 1,2415513	Perkebunan	Pertanian	3,470
10	Desa Petani	X: 101,0253908 Y: 1,2717828	Perkebunan	Pertanian	6,550

Sumber: Hasil Survey, 2013

Tabel 5. Jumlah Titik dan Lokasi Contoh Air Berdasarkan Debit Air

Debit Air	Jumlah Titik dan Lokasi Contoh Air
<5 m ³ /detik	1 titik di tengah sungai pada 0,5 x kedalaman dari permukaan
5 – 150 m ³ /detik	2 titik, masing-masing 1/3 dan 2/3 lebar sungai pada 0,5 x kedalaman sungai
>150 m ³ /detik	6 titik, masing-masing 1/4, 1/2, dan 3/4 lebar sungai pada 0,2 dan 0,8 x kedalaman sungai

Sumber: SNI 06-2421-1991

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Dukung Lahan

Penentuan daya dukung lahan di wilayah Sungai Pudu Kecamatan Mandau Kabupaten Bengkalis (**Tabel 6**). Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa total nilai produksi dari komoditas di Kecamatan Mandau adalah sebesar Rp.8.858.379.470.000 (delapan triliun delapan ratus lima puluh delapan miliar tiga ratus tujuh puluh sembilan juta empat ratus tujuh puluh ribu rupiah). Komoditas paling tinggi adalah perkebunan (karet dan kelapa sawit seluas 30.316 ha dengan nilai produksi sebesar Rp. 8.792.767.620.000 (delapan triliun tujuh ratus sembilan puluh

dua miliar tujuh ratus enam puluh tujuh juta enam ratus dua puluh ribu rupiah).

Kebutuhan makanan pokok penduduk di Kecamatan Mandau seperti di wilayah lainnya di Indonesia yaitu beras. Padi merupakan salah satu yang penggunaan lahan yang ada di Kecamatan Mandau dengan luas sebesar 211 ha (padi sawah dan padi ladang) dengan nilai produksi sebesar Rp. 941.450.000 (sembilan ratus empat puluh satu juta empat ratus lima puluh ribu rupiah). Dari perhitungan tersebut dapat diketahui pula produksi beras dengan luas sebesar 211 ha yang dihasilkan, yaitu sebanyak 228.000 kg. (**Tabel 7**)

Tabel 6. Perhitungan Total Nilai Produksi

No	Komoditas	Luas (Ha)	Produksi Per Ha	Produksi (P1)	Satuan	Harga Satuan (H1) dalam Rupiah	Nilai Produksi (P1xH1)
1.	Padi dan Palawija						
	a. Padi Sawah	171	1.888,89	323.000	kg	2.500	807.500.000
	b. Padi Ladang	40	1.425,00	57.000	kg	2.350	133.950.000
	c. Jagung	45,3	0,00	0	kg	1.500	0
	d. Ketela Rambat	10,2	0,00	0	kg	1.389	0
	e. Ketela Pohon	68,9	0,00	0	kg	1.389	0
Total 1							941.450.000
2.	Perkebunan						
	a. Karet	1.414	14.875,53	21.034.000	kg	24.718	519.918.412.000
	b. Kelapa Sawit	28.902	28.718,57	830.024.000	kg	9.967	8.272.849.208.000
Total 2							8.792.767.620.000
3.	Perikanan						
	Budidaya	170,4	798,71	136.100	kg	9.000	1.224.900.000
Total 3							1.224.900.000
4.	Peternakan						
	a. Sapi	-	-	1.686	ekor	25.000.000	42.150.000.000
	b. Kerbau	-	-	322	ekor	25.000.000	8.050.000.000
	c. Kambing/Domba	-	-	2.649	ekor	4.000.000	10.596.000.000
	d. Babi	-	-	1.157	ekor	2.000.000	2.314.000.000
	e. Ayam Ras Pedaging	-	-	654	ekor	35.000	22.890.000
	f. Ayam Kampung	-	-	6.092	ekor	50.000	304.600.000
	g. Itik	-	-	267	ekor	30.000	8.010.000
Total 4							63.445.500.000
Total Nilai Produksi (Total 1 + Total 2 + Total 3 + Total 4) = $\sum(P_i \times H_i)$							8.858.379.470.000

Sumber: Kecamatan Mandau Dalam Angka yang Dianalisis, 2013

Dalam menentukan status daya dukung lahan di Kecamatan Mandau, dilakukan 2 (dua) langkah perhitungan yaitu : perhitungan ketersediaan lahan (S_L) dan kebutuhan beban (D_L). *Pertama* perhitungan ketersediaan lahan yang diperoleh dari variabel : total nilai produksi, harga beras, total beras dari padi sawah dan ladang, luas panen padi, serta produktivitas beras. Dari perhitungan tersebut diperoleh ketersediaan lahan di Kecamatan Mandau adalah sebesar 2.108.027,29 ha. (**Tabel 8**)

Kedua perhitungan kebutuhan beban yang diperoleh dari variabel: jumlah

penduduk dan luas lahan untuk hidup layak. Dari perhitungan tersebut diperoleh kebutuhan lahan di Kecamatan Mandau adalah sebesar 486.787,54 ha. (**Tabel 9**)

Berdasarkan hasil analisis di atas, maka diperoleh status daya dukung lahan di Kecamatan Mandau dapat disimpulkan mengalami surplus. Yang artinya nilai perhitungan ketersediaan lahan (S_L) lebih besar dibandingkan kebutuhan beban (D_L), atau $S_L > D_L$. (**Tabel 10**)

Tabel 7. Perhitungan Total Beras dari Padi Sawah dan Ladang

Komoditas	Produksi Padi	Produksi Beras	Luas Panen (Ha)
Padi Sawah dan Ladang	380.000 kg	228.000 kg	211

Sumber: Hasil Analisis, 2013

Tabel 8. Perhitungan Ketersediaan Lahan

Faktor	Rumus	Nilai	Satuan
Total Nilai Produksi	$\sum(P_i \times H_i)$	8.858.379.470.000	[Rp]
Harga Beras	Hb	3.888,89	[Rp/Kg]
Total Beras dari Padi Sawah dan Ladang	Pb	228.000	[Kg]
Luas Panen Padi	Lb	211	[Ha]
Produktivitas Beras	$P_{tvb} = Pb/Lb$	1.080,57	[Kg/Ha]
Ketersediaan Lahan	$SL = (\sum(P_i \times H_i) / Hb \times 1 / P_{tvb})$	2.108.027,29	[Ha]

Sumber: Hasil Analisis, 2013

Tabel 9. Perhitungan Kebutuhan Lahan

Faktor	Rumus	Nilai	Satuan
Jumlah Penduduk	N	253.129	[jiwa]
Luas Lahan untuk Hidup Layak	$KHLL = 1 \text{ ton} / P_{tvb}$	0,52	[Ha]
Kebutuhan Lahan	$DL = N / KHLL$	486.787,54	[Ha]

Sumber: Hasil Analisis, 2013

Tabel 10. Status Daya Dukung Lahan

Faktor	Rumus	Nilai	Satuan
Ketersediaan Lahan	SL	2.108.027,29	[Ha]
Kebutuhan Lahan	DL	486.786,54	[Ha]
Status Daya Dukung Lahan	Surplus Jika $SL > DL$, defisit Jika $SL < DL$	Surplus	

Sumber: Hasil Analisis, 2013

Daya Dukung Air

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh ketersediaan air dan kebutuhan air di Kecamatan Mandau adalah sebagai berikut : 1) ketersediaan air yaitu sebesar 4.965.121.540,40 m³/tahun, dengan koefisien limpasan sebesar 0,27 (**Tabel 11**). Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah

cadangan air di Kecamatan Mandau memenuhi kebutuhan penduduk sehari-hari. Sedangkan hasil analisis kebutuhan air yang di Kecamatan Mandau yaitu sebesar 405.006.400,00 jiwa.m³/tahun (**Tabel 12**). Dilihat dari perbandingan antara ketersediaan air (S_A) dan kebutuhan air (D_A), maka diperoleh bahwa status daya dukung

air di Kecamatan Mandau adalah surplus. Yang artinya nilai perhitungan ketersediaan lahan (S_A) lebih besar dibandingkan kebutuhan beban (D_A), atau $S_L > D_L$. (Tabel 13)

Dari hasil analisis tersebut maka dapat diketahui bahwa ketersediaan air yang melimpah di Kecamatan Mandau memicu terjadinya banjir. Dalam penelitian ini diperoleh informasi bahwa banjir yang

terjadi di Kecamatan Mandau dikarenakan adanya penumpukan sampah, penyempitan lebar Sungai Pudu, dan terjadinya pendangkalan Sungai Pudu, terutama pada lokasi pengamatan Jembatan Hangtuh Kelurahan Babussalam dan Desa Petani (BLH Kabupaten Bengkalis, 2012; Kodoatie dan Syarief, 2006; Rosyidie dkk, 2012).

Tabel 11. Ketersediaan Air

Faktor	Rumus	Nilai	Satuan
Koefisien Limpasan Tertimbang	$C = \sum(C_i \times A_i) / \sum(A_i)$	0,27	
Curah Hujan Tahunan	R	17.458	mm/tahun
Luas Wilayah (SA_i)	A	104.827	Ha
Ketersediaan Air	$S_A = 10 \times C \times R \times A$	4.965.121.540,40	m³/tahun

Sumber: Hasil Analisis, 2013

Tabel 12. Kebutuhan Air

Faktor	Rumus	Nilai	Satuan
Jumlah Penduduk	N	253.129	Jiwa
Kebutuhan Air untuk Hidup Layak	KHL_A	1.600	m ³ /tahun
Kebutuhan Air	$D_A = N \times KHL_A$	405.006.400,00	Jiwa.m³/tahun

Sumber: Hasil Analisis, 2013

Tabel 13. Status Daya Dukung Air

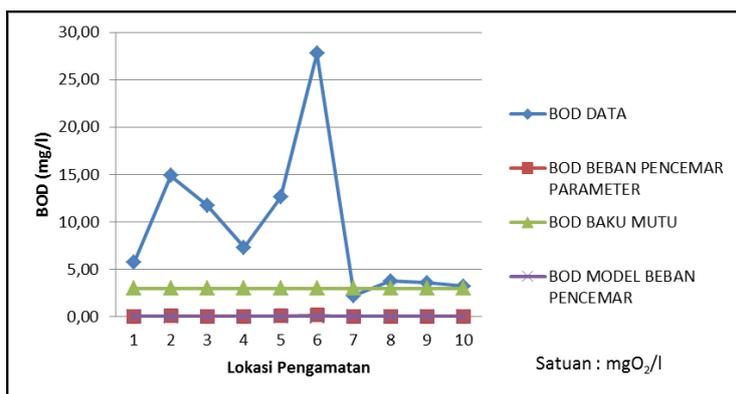
Faktor	Rumus	Nilai	Satuan
Ketersediaan Air	S_A	4,965,121,540.40	m ³ /tahun
Kebutuhan Air	D_A	405,006,400.00	Jiwa.m ³ /tahun
Status Daya Dukung Air	Surplus jika $S_A > D_A$, Defisit Jika $S_A < D_A$	Surplus	

Sumber: Hasil Analisis, 2013

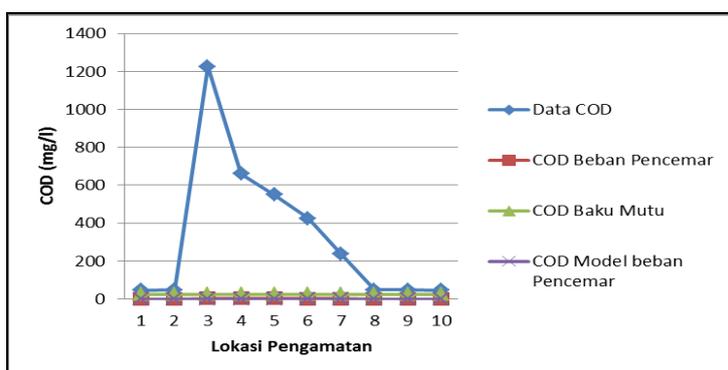
Kualitas Air

Dari hasil pengukuran, nilai paramater BOD *headwater* adalah 14,86 mg/l, dari hasil pengukuran tersebut, diketahui bahwa kandungan BOD pada 10 (sepuluh) lokasi pengamatan, hampir semua kandungan BOD dapat dikategorikan melebihi BOD baku mutu yang ditetapkan, kecuali kandungan BOD di lokasi pengamatan 7

(Gambar 1). Sedangkan nilai paramater COD adalah 45,24 mg/l dan beban pencemaran COD Sungai Pudu adalah sebesar 16,332 ton/jam (Gambar 2). Ditinjau dari hasil pengamatan tersebut terlihat bahwa dengan kualitas air Sungai Pudu yang melebihi standar baku mutu kualitas air yang ada.



Gambar 2. Sebaran Kandungan BOD
(Sumber: BLH Kabupaten Bengkalis, 2013)



Gambar 1. Sebaran Kandungan COD
(Sumber: BLH Kabupaten Bengkalis, 2013)

KESIMPULAN

Temuan studi yang diperoleh dari hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Daya dukung lahan di Kecamatan Mandau berindikasi pada surplus, yang artinya nilai perhitungan ketersediaan lahan (S_L) lebih besar dibandingkan kebutuhan beban (D_L). Dengan kata lain daya dukung lahan yang ada, khususnya komoditas padi dapat memenuhi kebutuhan penduduk.
2. Daya dukung air di Kecamatan Mandau mengindikasikan pada surplus, yang artinya nilai perhitungan ketersediaan lahan (S_A) lebih besar dibandingkan kebutuhan beban (D_A). Hal ini mengindikasikan bahwa ketersediaan air yang ada di Kecamatan Mandau sangat memadai untuk berbagai kebutuhan penduduk dan lingkungan yang ada.

3. Volume air di musim hujan yang cukup tinggi menyebabkan terjadinya banjir yang disebabkan oleh penyempitan lebar Sungai Pudu, dan terjadinya pendangkalan Sungai Pudu.
4. Berdasarkan hasil penelitian mengenai parameter air yaitu BOD dan COD yang ada di Sungai Pudu menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Pudu yang melebihi standar baku mutu kualitas air yang ada, untuk itu pemulihan kualitas air dengan metode-metode tertentu.

REKOMENDASI

Rekomendasi Berdasarkan kesimpulan hasil penelitian, penulis memberikan rekomendasi berupa indikasi kebijakan yaitu:

1. Perlu adanya peningkatan produksi hasil pertanian yang dapat meningkatkan perekonomian penduduk,

supaya hasil produksinya dapat dijual untuk wilayah di luar Kecamatan Mandau, yaitu dengan memperluas lahan komoditas padi dan palawija.

2. Mempertahankan daerah-daerah yang berpotensi memiliki sumber air yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan di masa yang akan datang. Adapun langkah-langkah yang dapat dilakukan adalah dengan mempertahankan RTH yang sudah ada serta mengendalikan perubahan guna lahan dengan me-nerapkan peraturan zonasi serta mekanisme pengendalian pemanfaa-tan ruang lainnya. Selain itu dapat dilakukan pembangunan perumahan vertikal sebagai solusi terhadap me-ningkatnya kebutuhan hunian penduduk.
3. Pengendali banjir guna mencegah terjadinya luapan air di Sungai Pudu pada musim hujan diantaranya adalah : a) mengusahakan kelancaran aliran dari hulu ke hilir melalui normalisasi dan pembersihan saluran drainase dan anak sungai; b) pengecekan kualitas air Sungai Pudu secara berkala sehingga dapat mengetahui fluktuasi / perubahan parameter yang terjadi; c) pengendalian kawasan sempadan sungai untuk meminimalisir terjadi-nya penyempitan lebar sungai. Hal ini dilakukan dengan cara membuat batas /garis sempadan sungai.
4. Pemulihan kualitas pada BOD dan COD dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut : untuk BOD pada Lokasi Pengamatan ke-7 (Desa Petani) perlu dilakukan penaikkan beban pencemar sebesar 35%. Sedangkan untuk Lokasi Pengamatan ke sembilan titik lainnya, perlu dilakukan penurunan. Sedangkan dengan peruntukkan air Sungai Pudu sebagai air kelas II (Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001) yaitu beban COD maksimal sebesar

25 mg/l, maka dari hasil analisis beban pencemar COD yang dilakukan diketahui bahwa kondisi air Sungai Pudu masih sesuai untuk air kelas II.

UCAPAN TERIMA KASIH

Jurnal ini merupakan bagian dari laporan kegiatan lingkungan mengenai “Penetapan Daya Dukung dan Daya Tampung Sungai Pudu di Kecamatan Mandau Kabupaten Bengkalis” dari Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kabupaten Bengkalis pada Tahun 2013. Ucapan terima kasih diberikan kepada Kepala BLH Kabupaten Bengkalis dan seluruh staff yang telah memberikan informasi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief Rosyidie Banjar: Fakta dan Dampaknya, Serta Pengaruh dari Perubahan Guna Lahan Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota, Vol. 24 No. 3, Desember 2013, hlm.241 - 249 241
- Asdak, C. 1995. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada Univ. Press
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2009 tentang Pedoman Penentuan Daya Dukung Lingkungan Hidup dalam Penataan Ruang Wilayah.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Profil Kecamatan Mandau Kabupaten Bengkalis. Kecamatan Mandau Dalam Angka Tahun 2013
- SNI 06-2421-1991. Metode Pengambilan Contoh Uji Kualitas Air Standar Nasional Indonesia (SNI)
- Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Undang-Undang RI Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang.
- Zoer'aini Djamel Irwan. 1997. Prinsip-prinsip Ekologi, Komunitas, Ekosistem dan Lingkungan Bumi. Aksara. Jakarta.

MIKROALGA SEBAGAI BIOINDIKATOR KUALITAS AIR PERMUKAAN

Studi Awal : Hubungan Antara Konsentrasi Pigmen dan Berat Kering dalam Penentuan Kandungan Mikroalga Pada Sampel Air Artifisial

Rijal Hakiki

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik, Universitas Presiden

Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang, Jawa Barat 17550

Email: rijalhakiki@president.ac.id

Abstrak: Mikroalga merupakan salah satu organisme akuatik yang dapat difungsikan sebagai bioindikator kualitas air permukaan. Konsentrasi klorofil yang terkandung di dalam sel mikroalga dapat diukur untuk mengetahui tinggi rendahnya kelimpahan mikroalga pada suatu badan air. Pengukuran berat kering biomasa merupakan metode lain yang dapat dilakukan untuk mengetahui kelimpahan mikroalga dalam suatu badan air. Kedua metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Pada pengukuran konsentrasi klorofil, kehadiran senyawa-senyawa lain selain klorofil a yang dapat menyerap spektrum cahaya pada panjang gelombang pengukuran (Strickland and Parsons menggunakan panjang gelombang 665 nm, 645 nm dan 630 nm) mengakibatkan nilai absorbansi yang terukur menjadi lebih besar dari yang seharusnya. Tingkat kekeruhan akibat kandungan partikel tersuspensi menjadi masalah pada metode pengukuran berat kering. Penentuan berat kering biomasa berdasarkan pada pendekatan konsentrasi klorofil merupakan hal yang dikaji pada penelitian ini. Hasil analisis regresi linier sederhana menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil dan berat kering biomasa mikroalga pada perlakuan a mempunyai korelasi positif yang cukup erat ($R_a = 0,870$), yang kecenderungannya mengikuti persamaan regresi linier $y = 302,35x + 17,121$. Penentuan berat kering berdasarkan pada pendekatan pengukuran konsentrasi klorofil dapat diaplikasikan pada sampel air dengan kondisi kandungan padatan tersuspensi yang cenderung konstan dan bersifat inert (tidak menghasilkan zat yang dapat bereaksi dengan pelarut organik pada saat dilakukan dilakukan proses ekstraksi klorofil). Selain itu, berdasarkan hasil olah data dapat disimpulkan pula bahwa pengaruh kandungan partikel tersuspensi lainnya di dalam sampel air tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik.

Kata Kunci: Berat Kering Biomasa, Bioindikator, Kekeruhan, Klorofil a, Mikroalga

Abstract: *Microalgae is the one of aquatic organism wich can be a bioindicators for surface water quality. Chlorophyll contain in a microalgae cell can be measured to know the abundance of microalga in a water body. Dry-weight biomass measurements is another method that can be used to know the abundance of microalga in a water body. both method have advantages and disadvantages of each. In chlorophyll concentration measurements, the present of other compounds that can absorb light spectrum at measurements wavelength (Strickland and Parsons use 665 nm, 645 nm and 630 nm) result absorbance value higher than it should be. Turbidity level result by suspended particle content being a problem for dry-weight biomass measurements. Dry-weight biomass determination based on the approximation of chlorophyll content measurements was studied in this research. The Results of simple regression analysis showed that there is a fairly strong positive correlation between chlorophyll content and dry-weight biomass ($R_a = 0.870$), which has the tendency to follow the linear regression equation $y = 302,35x + 17,121$. Dry-weight determination based on approximation of chlorophyll content can be applied to the sample of water that has suspended particle content tend to be constant and inert (did not produce substances that can react with organic solvent when chlorophyll extraction process occurred). Based on the processed datas, it can be conclude that the influence of another suspended particle content in a sample of water is not statistically significant.*

Keywords: *Dry-Weight Biomass, Bioindicator, Turbidity, Chlorophyll a, Microalgae*

PENDAHULUAN

Organisme akuatik merupakan komponen biotik yang memerlukan kondisi tertentu untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. Perubahan kondisi badan air sebagai tempat hidup dapat mengakibatkan perubahan komposisi organisme akuatik

pada badan air tersebut. Perubahan komposisi yang terjadi secara tidak langsung dapat menggambarkan kondisi suatu badan air, sehingga dapat dikatakan bahwa organisme akuatik merupakan bioindikator bagi suatu badan air.

Mikroalga merupakan salah satu organisme akuatik yang memiliki kepekaan terhadap perubahan kandungan nutrisi pada suatu perairan, sehingga dapat digolongkan sebagai bioindikator kualitas air. Kshirsagar (2013) menyatakan bahwa kelimpahan biomassa alga pada suatu badan air dipengaruhi oleh konsentrasi fosfor dan nitrogen anorganik pada badan air tersebut. Lavoie, dkk. (2004) telah melakukan studi mengenai evaluasi pengaruh pencemaran aliran sungai Quebec (Kanada) yang disebabkan oleh kegiatan pertanian terhadap *benthic* alga sebagai bioindikator kualitas perairan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa periphyton dapat difungsikan sebagai bioindikator pada pengukuran kualitas air terintegrasi, yang selanjutnya dapat difungsikan sebagai strategi pemantauan kualitas psiko-kimia air. Selain itu, organisme ini juga merupakan organisme fotosintetik yang memiliki kandungan klorofil sehingga dapat menyerap sinar matahari yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis.

Kuantifikasi kandungan klorofil dalam sel mikroalga dapat dilakukan sebagai pendekatan untuk mengetahui kandungan mikroalga dalam suatu sampel air permukaan. Selain kuantifikasi kandungan klorofil, penentuan berat kering juga merupakan metode yang dapat dilakukan sebagai salah satu pendekatan untuk mengetahui kandungan mikroalga.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji hubungan antara konsentrasi pigmen (klorofil a) yang terkandung dalam organisme fotosintetik dengan berat kering biomasanya (pendekatan penentuan berat kering berdasarkan pada pengukuran konsentrasi klorofil), serta pengaruh kandungan partikel tersuspensi lainnya terhadap hasil pengukuran konsentrasi pigmen dalam penentuan kandungan mikroalga. Hal ini dianggap perlu dikaji lebih dalam, mengingat keberagaman kandungan matrix dalam air permukaan dapat mempengaruhi hasil pengukuran kandungan organisme

akuatik sebagai bioindikator kualitas air permukaan.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium menggunakan sampel artifisial yang merupakan campuran antara kultur alga hasil isolasi dengan suspensi kaolin dengan perbandingan tertentu. Sampel artifisial merupakan objek penelitian yang komposisinya dibuat sedemikian rupa sebagai pendekatan dalam pengambilan kesimpulan pada akhir penelitian.

Tahap Persiapan

Tahapan ini meliputi proses kultur mikroalga yang merupakan sumber klorofil dan pembuatan sampel air artifisial sebagai objek penelitian.

a. Kultur Mikroalga Campuran

Kultur mikroalga diperoleh dari hasil isolasi pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Rinanti, dkk (2013) mengenai penapisan mikroalga potensial untuk penangkapan dan penyimpanan karbondioksida. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa genus *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. dan *Ankistrodesmus* sp. merupakan isolat dominan yang dapat hidup bersamaan dalam suatu media artifisial dalam kondisi terkontrol. Berdasarkan hal tersebut, maka konsorsium mikroalga hasil isolasi diasumsikan dapat mewakili kondisi aktual sehingga dapat digunakan sebagai objek penelitian. Masing-masing genus ditumbuhkan dalam reaktor terpisah hingga mencapai usia inokulum optimumnya.

Menurut Rinanti, dkk (2013), usia inokulum optimum untuk genus *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. dan *Ankistrodesmus* sp. berturut-turut adalah 2 hari, 5 hari dan 3 hari. Medium yang digunakan adalah media cair PHM yang memiliki pH 7, proses kultur dilakukan pada temperatur ruangan. Reaktor pertumbuhan dilengkapi dengan unit aerasi dengan laju udara 800 ml/menit dan menggunakan sumber

pencahayaannya berupa lampu fluorescent dengan intensitas cahaya 2500 lux, periode pencahayaannya terang/gelap (24 jam / 0 jam). Setelah usia inokulum optimum tercapai, masing-masing genus tersebut dipanen dan di-simpan pada lemari pendingin untuk mengurangi reaksi biologis lebih lanjut. Setelah semua genus dipanen, dilakukan pencampuran kultur menjadi kultur campuran dengan perbandingan *Chlorella* sp. : *Scenedesmus* sp. : *Ankistrodesmus* sp.= 2:1:1.

b. Sampel Air Artifisial

Mengacu pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Lindu, dkk (2010), pembuatan sampel air artifisial dilakukan dengan melarutkan kaolin kedalam air dengan konsentrasi 50 mg/L, 100 mg/L dan 200 mg/L. Dilakukan pengadukan selama 3 jam, kemudian diendapkan selama 17 jam sehingga didapat nilai kekeruhan yang relatif stabil sesuai air baku permukaan dengan tingkat kekeruhan rendah-sedang (10 NTU hingga 50 NTU). Hasil pengukuran kekeruhan menunjukkan nilai 15 NTU, 40 NTU dan 55 NTU.

Pada penelitian ini dibuat suspensi kaolin dengan konsentrasi 500 mg/L, dilakukan pengadukan selama 3 jam dan diendapkan selama 15 jam sehingga diperoleh nilai kekeruhan 176 NTU yang selanjutnya dibuat beberapa konsentrasi pengenceran untuk keperluan percobaan. Suspensi kaolin yang telah dibuat kemudian dicampurkan dengan kultur mikroalga campuran dengan perbandingan tertentu disesuaikan dengan keperluan percobaan.

Pembuatan sampel air artifisial menggunakan pengukuran kekeruhan sebagai pendekatan dalam penentuan tingkat pengenceran untuk memperoleh sampel artifisial dengan konsentrasi yang diinginkan. Tingkat kekeruhan tertinggi suspensi mikroalga dan suspensi kaolin masing-masing ditentukan ± 170 NTU (mengacu pada tingkat kekeruhan suspensi kaolin), hal yang sama juga dilakukan pada sampel air artifisial. Suspensi tersebut merupakan suspensi induk yang selanjut-

nya diencerkan sesuai dengan keperluan percobaan, kemudian dilakukan analisis terhadap kandungan klorofil dan berat kering biomasa untuk setiap perlakuan pengenceran.

Langkah Percobaan

Pada penelitian ini dilakukan beberapa percobaan sebagai pendekatan untuk mendapatkan kesimpulan akhir penelitian. Percobaan yang dilakukan meliputi :

- (a) Penentuan kurva kalibrasi klorofil, dilakukan untuk mengetahui linieritas hasil pengukuran spektrofotometer dengan membuat beberapa konsentrasi pengenceran 50%, 75%, 100%, 125% dan 150% melalui pendekatan pengukuran kekeruhan.
- (b) Pendekatan penentuan berat kering berdasarkan pada pengukuran konsentrasi klorofil, dilakukan dengan melakukan pengukuran sampel suspensi mix mikroalga pada berbagai pengenceran. Pengukuran yang dilakukan meliputi pengukuran konsentrasi klorofil dan berat kering biomasa.
- (c) Percobaan mengenai pengaruh kandungan padatan terlarut (kekeruhan) terhadap penentuan konsentrasi klorofil akibat interferensi serapan spektrum cahaya. Percobaan ini dilakukan pada sampel air artifisial yang merupakan campuran suspensi mix mikroalga dan suspensi kaolin dengan perbandingan tertentu. Hasil pengukuran dibandingkan dengan data pada percobaan (b) untuk melihat signifikansinya.

Semua perlakuan pengenceran menggunakan pendekatan pengukuran kekeruhan dalam penentuan konsentrasi pengenceran. Konsentrasi pengenceran tertinggi (pengenceran 150%) mengacu pada kekeruhan suspensi kaolin, dibuat mendekati kekeruhan ± 170 NTU. Konsentrasi pengenceran tertinggi kemudian dibuat beberapa pengenceran yang lebih rendah, yaitu 50%, 75%, 100% dan 125%.

Penentuan Kandungan Mikroalga

Penentuan konsentrasi pigmen (klorofil a) sebagai pendekatan untuk mengetahui konsentrasi mikroalga mengacu kepada metode standar pengujian air dan air limbah (bagian 10200 H) dengan beberapa penyesuaian terhadap ketersediaan peralatan dan bahan di laboratorium pengujian. Metode ini meliputi proses ekstraksi pigmen dari sel mikroalga kemudian dilanjutkan dengan kuantifikasi klorofil secara spektrofotometri. Proses ekstraksi diawali dengan pemekatan suspensi mikroalga melalui proses filtrasi ataupun sentrifugasi.

Pada penelitian ini, pemekatan suspensi dilakukan dengan metode sentrifugasi. Suspensi mikroalga yang telah dipisahkan kemudian dilumatkan dengan bantuan batu pemecah dengan menggunakan acetone 90% sebagai pelarut. Proses pelumatan (maserasi) dilakukan dalam alat *centrifuge* pada 3000 rpm selama 20 menit. Ekstrak klorofil dalam acetone 90% kemudian dikuantifikasi menggunakan spektrofotometer spektroskopik tipe *thermo scientific* dengan metode trikromatik. Hasil pembacaan absorbansi pada tiga panjang gelombang 665 nm, 645 nm dan 630 nm kemudian dihitung menggunakan persamaan empiris Strickland and Parsons.

$$\frac{\mu\text{g Chlorophyll}}{\text{mL medium}} = (11.66A_{665} - 1.31A_{645} - 0.14A_{630})v/(lV)$$

Mengacu pada Henriques, dkk (2007) bahwa “ A_{xxx} ” adalah absorbansi pada panjang gelombang xxx nm setelah dikurangi absorbansi sampel pada panjang gelombang 750 nm terhadap solvent sebagai blanko pengukuran. “v” adalah volume pelarut yang digunakan (mL), “l” adalah panjang sel pada spektrofotometer (cm) dan “V” adalah volume sampel yang diekstrak (mL).

Pengukuran absorbansi sampel pada panjang gelombang 750 nm tidak dilakukan dalam percobaan, karena berdasarkan metode standar pengujian air dan air limbah (bagian 10200 H) pengukuran

sampel pada panjang gelombang tersebut adalah untuk mengukur besarnya absorbansi oleh partikel tersuspensi lainnya selain mikroalga. Data absorbansi yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data total absorbansi hasil ekstraksi dengan mengabaikan pengaruh absorbansi oleh partikel tersuspensi lain, dikarenakan pada percobaan ini juga ditinjau mengenai pengaruh kandungan partikel tersuspensi lainnya terhadap hasil pengukuran konsentrasi klorofil.

Selain pengukuran terhadap konsentrasi klorofil, metode lain yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode penentuan kandungan mikroalga secara gravimetri untuk keperluan perhitungan biomasa mikroalga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mempermudah pengambilan kesimpulan, data hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel, grafik dan dilakukan juga pengolahan data secara statistik untuk mengetahui pengaruh kandungan kekeruhan terhadap hasil pengukuran klorofil.

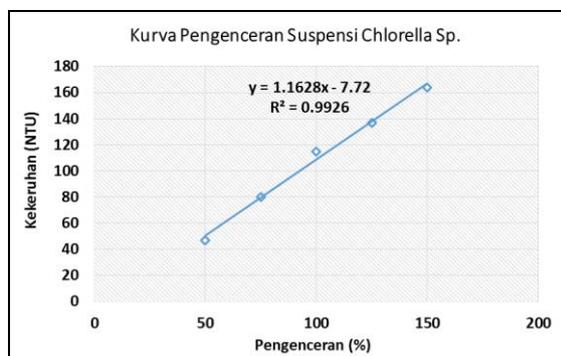
Penentuan Kurva Kalibrasi

Data pada tabel 1 diperoleh dari hasil pengukuran tingkat kekeruhan dan konsentrasi klorofil pada berbagai pengenceran. Data tersebut kemudian di plot pada grafik untuk mengamati kecenderungan tingkat kekeruhan dan konsentrasi klorofil terhadap perlakuan pengenceran suspensi *Chlorella Sp.*

Tabel 1. Hasil pengukuran tingkat kekeruhan dan konsentrasi klorofil pada *Chlorella Sp.* pada berbagai pengenceran

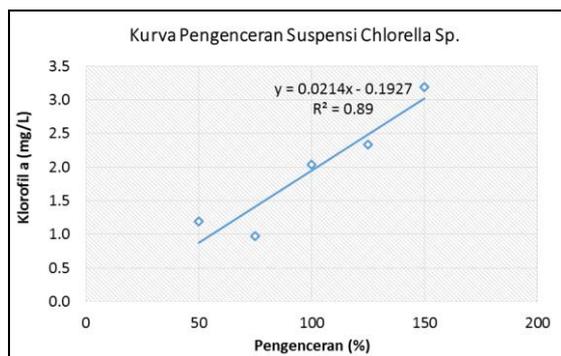
Pengenceran (%)	Kekeruhan (NTU)	Klorofil a (mg/L)
50	46,9	1,196
75	80,1	0,975
100	11,0	2,040
125	137,0	2,334
150	163,8	3,192

Pengenceran suspensi mikroalga dilakukan melalui pendekatan pengukuran kekeruhan secara nephelometri. Pengadukan suspensi sebelum pengukuran dilakukan untuk memastikan homogenitas sampel yang akan diukur kekeruhannya secara nephelometri.



Gambar 1. Kurva linieritas tingkat kekeruhan pada berbagai konsentrasi pengenceran

Selain itu, sampel yang telah dihomogenkan harus diukur sesegera mungkin agar diperoleh kurva pengenceran yang memiliki kecenderungan linier.



Gambar 2. Kurva kalibrasi konsentrasi klorofil pada berbagai konsentrasi pengenceran

Sampel hasil pengenceran diekstraksi dengan acetone 90% kemudian diukur absorbansinya. Konsentrasi klorofil diperoleh dengan memasukkan nilai absorbansi hasil pengukuran kedalam persamaan empiris Strickland and Parsons. Hasil perhitungan kemudian di plot kedalam grafik sehingga diperoleh kurva kalibrasi untuk melihat linieritas hasil pengukuran absorbansi klorofil secara spektrofotometri. Sampel yang digunakan adalah suspensi mikroalga *Chlorella Sp.*

yang dibuat beberapa konsentrasi pengenceran.

Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 1 dan gambar 2 dapat diamati bahwa tingkat kekeruhan dan konsentrasi klorofil memiliki kecenderungan mengikuti tingkat pengenceran, sehingga pembuatan sampel artifisial dapat dilakukan dengan pendekatan pengenceran berdasarkan pengukuran kekeruhan.

Penentuan berat kering berdasarkan pada konsentrasi klorofil

Mengacu pada *standard methods* bagian 10200 H yang menyatakan bahwa konsentrasi pigmen fotosintesis dapat digunakan sebagai pendekatan untuk memperkirakan berat biomassa fitoplankton. Kandungan klorofil a pada mikroalga setara dengan 1% sampai 2% berat keringnya.

Data pada tabel 2 merupakan data hasil pengukuran tingkat kekeruhan, konsentrasi klorofil dan berat kering biomassa mikroalga yang ditentukan secara gravimetri. Data konsentrasi klorofil dan berat kering biomassa kemudian di plot pada grafik untuk melihat hubungan antara konsentrasi klorofil dengan berat kering biomassa. Sampel yang digunakan pada perlakuan ini adalah suspensi mix mikroalga yang merupakan campuran antara *Chlorella Sp.*, *Scenedesmus Sp.* dan *Ankistrodesmus Sp.* dengan perbandingan 2:1:1 (perlakuan a).

Tabel 2. Data Pengenceran Suspensi Mikroalga (C:S:A=2:1:1)

Pengenceran (%)	Kekeruhan (NTU)	Klorofil a (mg/L)	Berat Kering (mg/L)
50	44,9	1,043	231,97
75	95,4	1,172	511,82
100	137,3	2,523	615,51
125	157,3	2,680	783,11
150	154,7	2,806	1034,46

Selain suspensi mix mikroalga, sampel lain yang diukur adalah sampel air artifisial yang merupakan suspensi mix mikroalga yang ditambahkan suspensi kaolin kedalamnya. Pada perlakuan ini, suspensi mikroalga yang telah diencerkan masing-masing ditambahkan 100 ml suspensi kaolin yang telah dibuat sebelumnya (perlakuan b). Hal ini dilakukan sebagai pendekatan pada air permukaan yang pada kondisi aktualnya mengandung partikel tersuspensi yang lebih beragam. Data hasil pengukuran pada perlakuan a (tabel 2) dan perlakuan b (tabel 3) kemudian di plot pada grafik untuk dianalisis lebih lanjut.

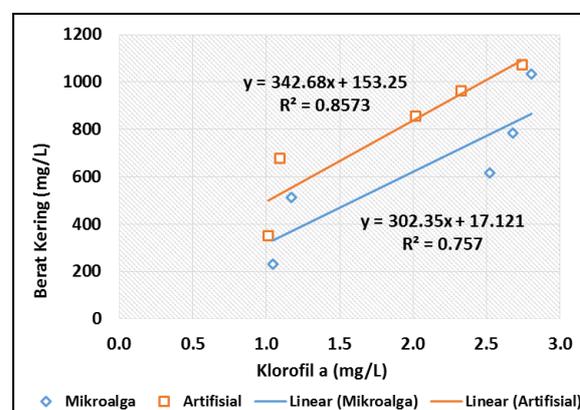
Tabel 3. Data Pengenceran Sampel Artifisial (suspensi mix mikroalga + 100 ml suspensi kaolin pada tiap pengenceran)

Pengenceran (%)	Kekeruhan (NTU)	Klorofil a (mg/L)	Berat Kering (mg/L)
50	52,5	1,014	351,06
75	101,3	1,094	677,38
100	127,8	2,015	854,58
125	144,0	2,329	962,91
150	160,2	2,743	1071,24

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengolahan data pada tabel 2 dan tabel 3 diketahui bahwa kandungan klorofil a yang terukur adalah sekitar 0,2% sampai 0,5% dari berat kering biomasanya. Nilai tersebut lebih rendah bila dibandingkan dengan persentase klorofil a pada *standard methods* bagian 10200 H yang menyatakan bahwa Kandungan klorofil a pada mikroalga setara dengan 1% sampai 2% berat keringnya. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti tidak optimumnya proses ekstraksi klorofil yang mungkin diakibatkan oleh kurangnya waktu ekstraksi, tidak sempurnanya proses maserasi ataupun faktor non-teknis lainnya yang mungkin terjadi pada proses penelitian. Semua hal tersebut diatas telah coba diantisipasi pada proses penelitian yaitu dengan melakukan proses ekstraksi klorofil mengacu pada metode standar

yang tentunya telah tervalidasi, sehingga faktor validitas metode analisis dapat dipastikan tidak menjadi masalah. Selain itu, setiap sampel yang dianalisis diperlakukan dengan metode dan perlakuan yang sama dan konsisten agar diperoleh data hasil analisis yang konsisten (sehingga diperoleh kesimpulan yang juga konsisten).

Pada gambar 3 dapat diamati bahwa pada kedua perlakuan baik perlakuan a ataupun perlakuan b, konsentrasi klorofil memiliki korelasi positif dengan berat kering biomasa mikroalga. Dalam hal ini kedua variabel bukanlah merupakan faktor yang saling mempengaruhi satu sama lain, korelasi yang dimaksud adalah bahwa berdasarkan grafik pada gambar 3 terdapat hubungan antara konsentrasi klorofil dengan berat biomasa sehingga konsentrasi klorofil dapat digunakan sebagai pendekatan dalam menentukan berat kering biomasa berdasarkan pada persamaan regresi linier $y = 302,35x + 17,121$ untuk perlakuan a dan persamaan regresi linier $y = 342,68x + 153,25$ untuk perlakuan b. Hal ini ditandai dengan nilai $R_a = 0,870$ ($R^2 = 0,757$) untuk perlakuan a dan $R_b = 0,924$ ($R^2 = 0,857$) untuk perlakuan b (koefisien korelasi perlakuan a dan perlakuan b), yang secara statistik dapat diartikan bahwa kedua variabel tersebut mempunyai korelasi positif yang cukup erat.



Gambar 3. Kurva hubungan konsentrasi klorofil a dengan berat kering biomasa.

Selain mengamati korelasi antara kedua variabel, pada gambar 3 juga dapat diamati

bahwa hasil pengukuran berat kering pada perlakuan b (sampel air artifisial) lebih tinggi daripada hasil pengukuran berat kering pada perlakuan a (sampel mix mikroalga) pada setiap perlakuan pengenceran. Hal ini secara jelas menunjukkan bahwa pengukuran berat kering sangat dipengaruhi oleh kandungan partikel tersuspensi lain di dalam sampel air yang dianalisis. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada kondisi tertentu pada saat terdapat perbedaan konsentrasi partikel tersuspensi lain pada beberapa sampel air, penentuan berat kering berdasarkan pada pendekatan konsentrasi klorofil tidak dapat lagi dilakukan. Dengan kata lain, pendekatan ini hanya dapat diaplikasikan pada sampel air yang kandungan padatan tersuspensinya cenderung konstan.

Pengaruh Kandungan Padatan Tersuspensi Lain Terhadap pengukuran Konsentrasi Pigmen

Dua jenis perlakuan berbeda telah dilakukan terhadap objek percobaan untuk

mengetahui sejauh mana pengaruh kandungan padatan tersuspensi terhadap pengukuran konsentrasi pigmen. Pada tahap ini dilakukan analisis secara statistik terhadap data hasil pengukuran pada perlakuan a (pengenceran sampel mix mikroalga) dan perlakuan b (pengenceran sampel air artifisial). Analisis statistik yang dilakukan adalah *independent sample T test* menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS 17.0.

Prinsip analisis statistik ini ialah dengan membandingkan rata-rata dua kelompok data yang bersifat *independent* (tidak berhubungan satu sama lain) untuk melihat perbedaan berdasarkan pada perbedaan rata-rata antara dua kelompok data tersebut. Data yang dibandingkan adalah data hasil pengukuran pada perlakuan a (tabel 2) dan data hasil pengukuran pada perlakuan b (tabel 3). Pada tabel 4 dapat diamati hasil analisis statistik yang telah dilakukan pada kedua kelompok data pada tingkat kepercayaan 95%.

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Secara Statistik (*independent sample T test*)

			Klorofil_a		
			Equal variances assumed	Equal variances not assumed	
Levene's Test for Equality of Variances		F	.574		
		Sig.	.471		
t-test for Equality of Means		t	.400	.400	
		df	8	7.880	
		Sig. (2-tailed)	.700	.700	
		Mean Difference	.20580	.20580	
		Std. Error Difference	.51483	.51483	
	95% Confidence Interval of the Difference	Lower		-.98139	-.98453
		Upper		1.39299	1.39613

Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai signifikansi pada uji variansi adalah 0,471, nilai tersebut lebih besar dari α (0,05) yang artinya variansi kedua kelompok data tersebut adalah identik. Nilai signifikansi pada uji t adalah 0,700, nilai tersebut lebih

besar dari α (0,05) yang berarti tidak ada perbedaan nyata antara kedua perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan data pada percobaan ini, secara statistik, kandungan partikel tersuspensi lain sebagai penyebab kekeruhan tidak mempunyai

pengaruh yang signifikan terhadap penentuan konsentrasi klorofil secara spektrofotometri.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai permasalahan ini, mengingat beragamnya kandungan partikel tersuspensi di dalam air. Pada penelitian ini kaolin yang diasumsikan sebagai partikel tersuspensi lain selain mikroalga dapat dikatakan tidak melepaskan pigmen yang dapat mengganggu hasil penentuan konsentrasi klorofil. Lain hal nya apabila ditemukan adanya partikel tersuspensi lain yang dapat melepaskan pigmen ketika dilakukan proses ekstraksi dengan pelarut organik, hal ini tentu akan sangat berpengaruh terhadap hasil pengukuran klorofil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi positif yang cukup erat antara konsentrasi klorofil dengan berat kering biomasa mikroalga yang kecenderungannya mengikuti persamaan regresi linier $y = 302,35x + 17,121$. Penentuan berat kering berdasarkan pada pendekatan pengukuran konsentrasi klorofil dapat diaplikasikan pada sampel air dengan kondisi kandungan padatan tersuspensi yang cenderung konstan dan bersifat inert (tidak menghasilkan zat yang dapat bereaksi dengan pelarut organik pada saat dilakukan proses ekstraksi klorofil). Selain itu, berdasarkan hasil olah data dapat disimpulkan pula bahwa pengaruh kandungan partikel tersuspensi lainnya di dalam sampel air tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan (secara statistik). Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh kandungan partikel tersuspensi lainnya di dalam sampel air dalam penentuan konsentrasi klorofil yang terkandung dalam mikroalga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Astri Rinanti Nugroho, MT yang telah telah berkenan memberikan arahan dan bantuan fasilitas dalam rangka pelaksanaan penelitian ini (khususnya dalam hubungannya dengan pemanfaatan fasilitas laboratorium penelitian mikroalga).

DAFTAR PUSTAKA

- APHA, AWWA and WEF. (2012) Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, No. 2130, 22nd Edition , Washington DC.
- Czaplicka-Kotas, Anna and olanta Lodowska (2014) Biomonitoring of Surface Water by Synchronous Culture of *Chlorella Vulgaris* Algae. Environmental Protection Engineering Vol. 40 No. 4. DOI: 10.5277/epel140403.
- Fetscher, A. E. and Karen McLaughlin (2008) Technical Reports 563. Incorporating Bioassessment Using Freshwater Algae into California's Surface Water Ambient Monitoring Program (SWAMP).
- Henriques, Silva M. A. and Rocha J. (2007) Extraction and Quantification of Pigments From A Marine Microalga : A Simple and Reproducible Method. Communicating Current Resesarch and Educational Topics and Trends In Applied Microbiology. Formatex.
- Kshirsagar, Ayodhya D. (2013) Use of Alga as a Bioindicator to Determine Water Quality of River Mula from Pune City, Maharashtra (India). Universal Journal of Environmental Research and Technology Volume 3, Issue 1: 79-85. e-ISSN: 2249 0256.
- Montoya-Moreno, Yimmy and Nestor Aguirre-Ramirez (2013) Knowledge to Ecological Preferences in a Tropical Epiphytic Algae to Use with Eutrophication Indicators. Journal of Environmental Protection Vol. 4, 27-35.
- Lavoie, I., Warwick F. C., Reinhard Pienitz and Jean Painchaud (2004) Benthic Algae as Bioindicators of Agricultural Pollution in the Streams and Rivers of Southern Quebec (Canada). Aquatic Ecosystem Health & Management., 7(1):43-58. ISSN: 1463-4998 print / 1539-4077 online. DOI: 10.1080/14634980490281236.
- Lazic, Z. R. (2004) Design of Experiments in Chemical Engineering. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 3-527-31142-4

- Lindu, M., Tita P dan Dian A. R. (2010) Sintesis dan Uji Kemampuan Membran Mikrofiltrasi Seluosa dari *Nata De Coco* untuk Penyisihan Kekeruhan Pada Air Artifisial. *Jurnal Sains Materi Indonesia* Vol. 12, No. 3, hal : 153-158. ISSN: 1411-1098.
- Markert, B. A., A. M. Breure and H. G. Zechmeister, editor (2003) *Bioindicators and Biomonitors*. Elsevier Science.
- Park, Hun Myoung (2009) *Computing Group Means : T-tests and One-way ANOVA Using STATA, SAS, R and SPSS*. Working Paper. The University Information Technology Services (UITS) Center for Statistical and Matematical Computing, Indiana University.
- Rinanti, A., Edwan K., Dea Indriani A dan Kania D. (2013) Screening of Potential Photosynthetic Microalgae from Wastewater Treatment Plant for Carbon dioxide Capture and Storage. *Asian Transactions on Science Technology* Vol. 03 Issue 01. ATST ISSN: 2221-4283).
- Wan Maznah Wan Omar (2010) Perspectives on the use of Algae as Biological Indicators for Monitoring and Protecting Aquatic Environments, with Special Reference to Malaysian Freshwater Ecosystems. *Trop Life Sci Res.* 21(2): 51-67.

APPLICATION OF ULTRAVIOLET (UV) TECHNOLOGY ON WATER DECHLORINATION: INFLUENCE OF UV FLUENCE DOSE AND UV TRANSMITTANCE ON CHLORINE REMOVAL EFFICIENCY

Maryani Paramita Astuti¹ and Xie Rongjing²

¹Environmental Engineering, President University, Jl Ki Hajar Dewantara, Cikarang, West Java, 17550

²Water Supply (Plants) Department, PUB, 40 Scotts Road, Singapore 228231

Email: ¹astuti.maryaniparamita@gmail.com, ²xie_rongjing@pub.gov.sg

Abstract: Water dechlorination is required to remove chlorine residual (free and combined chlorine) formed as byproducts of chlorination treatment. Ultraviolet (UV) dechlorination method has advantages compared to other dechlorination methods. This method uses a powerful photon energy generated by low pressure (LP) and medium pressure (MP) UV lamps to break chemical bond of the residual chlorine into reactive free radicals ($\bullet OH$) and ($\bullet Cl$). Studies are needed to evaluate its removal efficiency and the effect of treatment conditions on the efficiency before applying this method to practical applications. This study evaluates the effectiveness of medium pressure UV technology on UV dechlorination and investigates the influence of operation conditions (UV fluence and UV Transmittance) on chlorine removal efficiency. The impacts of both UV fluence and UV transmittance variations on chlorine removal efficiency were observed. Results of this study indicate that chlorine reduces upon exposure of UV radiation and chlorine removal efficiency increases with the increasing of UV fluence dose and UVT. The maximum UV fluence dose applied in this study (513 mJ/cm^2) results in less than 25% of total chlorine reduction.

Keywords: Chlorination, Dechlorination, Ultraviolet (UV), UV dose, UV Transmittance

Abstrak: Deklorinasi pada pengolahan air dibutuhkan untuk menyisihkan sisa klorin (klorin bebas dan terikat) yang terbentuk sebagai hasil samping dari proses klorinasi. Metode deklorinasi menggunakan sinar ultraviolet (UV) memiliki beberapa kelebihan dibanding metode lainnya. Metode ini menggunakan energi foton yang dihasilkan oleh lampu ultraviolet bertekanan rendah dan bertekanan sedang untuk memutuskan ikatan kimia sisa klorin menjadi ion bebas radikal ($\bullet OH$) dan ($\bullet Cl$). Namun, sebelum menerapkan metode ini dibutuhkan studi tinjauan efisiensi penyisihan klorin yang dapat terjadi, serta studi kajian pengaruh kondisi pengolahan terhadap efisiensi penyisihan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas teknologi ultraviolet bertekanan sedang pada pengolahan deklorinasi, serta menginvestigasi pengaruh kondisi operasi, yakni dosis ultraviolet dan daya transmisi ultraviolet terhadap efisiensi penyisihan. Pengaruh dosis ultraviolet dan daya transmisi ultraviolet terhadap efisiensi penyisihan klorin menjadi tinjauan dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sisa klorin berkurang setelah air terpajan radiasi sinar ultraviolet. Selain itu efisiensi penyisihan sisa klorin meningkat dengan bertambahnya dosis ultraviolet dan daya transmisi ultraviolet. Dosis ultraviolet maksimum yang digunakan pada penelitian ini adalah 513 mJ/cm^2 . Dosis tersebut menghasilkan efisiensi penyisihan sisa klorin kurang dari 25%.

Kata Kunci: Klorinasi, Deklorinasi, Ultraviolet, Dosis ultraviolet, Daya transmisi ultraviolet

INTRODUCTION

Despite the disadvantages of chlorine disinfection, e.g., possibility of disinfection by-products (DBPs) formation, it remains the most widely used method for the disinfection of water and wastewater in the United State (Howe, J. et al, 2012) and probably worldwide. In this method, chlorine is usually introduced to the water as chlorine gas (Cl_2), sodium hypochlorite ($NaOCl$), calcium hypochlorite ($Ca(OCl)_2$) or chloroamine (NH_2OCl). Dissolution of

each of these chlorine agents hydrolyzes the chlorine to form hypochlorous acid, $HOCl$. Hypochlorous acid can further be hydrolyzed into hypochlorite ion, OCl^- . This reaction is strongly dependent on pH of the solution with equilibrium constant $pK_a = 7.5$ (at $25^\circ C$). These species, $HOCl$ and OCl^- are commonly referred to as "free chlorine residual" (Howe, J. et al, 2012). In the presence of ammonia, hypochlorous acid and hypochlorite ion react with the ammonia to form monochlor-

amine, dichloramine, and trichloramine, which referred to as “combined chlorine residual”. Chlorination that converts all ammonia to either trichloramine or nitrogen gas is known as “break point chlorination”. After the break point, all ammonia has been converted and thus the addition of chlorine will form free chlorine residual.

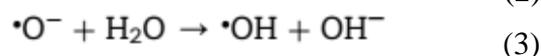
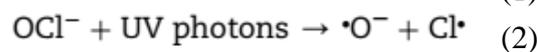
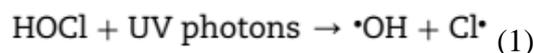
Although chlorine is a powerful disinfection agent, chlorine residual cannot be tolerated by several industrial processes due to contamination and unwanted chemical reactions. It could accelerate corrosion of vessels, valves and piping, and could also cause damages to delicate process equipments such as reverse osmosis (RO) membranes and deionization (DI) resin units, *e.g.* cation and anion exchanger.

In the case of drinking water, chlorine affects the taste and odor of drinks and liquids (Spellman, 2013). Recent studies suggest that chlorines (and other disinfectant agents) may react further with dissolved organic matter then form a range of DBPs such as the trihalomethanes (THMs), haloacetic acids (HAAs), and chlorite (Hebert et al, 2010). Some of these emerging DBPs may pose unintended health hazards. Until recently, health risks studies were directed primarily toward linking chronic DBPs exposure and cancer initiation or mutagenicity (Richardson et al, 2002). In the case of wastewaters effluent, research conducted by Watson et al (2012) concludes that DBPs formed in the chlorinated wastewaters can be toxic and may have a deleterious impact on aquatic organisms. Therefore, residual chlorine often must be removed once it has performed its disinfection function. The removal of residual chlorine is known as dechlorination.

Several technologies of dechlorination have been developed, including natural attenuation, chemical dechlorination, activated carbon, and ultraviolet (UV) technology. The latest technology, UV radiation, is generally produced by low pressure (LP) and medium pressure (MP)

UV lamps that contain an inert gas, *e.g.* argon, and a small amount of liquid mercury (Linden & Sharpless, 2003). The LP lamps emit essentially monochromatic light at 254 nm wavelength, whilst the MP lamps radiate various outputs ranging from about 205 nm to above 500 nm wavelength (Linden & Sharpless, 2003).

When a potential energy is applied to the lamp, some of the liquid mercury vaporizes and collides with free electrons and ions, and thus increases the energy state of mercury vapor. The mercury with higher energy state tends to return to its normal energy state by discharging energy in the form of UV light (Clarke, 2006). This energy is then used to break down chemical bond of the residual chlorine. In the photodecomposition reactions of free chlorine in water, various primary reactive intermediates are formed which are rapidly converted into hydroxyl radical ($\bullet\text{OH}$) and chlorine radical ($\bullet\text{Cl}$) (Buxton & Subhani, 1972). Bolton (2010) and Feng et al. (2007) stated reactions occur in radiation of chlorines, such as:



The advantages of UV dechlorination compared to other technologies include:

1. No mixing or contact tanks are needed.
2. No chemical addition is required.
3. Minimum operation and maintenance required.

In addition, it leaves no impact on the taste, odor, color, and pH of water. However, there is a lack of information on UV dechlorination. The removal efficiency needs to be considered before applying this method. Thus, this study was undertaken to investigate the effectiveness of a medium pressure UV technology in water dechlorination and evaluate the influence of operation conditions (UV fluence and

UV Transmittance) on chlorine removal efficiency.

MATERIAL AND METHODS

The experiments were carried out at CAWT (Centre for Advanced Water Technology) Laboratory in Singapore using a collimated beam UV apparatus (Atlantium Technologies, Ltd) equipped with a medium pressure (MP) UV lamp to generate polychromatic UV light. MP lamps operate at temperatures range of 600-900°C and at mercury vapor pressures of 2 – 200 psi (Clarke, 2006).

Each sample was placed in a 6-cm Petri dish and was exposed to the UV light over the specified exposure time. The water samples used for the experiments were the drinking water produced by Choa Chu Kang Water Works of Singapore. The raw water of this water treatment plant was extracted from Kranji Reservoir which would then be treated via coagulation, sedimentation and sand filtration, followed by chlorination as disinfection unit.

Chlorine concentrations were measured before and after the UV exposure over the duration of the experiments in order to calculate the chlorine removal efficiency. Each experiment was performed twice (duplicate). All experiments were conducted at ambient temperature ($23 \pm 2^\circ\text{C}$). Schematic of the collimated beam apparatus is illustrated in Figure 1.

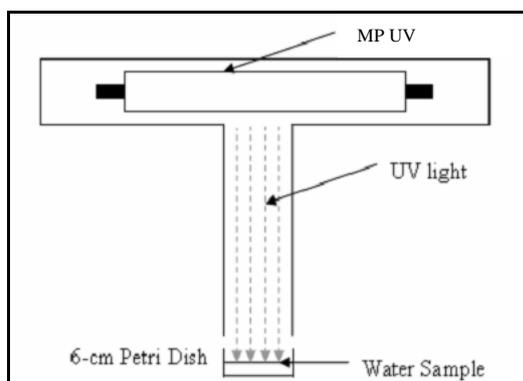


Figure 1. Schematic of the laboratory experiments set up

Chlorine residual analysis

N,N-diethyl-p-phenylenediamine (DPD) colorimetric method is considered as the most widely used method for analyzing free and total chlorine in water and wastewater (Harp, 2002). The chemical basis for the DPD chlorine reaction is presented in Figure 2. In the experiments, concentration of total and free chlorine were analyzed by DPD colorimetric method using two types of reagents—DPD Free Chlorine Reagent and DPD Total Chlorine Reagent—for 10-ml of sample produced by Hach Permachem Reagent.

The DPD amine (reagent) was added to the water sample and was oxidized by chlorine contained in the sample to two oxidation products. The first compound was known as Würster dye that was relatively stable and creates the magenta color at neutral pH. The intensity of the color was then measured photometrically. The second compound, imines, was relatively unstable and colorless that would be formed at higher oxidant levels, *i.e.* higher chlorine concentration.

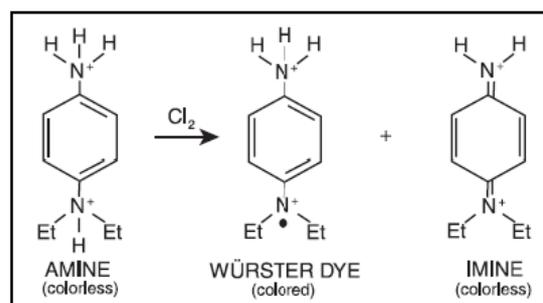


Figure 2. DPD-Chlorine Reaction Products (Harp, 2002)

Variables of the Experiments

The control variable of the experiments was the total chlorine concentration which was 2 mg/L. Since chlorine is a highly oxidative compound, an equal chlorine concentration was difficult to achieve. Therefore, the concentrations were set to be within the range of 1.90 mg/L to 2.2 mg/L. Two independent variables were designed: (1) UV fluence dose and (2) UV transmittance (UVT). The dependent variable was the decreasing amounts of

total and free chlorine concentration that represents the removal efficiency of UV dechlorination.

UV Fluence Dose Variations

Since UV fluence rate of the UV collimated beam apparatus in a laboratory scale is a fixed value, the UV fluence dose variations were achieved by varying the duration of time exposure of the sample under the UV light. The exposure time variations were 10, 20, and 30 minutes.

The fluence rates were measured by a radiometer Model SEL240 UV Curing Radiometer, Internal Light Inc, an instrument that is typically used in UV fluence rate measurements. It consists of a highly sensitive electronic ammeter con-

nected to a UV sensor head, which generates a current proportional to the incident fluence rate. It can be used to measure UV fluence rate of a collimated beam apparatus by setting its radiometer detector head at the same height as the surface water in Petri dish. Results of the UV irradiance of the UV beam are presented in Figure 3.

In the experiments, 2 cm distance of the water surface and the UV apparatus was selected, which according to Figure 3 is equal to the UV fluence rate of 0.285 mW/cm². The UV fluence doses were calculated as the multiplication of UV fluence rate and the exposure time, which were 171, 342, and 513 mJ/cm².

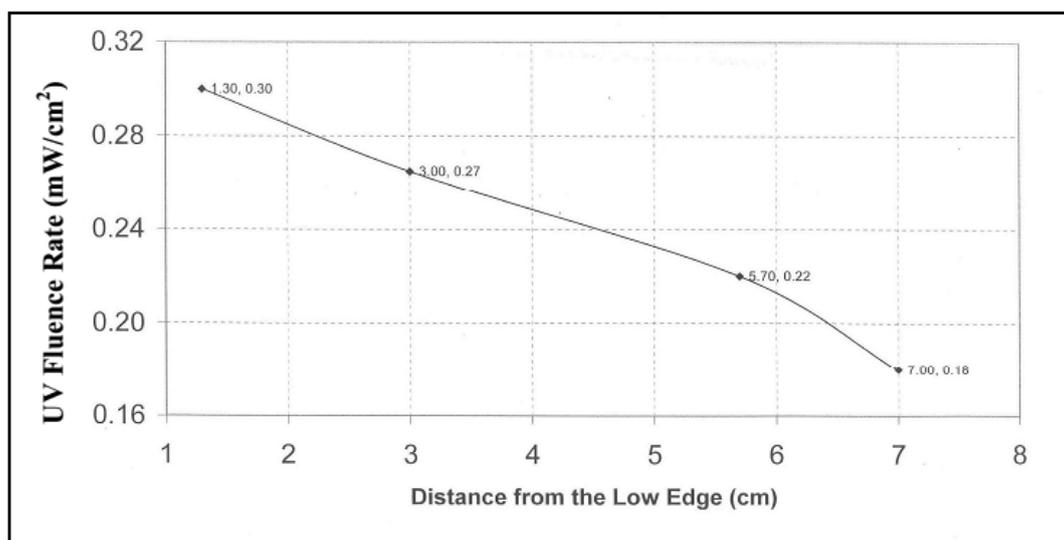


Figure 3. UV Fluence Rates of Collimated Beam Apparatus at Varied Exposure Distance

UV Transmittance Variations

The UVT concept is defined on basis of the Beers Law that is illustrated in Figure 4. UVT is the fraction of the emitted UV light that passes through the substance or in other word (P/P_0), which is usually expressed in percent. The greater the amounts of particles that can absorb the UV light contained, the more of a reduction in UVT value. UVT is related to UV absorbance (UVA) according to the expressions written in Figure 5.

UV absorbance value depends on the quality of water sample. In the

experiments, variations of UV absorbance were achieved by adding coffee stock solution (900 mg/L) into the samples. The coffee stock solution was made by addition of coffee powder into de-ionized (DI) water. An Agilent 8453 Diode Array Spectrophotometer (Global Medical Instrumentation, Inc) was used to determine the UV transmittance. The UV transmittance variations used in the experiments with their absorbance and transmittance value are presented in Table 1. The possibility of reactions between coffee and chlorine were observed to

determine the interference that may occurred. For this purpose, the same amounts of chlorine were added to the sample A (no coffee), sample B (contains 9 mg/L of coffee), and to the sample C (contains 18 mg/L of coffee).

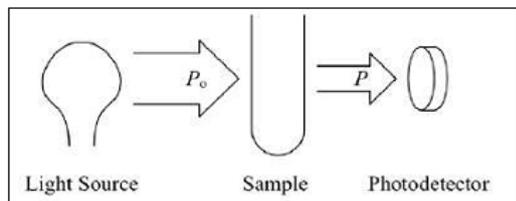


Figure 4. UV Transmittance Analogy

$$UVA = \log_{10} \left(\frac{100}{\%T} \right) = 2 - \log_{10} \%T$$

$$UVA = \log_{10} UVT = \log_{10} (P / P_0)$$

$$UVT(\%) = 100T = 100P / P_0$$

Figure 5. UV Transmittance and UV Absorbance expressions

Table 1. UV absorbance variations

Sample	Coffee (mg/L)	UVT (%)	UV absorbance
Blank (DI water)	0	100.00	0
A	0	93.279	0.03022
B	9	88.132	0.05487
C	18	83.566	0.07797

Each sample was kept in a dark place since light exposure would reduce chlorine contained in the samples. Chlorine concentration of each sample was then measured at different times to determine the decreasing concentrations of total and free chlorine.

RESULT AND DISCUSSION

UV Light Transmittance

Results from the coffee interference experiments, which are presented in Table 2 and Table 3, show that concentration of total and free chlorine in each sample (contains and not contain coffee) decreased in about an equal percentage. Thus, it can be concluded that there was no reaction occurred between chlorine and the components of the coffee. The amounts of chlorine depleted are considered as

chlorine demand of the water sample, *i.e.* the amounts of chlorine that is required to oxidize impurities in the water (Tchobanoglous et al, 2003).

However, the results also suggest that coffee interferes with the DPD colorimetric measurements. This can be seen from the initial concentration of each sample (concentration at time = 0).

Table 2. Total Chlorine Concentration at Different Times (Coffee Interference Experiments 1)

Sample	Total Chlorine Concentration (mg/L) at different times		Chlorine removed (%)
	0 min	40 min	
A	1.77	1.68	5.08
B	1.33	1.26	5.26
C	1.21	1.15	4.96
Standard Deviation	0.29	0.28	0.15

Table 3. Free Chlorine Concentration at Different Times (Coffee Interference Experiments 2)

Sample	Total Chlorine Concentration (mg/L) at different times		Chlorine removed (%)
	0 min	40 min	
A	1.42	1.34	5.37
B	1.06	1.01	5.08
C	0.97	0.91	5.99
Standard Deviation	0.24	0.23	0.46

Initially, samples had the same chlorine concentration whilst the results show three different concentrations, *i.e.* the initial concentration of sample B and sample C were much less than that in sample A. This is likely to happen since coffee reduces the intensity of Würster dye color formed by the reagent and the chlorine and thereby decreases the readings of chlorine DPD colorimetric. Hence, calibration curves were made to determine the actual chlorine concentrations contained in sample B and sample C.

Calibration Curves Determination

Data for calibration curves were obtained by adding the same amounts of chlorine

ranging from 0.2 mg/L to 2.15 mg/L into each sample followed by measuring its total and free chlorine concentration. The calibration curves were made for each sample—sample B and sample C—for total and free chlorine by making linear regressions over the data with con-

centrations measured in sample A (actual chlorine concentrations) as y-values and concentrations measured in sample B and sample C (concentration interfered by the coffee) as x-values. The calibration curves obtained are presented in Figure 4 and Figure 5.

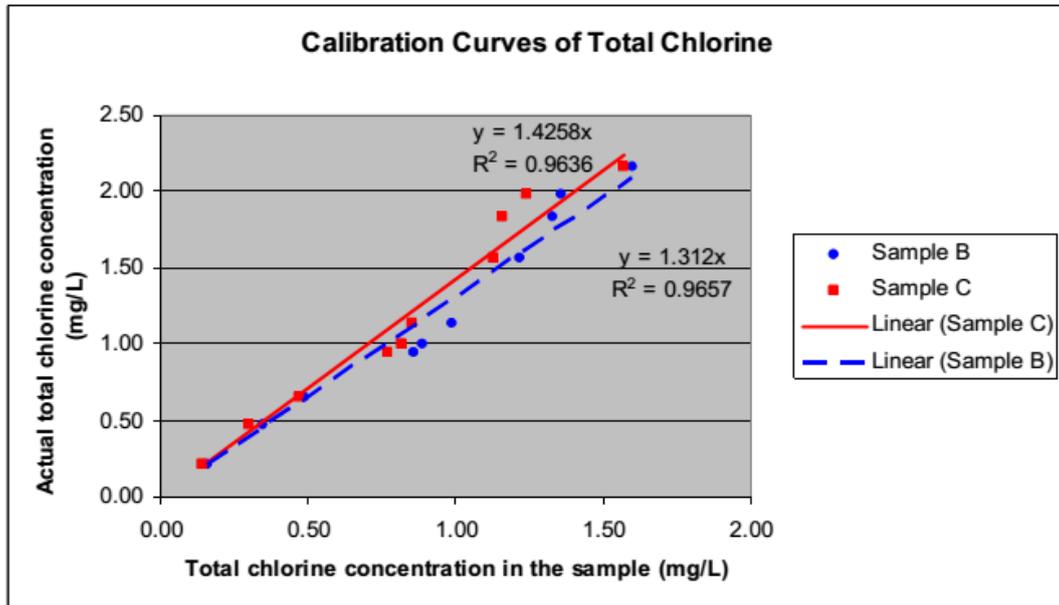


Figure 4. Total Chlorine Calibration Curves

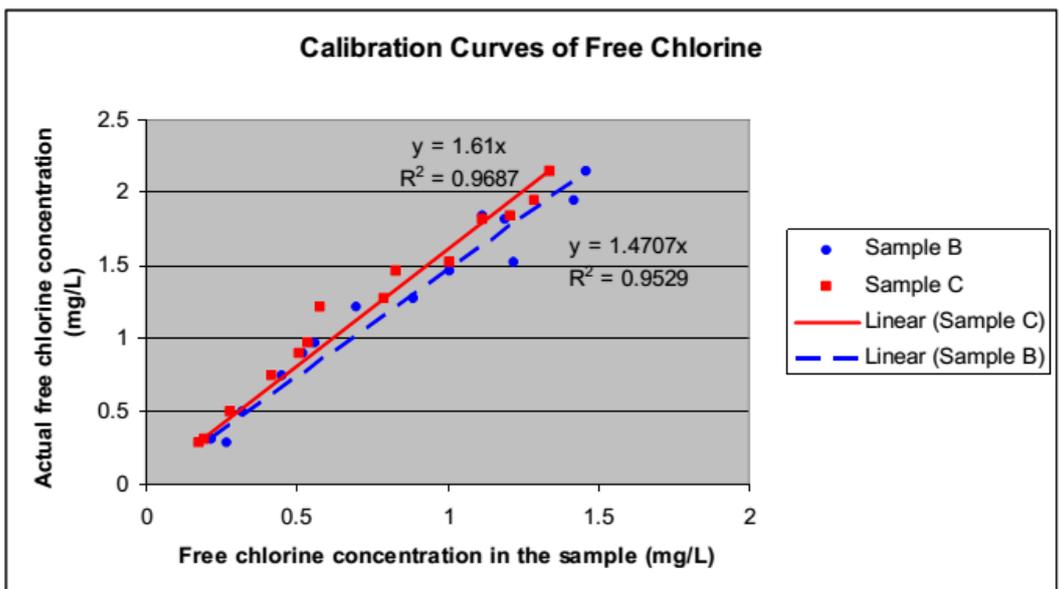


Figure 5. Free Chlorine Calibration Curves

Influence of UV fluence dose to the chlorine removal efficiency

Results of the chlorine removal efficiency illustrated in Figure 6 show that the total removal efficiency increases as the UV fluence dose increases. These results are consistent with other reported results (Örmeci et. al, 2005; Watts and Linden 2007). This result is due to the fact that a higher UV fluence dose transfers greater amounts of energy to the solution, which was used to break the chemical bonds of free and combined chlorine.

In terms of chlorine removal efficiency, the results show that the range of UV fluence dose commonly applied for drinking water UV disinfection, 0-100 mJ/cm^2 (Watts and Linden, 2007), provides considerably low chlorine removal efficiency. In fact, the highest UV fluence dose (513 mJ/cm^2) applied in the experiments only resulted in less than 25% of chlorine removal efficiency. Further study is needed to investigate required fluence dose to achieve better removal efficiencies.

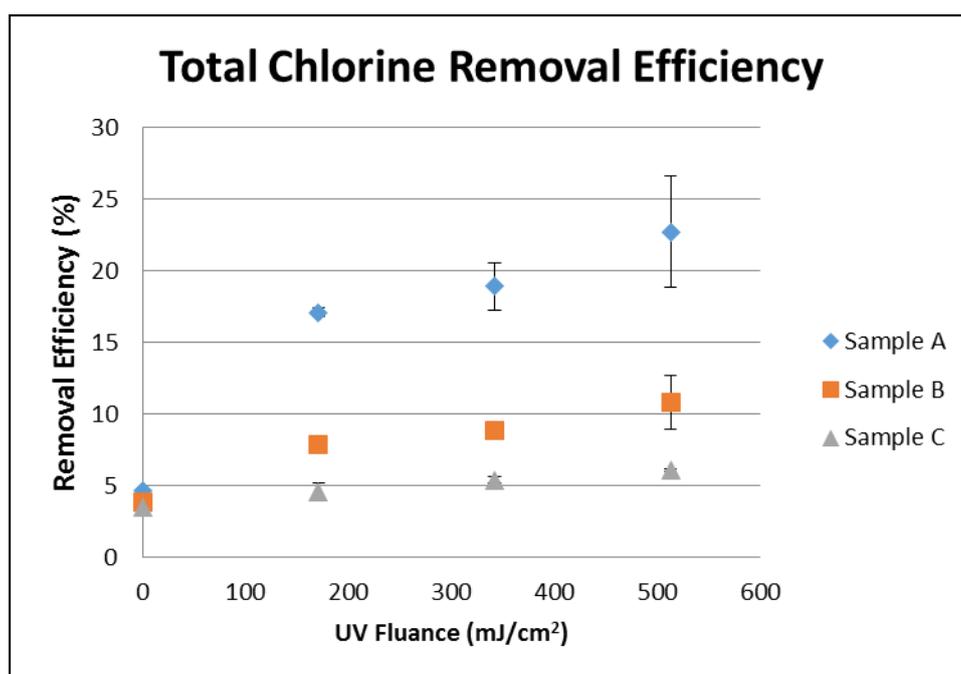


Figure 6. Total Chlorine Removal Efficiency

As shown in Figure 6, the total chlorine removal efficiencies are nonzero at UV Fluence 0 mJ/cm^2 . This occurs likely due to the characteristics of chlorine which is highly oxidative. Hence, addition of chlorine will initially be utilized to oxidize the organic and inorganic compounds of water samples such as BOD, DOC, TOC, Nitrite, Nitrate, Iron, and Manganese (Tchobanoglous et. al., 2003). It can also be concluded that the removal efficiencies achieved in this study are inclusive of the chlorine demand of water samples. The organic and inorganic compounds of water

samples exerting chlorine demand are shown in Table 4.

The fluence dose variations in this study were achieved by lengthening exposure time, which in full scale water treatment means additional requirement of contact tank. This is inconsistent with the idea of gaining benefit from UV technology itself. Thus study with full scale UV system is needed to confirm whether desirable removal efficiencies could be achieved.

Table 4. Characteristics of Water Samples Concerning Chlorine

Parameters	Unit	Value	Method
BOD ₅	mg/L	<2	APHA 5210B
DOC	mg/L	1.99	EPA 415.1
TOC	mg/L	2.34	EPA 415.1
Nitrate (as NO ₃)	mg/L	0.48	EPA 300
Nitrite (as NO ₂)	mg/L	<0.01	EPA 300
Iron	mg/L	<0.003	EPA 6010B
Manganese	mg/L	<0.003	EPA 6010B

UVT influence to the chlorine removal efficiency

Results of chlorine removal efficiency of each sample at different UV fluence dose and UVT in Figure 6 indicate that the total removal efficiency significantly decreases with lower UV transmittance value. This likely occurs since the UV light transmitted in the samples that contain coffee is absorbed by the coffee instead of used by the chlorine to break its chemical bonds. Since the UVT depends on the quality of water being treated, it can be concluded that water with poor quality has a lower UVT, and thereby results in a lower efficiency of UV Dechlorination. Thus, in the application of UV dechlorination, pretreatments must be performed to improve the water quality in order to obtain higher chlorine removal efficiency.

CONCLUSION

In this study, the effectiveness of a medium pressure UV technology in water dechlorination and the influence of operation conditions (UV fluence and UV Transmittance) on chlorine removal efficiency were investigated. The results proved that the UV light exposure reduces chlorine concentration in water samples. The results also suggested that UV fluence and UVT influence chlorine removal efficiencies. The total chlorine removal efficiency increases with the increasing UV fluence dose. The highest UV fluence (513 mJ/cm²) applied in the experiments resulted in less than 25% of chlorine

removal. However, removal efficiency significantly decreases as the UV transmittance value decreases. Water with poor quality has a lower UVT, and thereby resulting in lower removal efficiency. The results also indicate that the presence of coffee, or other substances that absorb light, interferes with the DPD colorimetric measurements. Hence, in the application of UV dechlorination, pretreatments must be performed to improve the water quality in order to obtain higher chlorine removal efficiency.

ACKNOWLEDGEMENT

The project is funded by Singapore Stanford Partnership (SSP). The authors would like to thank NTU and Center for Advanced Water Technology (CAWT) for research facilities used in this project. Dr. Benoit Jean Guieysse, Professor at Massey University of New Zealand (previously Assistant Professor at NTU) for his valuable guidance and support, Mylene Gomez, Fu Yong, and other researchers at CAWT laboratory for their timely assistance and technical support.

REFERENCES

- Howe J.K, Hand D.W, Crittenden J.C, Trussell R.R, Tchobanoglous G. 2012. *Principles of Water Treatment*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Spellman, Frank R. 2013. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Operations, Third Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Herbert A, Forestier D, Lenés D, Benanou D, Jacob S, Arfi C, Lambolez L, and Levi Y. 2010. Innovative Method for Prioritizing Emerging Disinfection by-Products (DBPs) in Drinking Water on the Basis of Their Potential Impact on Public Health. *Journal of Water Research*, 44(10):3147-65.
- Richardson S.D, Simmons J.E, and Rice G. 2002. Peer Reviewed: Disinfection Byproducts: The Next Generation. *Journal of Environmental Science and Technology*, 36(9): 198A-205A
- Watson K, Shaw G, Leusch F.D.L, and Knight N.L. 2012. Chlorine Disinfection by-Products in Wastewater effluent: Bioassay-based Assessment of Toxicology Impact. *Journal of Water Research*. 46(18): 6069–6083

- Linden K.G, Sharpless C.M. 2003. Experimental and Model Comparisons of Low- and Medium-Pressure Hg Lamps for the Direct and H₂O₂ Assisted UV Photodegradation of N-Nitrosodimethylamine in Simulated Drinking Water. *Journal of Environmental Science and Technology*. 37(9):1933-1940.
- Clarke, S.H. (2006). *Ultraviolet Light Disinfection in the Use of Individual Water Purification Devices, in Technical Information Paper #31-006-0306*. U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine.
- Buxton, G.V. & Subhani, M.S., 1972. Radiation chemistry and photochemistry of oxychlorine ions. Part 1.—Radiolysis of aqueous solutions of hypochlorite and chlorite. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in*, 68:947-957.
- Buxton, G.V. & Subhani, M.S., 1972. Radiation chemistry and photochemistry of oxychlorine ions. Part 2.—Photodecomposition of aqueous solutions of hypochlorite ions. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases*, 68:958-969.
- Bolton, J.R., 2010. *Ultraviolet Applications Handbook, Third Edition*. Edmonton: ICC Lifelong Learn Inc.
- Feng, Y.G., Smith, D.W., Bolton, J.R., 2007. Photolysis of aqueous free chlorine species (HOCl and OCl⁻) with 254 nm ultraviolet light. *Journal of Environmental Engineering and Science*. 6(3):277-284.
- Harp, D.L. (2002). Current Technology of Chlorine Analysis for Water and Wastewater. *Technical Information Series--Booklet No 17*.
- Tchobanoglous G, Burton F.L, Stensel H.D, Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill Education.
- Örmeci, B., Ishida, G.A. & Linden, K.G. (2005). UV disinfection of chlorinated water: impact on chlorine concentration and UV dose delivery. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 54 (3):189-199;
- Watts, M.J. & Linden, K.G. (2007). Chlorine Photolysis and Subsequent OH Radical Production during UV Treatment of Chlorinated Water. *Water Research*, 41(13):2871-2877.
- Pera-Titus M, Garcia-Molina V, Banos M.A, Gimenez J, Esplugas S. 2004. Degradation of Chlorophenols by Means of Advanced Oxidation Processes: a General Review. *Journal of Applied Catalysis B: Environmental*. 47(4):219-256.

Journal of Environmental Engineering and Waste Management

Dewan redaksi menerima tulisan ilmiah yang merupakan karya orisinal penulis yang dapat berupa hasil penelitian, rekayasa atau telaah ilmiah di bidang keteknikan lingkungan, pengelolaan lingkungan, ilmu lingkungan dan pengelolaan limbah. Penulisan karya ilmiah yang akan diterbitkan mengacu pada aturan penulisan sebagai berikut :

1. **Judul (Title)**. Judul ditulis dengan huruf kapital dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris dalam kalimat lengkap secara jelas dan singkat. Judul menggambarkan apa yang menjadi pokok dalam tulisan. Penulisan dengan font Times New Roman ukuran 14.
2. **Nama Penulis (Author[s])**. Nama penulis ditulis dibawah judul secara lengkap tanpa menuliskan jabatan, struktural/fungsional ataupun gelar. Diikuti dengan menuliskan instansi serta alamat yang jelas untuk setiap penulis, termasuk e-mail. Penulisan dengan font Times New Roman ukuran 10 dengan jarak 1 spasi.
3. **Abstrak (Abstract)**. Abstrak ditulis dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia (masing-masing dalam 1 paragraf). Abstrak mencakup apa yang dilakukan, bagaimana cara melakukannya, hasil yang diperoleh, serta informasi apa yang merupakan paparan dari hasil tersebut. Abstrak ditulis dengan Times New Roman ukuran font 10 dengan jarak 1 spasi, diikuti oleh kata kunci (*keywords*) 3-5 kata ditulis miring (*italic*). Kata kunci ditulis secara alfabetis.
4. **Pendahuluan (Introduction)**. Pendahuluan merupakan latar belakang serta permasalahan yang menjadi perhatian serta tinjauan ringkas tentang hal tersebut, boleh diisi dengan teori yang ringkas bila memang sangat menentukan dalam pembahasan (ditulis dengan jarak 1 spasi).
5. **Bahan dan Metode (Materials and Methods)**. Tuliskan semua bahan, peralatan dan metode yang digunakan dalam penelitian/rekayasa mengikuti peraturan umum penulisan secara jelas dan ringkas).
6. **Hasil dan Pembahasan (Results and Discussion)**. Hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk tabel atau gambar dan harus dirujuk dalam pembahasan. Penomoran tabel dan gambar dilakukan secara berurutan dimulai dari nomor 1 dan seterusnya. Judul tabel/gambar ditulis dengan Times New Roman, ukuran huruf 10, spasi 1. Data dalam bentuk foto agar dikirim dengan resolusi tinggi. **Gambar, Grafik dan Diagram**. Keterangan gambar grafik dan diagram ditulis di bawahnya. Nomor gambar dicetak tebal (bold) sedangkan keterangannya normal. **Tabel**. Keterangan tabel ditulis di atas tabel (center alignment). Nomor tabel dicetak tebal (bold) sedangkan keterangan/judul tabel normal.
7. **Kesimpulan (Conclusion)**. Suatu ringkasan menyeluruh dari semua aspek hasil penelitian yang berkaitan langsung dengan tujuan penelitian. Ditulis dalam satu paragraf.
8. **Ucapan terima kasih (Acknowledgment [s])**. Disampaikan kepada yang berhak mendapatkannya, seperti penyandang dana, pihak yang membantu dalam penelitian ataupun penulisan serta narasumber/perorangan yang dipandang layak dihargai (opsional).
9. **Daftar Pustaka (References)**. Daftar pustaka ditulis dengan font Times New Roman ukuran 10 dengan jarak penulisan 1 spasi berurutan mulai dari nomor 1 dan seterusnya sesuai dengan urutan kemunculannya pada sitasi/pengacuan dalam tulisan (pendahuluan sampai dengan hasil dan pembahasan).
 - Apabila yang diacu adalah buku maka ditulis secara berurutan : Nama penulis (nama penulis yang pertama dibalik posisinya kemudian diikuti nama penulis kedua dan ketiga). (Tahun Terbit). *Judul Buku*. Edisi Terbitan. Tempat Terbit : Penerbit (Contoh : Sawyer Clair N, Mc Carty Perry L. and Parkin Gene F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science, Fifth Edition*. Boston : Mc Graw Hill
 - Apabila yang diacu artikel dalam jurnal maka ditulis secara berurutan : Nama Penulis. (Tahun Terbit). *Judul Jurnal*. Jilid diikuti nomor jurnal : halaman (Contoh : Rytwo, G. (2012) The Use of Clay-Polymer Nanocomposites in Wastewater Pretreatment. *The Scientific World Journal*, 71 (12) : 48-60).
 - *Et al.* hanya berlaku bila penulis lebih dari 11 orang.
10. **Cara Penulisan Sitasi (Citation)**. Penulisan sitasi pada awal kalimat mengikuti : Menurut Sidjabat (2013), atau diakhir kalimat :(Sidjabat 2013)
11. Jumlah halaman minimal 7 dan maksimal 12 halaman A4 termasuk lampiran-lampiran. Seluruh isi artikel ditulis dalam font Times New Roman ukuran 12 dengan jarak penulisan 1 spasi. Semua judul bab ditulis dengan huruf kapital. Naskah ditulis dalam 2 kolom.



Journal of Environmental Engineering & Waste Management
Jurnal Teknik Lingkungan dan Pengelolaan Limbah

Vol. 1 No. 1, April 2016

ISSN XXXX-XXXX

Pengembangan Kebijakan Integrasi Sistem Manajemen Mutu dan Lingkungan Berkelanjutan: Studi Kasus Kawasan Industri Jababeka, Cikarang, Bekasi (Aris Dwi Cahyanto)	1-14
Kontribusi Emisi Gas Rumah Kaca Oleh Kegiatan Eksplorasi Dan Produksi Minyak dan Gas Pada PT PEP, Indonesia (Agung Ghani Kramawijaya)	15-24
Studi Potensi Penyisihan Organik Pada Efluen Ipal Domestik Dengan Penggunaan <i>Constructed Wetland</i> : Studi Kasus IPAL Bojongsoang, Bandung (Yandes Panelin)	25-34
Analisa Daya Dukung Lahan dan Daya Tampung Air Di Sungai Pudu Kecamatan Mandau Kabupaten Bengkalis Provinsi Riau (Ika Kusmawati)	35-45
Mikroalga Sebagai Bioindikator Kualitas Air Permukaan Studi Awal : Hubungan Antara Konsentrasi Pigmen dan Berat Kering dalam Penentuan Kandungan Mikroalga Pada Sampel Air Artifisial (Rijal Hakiki)	46-54
<i>Application of Ultraviolet (UV) Technology on Water Dechlorination: Influence of UV Fluence Dose and UV Transmittance on Chlorine Removal Efficiency</i> (Maryani Paramita Astuti, Xie Rongjing)	55-63



Journal of Environmental Engineering & Waste Management
Jurnal Teknik Lingkungan dan Pengelolaan Limbah

Building A Lt. 3 President University, Faculty of Engineering
Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang Baru, Bekasi 17550 – Indonesia
Phone./Fax: (021) 8910 9762 / 9768; Email: j-env@president.ac.id
Website: env.president.ac.id (President University: www.president.ac.id)