



# JURNAL

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



# SAINS & TEKNOLOGI LINGKUNGAN



Jurnal Saintek  
Lingkungan UII

Vol. 10 No. 1

Hal.  
01 - 76

Yogyakarta  
Januari 2018

ISSN  
2085-1227



Published by Department of Environmental Engineering

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

## EDITORIAL TEAM

### EDITOR IN CHIEF

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

### EDITORIAL BOARD/REVIEWER

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



Published by Department of Environmental Engineering

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

## PUBLISHER

Department of Environmental Engineering, Universitas Islam Indonesia

## ABOUT JOURNAL

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

## SCOPE OF JOURNAL

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

## PLAGIARISM CHECK

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

## REFERENCE MANAGEMENT

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

## ONLINE SUBMISSION

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

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

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

## ARTICLE PROCESSING CHARGE

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

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

immediate access to the full text versions of the articles.

Published by Department of Environmental Engineering

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

## TABLE OF CONTENT

<b>APLIKASI MEDIA BATU APUNG PADA BIOFILTER ANAEROBIK UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH POTONG AYAM</b> Rhenny Ratnawati, Muhammad Al Kholif	1-14
<b>PEMANFAATAN ALUMINIUM DARI LIMBAH KALENG BEKAS SEBAGAI BAHAN BAKU KOAGULAN UNTUK PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG</b> Muhammad Busyairi, Edhi Sarwono, Arum Priharyati	15-25
<b>PENGARUH PENAMBAHAN KARET REKLIM DARI LIMBAH OUTSOLE TERHADAP SIFAT FISIS DAN SIFAT THERMAL PRODUK OUTSOLE SEPATU (STUDI KASUS DI CV. CARITA NIAGA)</b> Muh. Wahyu Syabani, Fikri Irfani Fauziyyah, Tintin Mutiara	26-40
<b>BIO ADSORBENT SERBUK KAYU NANGKA SEBAGAI PENJERAP ION Pb(II) DARI LARUTAN</b> Tintin Mutiara, Lucky Wahyu Nuzulia Setyaningsih, Muh. Wahyu Syabani, Khairunisa Betariani, Qonita Usthufiya	41-50
<b>FAKTOR PENDORONG KEBERLANJUTAN PENGELOLAAN SAMPAH RUMAH TANGGA BERBASIS MASYARAKAT DI KOTA BALIKPAPAN DAN BOGOR</b> Nino Heri Setyoadi	51-66
<b>INVESTIGATION OF GROUNDWATER POLLUTION BY PETROLEUM HYDROCARBON FROM GAS STATION IN YOGYAKARTA, INDONESIA</b> Suphia Rahmawati, Any Juliani, Wahyuningtyas Perwita Sari, Azkiyatul Bariroh	67-76

## APLIKASI MEDIA BATU APUNG PADA BIOFILTER ANAEROBIK UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH POTONG AYAM

**Rhenny Ratnawati, Muhammad Al Kholif**

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,  
Universitas PGRI Adi Buana (UNIPA) Surabaya  
Jl. Dukuh Menanggal XII Surabaya 60234  
E-mail: ratnawati@unipasby.ac.id

### Abstrak

*Sistem biofilter anaerobik merupakan salah satu alternatif teknologi yang dapat diaplikasikan untuk menangani limbah cair Rumah Potong Ayam (RPA). Penelitian ini bertujuan untuk: 1) mengidentifikasi karakteristik limbah cair RPA dan 2) mengkaji efisiensi penyisihan kadar BOD dan COD dengan sistem biofilter anaerobik menggunakan media batu apung. Penelitian dilaksanakan selama 10 hari dengan adanya variasi volume reaktor yaitu 30 cm x 30 cm x 60 cm, 25 cm x 25 cm x 60 cm, and 20 cm x 20 cm x 60 cm. Penelitian dilaksanakan secara duplo sehingga dibutuhkan 6 buah reaktor yang terbuat dari bahan akrilik. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah nilai suhu, pH, kadar BOD, dan COD limbah cair RPA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar BOD dan COD awal limbah RPA berturut-turut mempunyai nilai 1,65 mg/L dan 2,60 mg/L, dimana nilai ini melebihi baku mutu air limbah menurut Peraturan Gubernur Jatim Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/ atau Kegiatan Usaha Lainnya. Penyisihan kadar BOD pada limbah cair RPA dengan menggunakan reaktor biofilter anaerobik bermedia batu apung sebesar 94%, sedangkan penyisihan kadar COD mencapai 96%.*

**Kata Kunci:** *Biofilter anaerobik, Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Limbah Cair Rumah Potong Ayam (RPA)*

### Abstract

*An anaerobic biofilter system is one of the alternative technologies that can be applied to handle the chicken slaughterhouse. This study aims to: 1) identify the characteristics of chicken slaughterhouse liquid waste and 2) assess the efficiency of removal of BOD and COD content with anaerobic biofilter system using a pumice medium. The study was conducted for 10 days with variation of reactor volume 30 cm x 30 cm x 60 cm, 25 cm x 25 cm x 60 cm, and 20 cm x 20 cm x 60 cm. The research was done in duplo, therefore 6 sets of acrylic material reactor were utilized. The parameters measured in this study were temperature, pH, BOD, and COD of chicken slaughterhouse wastewater. The results showed that BOD and COD levels of initial chicken slaughterhouse waste were 1.65 mg/ L and 2.60 mg/ L, respectively, which exceeded the quality standard of waste water according to East Java Governor Regulation No. 72 of 2013 on Water Quality Standards Waste for Industry and/ or Other Business Activities. The removal of BOD content in chicken slaughterhouse liquid waste by using an anaerobic biofilter bolder with pumice stone was 94%, while COD removal was 96%.*

**Keywords :** *Biofilter anaerobic, Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Wastewater chicken slaughterhouse*

## 1. PENDAHULUAN

Aktivitas pemotongan ayam pada Rumah Potong Ayam (RPA) menghasilkan limbah cair. Limbah ini berasal dari air bekas pembersihan tempat pemotongan dimana didalamnya telah bercampur darah, tulang-tulang kecil, serta air bekas pembersihan isi perut (Tarntip dan Thungkao, 2011). Limbah cair RPA mempunyai kadar bahan organik dan nutrien yang tinggi (Kholif dan Ratnawati, 2017; Ratnawati dan Trihadiningrum, 2014). Selain itu, limbah cair RPA ini mengandung berbagai mikroorganismenya yang kemungkinan bersifat patogen, diantaranya bakteri *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Lysinibacillus fusiformis*, *protozoa*, dan benih gulma (Tarntip dan Thungkao, 2011; Ratnawati dkk., 2016). Limbah cair RPA tersebut belum dikelola dengan baik, biasanya langsung dibuang ke badan air tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. Hal ini menyebabkan pencemaran air permukaan dan tanah. Terlebih isi perut (rumen) dan usus yang terdapat pada limbah cair RPA dapat meningkatkan jumlah padatan pada badan air.

Alternatif teknologi yang dapat diaplikasikan untuk menangani limbah cair RPA cukup beragam. Salah satu teknologi yang sesuai dengan karakteristik limbah adalah sistem biofilter anaerobik. Pengolahan secara anaerobik banyak digunakan untuk pengolahan limbah cair RPA karena mampu menyisihkan bahan organik, biaya operasional rendah, dan pemeliharaan yang relatif mudah. Penelitian terdahulu melaporkan sistem biofilter anaerobik telah berhasil digunakan untuk pengolahan limbah cair RPA adalah Masse dan Masse (2001), Said dan Firly (2005), Said dan Yudo (2006), Amorim dkk. (2007), Sugito (2013), Kholif dan Ratnawati (2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Masse dan Masse (2001) mengolah limbah cair Rumah Potong Hewan (RPH) menggunakan metode *Anaerobic Sequencing Batch Reactors* (ASBRs) dicapai efisiensi penyisihan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 92%. Said dan Firly (2005) menggunakan biofilter anaerobik dengan media sarang tawon diperoleh efisiensi penyisihan kadar Biological Oxygen Demand (BOD) sebesar 89%. Penelitian mengenai rancang bangun Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) RPA dengan proses biofilter anaerobik oleh Said dan Yudo (2006) mampu menyisihkan kadar BOD sebesar 88,79%. Amorim dkk. (2007) menerapkan sistem *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) pada Rumah Potong Unggas dicapai efisiensi penyisihan kadar COD sebesar 80%. Pengembangan reaktor biofilter terpadukan dengan teknologi filtrasi untuk mengolah air limbah domestik menjadi air bersih mampu menyisihkan kadar BOD dan COD masing-masing sebesar 98%

(Sugito, 2013). Kholif dan Ratnawati (2017) menyimpulkan penyisihan beban pencemar limbah cair RPA mencapai 98% menggunakan reaktor biofilter dengan media karbon aktif.

Metcalf dan Eddy (2004) menyatakan bahwa biofilter (*submerged filter*) merupakan reaktor yang dikembangkan dengan prinsip mikroba tumbuh dan berkembang pada suatu media filter dan membentuk lapisan biofilm (*attached growth*). Proses pengolahan air limbah dengan biofilter tercelup dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang didalamnya diisi dengan media penyangga untuk pengembangbiakan mikroorganisme. Proses biologis dalam reaktor biofilter sebagian besar berhubungan dengan komposisi lapisan slime atau biofilm, yang menempel pada permukaan media. Proses pembentukan dan kolonisasi biofilm diawali dengan produksi slime dan kapsul bakteri yang menempel pada permukaan media. Penempelan kemungkinan pada awalnya terjadi karena adanya ikatan kimia dan gaya *Van Der Waals*. Lapisan biofilm yang sudah matang atau terbentuk sempurna akan tersusun dalam tiga lapisan kelompok bakteri, yaitu lapisan paling luar adalah sebagian besar berupa jamur, lapisan tengah adalah jamur dan algae, dan lapisan paling dalam adalah bakteri, jamur dan algae.

Penggunaan teknik anaerobik memberikan suatu penyelesaian dari sisi limbah cair RPA, karena ditinjau dari jumlah komposisi dan konsentrasi pencemarannya sangat sesuai untuk mengolahnya secara anaerobik yang dapat banyak menurunkan tingkat pencemaran tinggi dalam air limbahnya. Pada kondisi anaerobik akan terbentuk gas  $H_2S$  dan jika konsentrasi oksigen terlarut dalam reaktor cukup tinggi maka gas  $H_2S$  yang terbentuk tersebut akan diubah menjadi sulfat ( $SO_4$ ) yang ada dalam biofilm. Selain pada zona aerobik, terjadi proses nitrifikasi, kadar  $NH_4-N$  akan diubah menjadi kadar  $NO_2-N$  dan  $NO_3-N$ . Selanjutnya pada zona anaerobik, kadar  $NO_3-N$  yang terbentuk mengalami proses denitrifikasi menjadi gas  $N_2$  (Rini dkk., 2015).

Penggunaan batuan alami dalam menyisihkan polutan telah banyak diaplikasikan pada pencemar air baku maupun air limbah. Batu apung (*pumice*) adalah jenis batuan yang berasal dari lelehan magma pada lereng gunung api yang kaya akan silika, berwarna abu-abu terang hingga keputihan, mempunyai struktur yang berpori, dan ringan. Batu apung mengandung kapiler-kapiler halus sehingga dapat dijadikan absorben karena dapat mengadsorpsi pada kapilernya. Penggunaan batu apung telah berhasil dilakukan oleh Nurmaliakasih dkk. (2017), Widyaningsih (2016), Sulaiman dkk. (2016). Penelitian ini

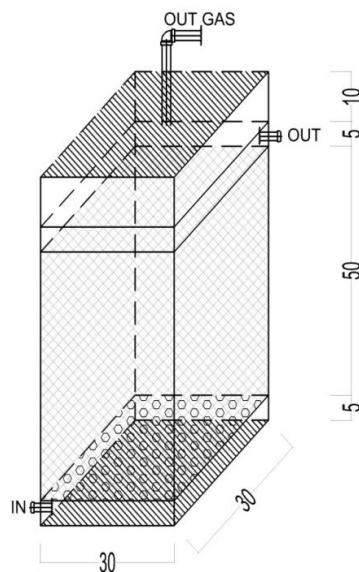
bertujuan untuk: 1) mengidentifikasi karakteristik limbah cair RPA dan 2) mengkaji efisiensi penyisihan kadar BOD dan COD dengan sistem biofilter anaerobik menggunakan media batu apung.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini alat dan bahan yang akan digunakan adalah :

1. Alat berupa reaktor biofilter anaerobik dari akrilik dengan ketebalan 5 mm yang dilengkapi dengan perlengkapan meliputi tandon air dari plastik, pompa, penyangga, pipa PVC dan sambungannya. Jirigen digunakan untuk pengambilan sampel limbah cair RPA. Media batu apung sebagai media yang diletakkan dalam reaktor biofilter anaerobik. Gambar reaktor yang akan digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Reaktor Biofilter Anaerobik  
(Sumber: Kholif dan Ratnawati, 2017)

2. Bahan berupa limbah cair RPA setelah proses pencabutan bulu. Sampel diambil dari RPA daerah Bungurasih Utara, Kecamatan Waru, Kabupaten Sidoarjo. Setiap harinya RPA ini mampu melakukan pemotongan ayam sebanyak 700 hingga 800 ekor dan jika permintaan pasar sedang tinggi bisa mencapai 1000 ekor atau lebih per harinya. Titik pengambilan sampel dilakukan pada drum-drum pencucian ayam setelah bulunya sudah tercabut.



## 2.2 Tahap Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan data tentang efisiensi penyisihan kadar BOD dan COD pada limbah cair RPA maka dilakukan :

1. Analisis karakteristik awal limbah cair RPA. Pengujian ditujukan untuk mengetahui kondisi awal limbah cair RPA sehingga dapat diketahui penyisihan beban organik menggunakan reaktor biofilter anaerobik.
2. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian adalah variasi volume reaktor dengan rincian: 30 cm x 30 cm x 60 cm; 25 cm x 25 cm x 60 cm; dan 20 cm x 20 cm x 60 cm.
3. Pengukuran parameter nilai pH, suhu, kadar BOD, dan COD dilakukan selama 10 hari berturut-turut.
4. Prosedur analisis kadar BOD dilakukan dengan metode winkler, sedangkan kadar COD dengan metode titrimetrik refluks tertutup (Eaton dkk., 2005).

## 2.3 Tahap Analisis Data

Analisis data dilakukan terhadap data yang diperoleh dari hasil analisis parameter, meliputi data penurunan kadar BOD dan COD limbah cair RPA serta parameter lain yang mempengaruhi. Analisis data dimaksudkan untuk mengolah data yang didapatkan selama penelitian untuk ditampilkan dalam bentuk data yang mudah dilihat dan dipahami. Data hasil penelitian yang didapat diolah menjadi bentuk tabel dan grafik sehingga mudah dianalisis. Semua hasil penelitian dilakukan analisis dan pembahasan secara detail sehingga tujuan penelitian dapat tercapai.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Karakteristik Awal Limbah Cair RPA

Hasil karakterisasi awal limbah cair RPA disajikan pada Tabel 5.1. Tabel 5.1 menunjukkan bahwa nilai pH berada pada rentang nilai pH netral, yaitu 7. Nilai pH tersebut berada dalam kisaran nilai pH optimum untuk pertumbuhan mikroorganisme, sehingga mampu menguraikan limbah RPA. Kadar BOD dan COD berturut-turut mempunyai nilai 1.648 mg/L dan 2.603 mg/L, dimana nilai ini melebihi baku mutu air limbah menurut Peraturan Gubernur Jatim No. 72 tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/ atau Kegiatan Usaha Lainnya. Selain kadar bahan organik yang tinggi, kadar *Total Suspended Solid* (TSS) dan amonia (NH<sub>3</sub>) juga melebihi baku mutu yang dipersyaratkan menurut Pergub Jatim No. 72 tahun 2013. Amorim dkk. (2007) menyatakan bahwa limbah cair yang dihasilkan

dari aktifitas kegiatan di RPA menghasilkan limbah dengan konsentrasi bahan organik dan padatan tersuspensi yang tinggi.

**Tabel 3.1** Hasil Karakteristik Awal Limbah Cair RPA

Parameter	Satuan	Baku Mutu*)	Hasil Analisis
Nilai pH	-	6-9	7
Kadar BOD	mg/L	100	1.648
Kadar COD	mg/L	250	2.603
Kadar TSS	mg/L	100	1.210
Kadar NH <sub>3</sub>	mg/L	25	141
Kadar minyak dan lemak	mg/L	25	180

\*) Pergub Jatim Nomor 72 Tahun 2013

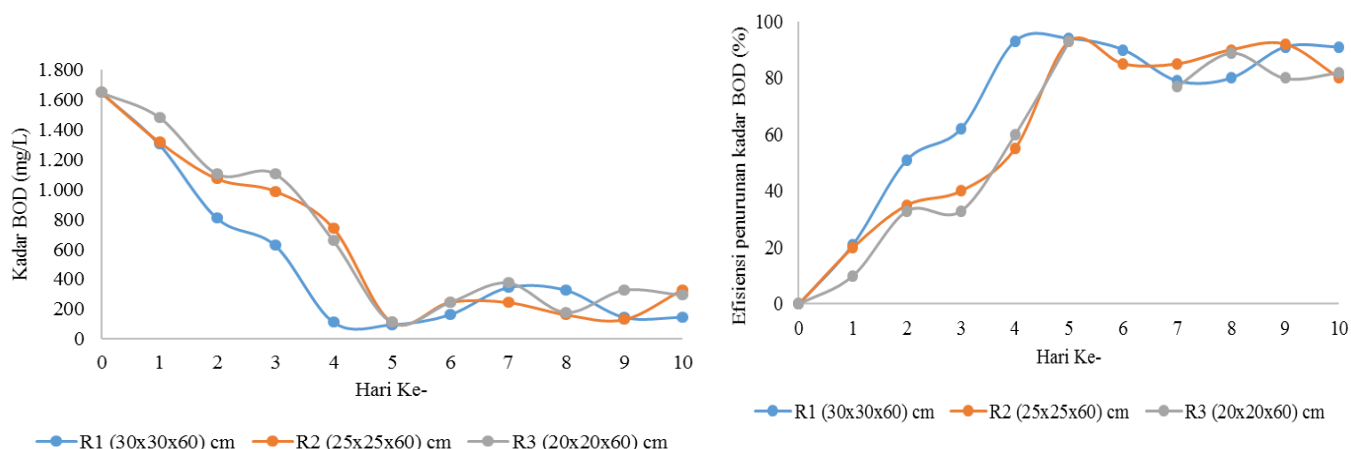
### 3.2 Nilai Suhu dan pH

Secara keseluruhan, nilai suhu yang terjadi selama 6 hari penelitian tersebut berada pada nilai 30°C sampai dengan 44°C. Kisaran suhu tersebut termasuk dalam kisaran suhu mesofilik (20-45°C). Rentang kisaran suhu mesofilik ini berada dalam kondisi optimum untuk penguraian bahan organik. Nilai ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ratnawati dkk. (2011) yang menyatakan bahwa kondisi suhu mesofilik merupakan suhu yang sesuai untuk proses biodegradasi. Selama proses penguraian bahan organik, mikroorganisme akan menguraikan substrat dan menghasilkan panas (Bernal dkk., 2009). Ketersediaan bahan substrat akan menyebabkan mikroorganisme tumbuh subur. Hal ini mengakibatkan mikroorganisme mendegradasi substrat dengan cepat, sehingga terjadi peningkatan suhu. Peningkatan suhu berasal dari energi panas yang dihasilkan mikroorganisme selama proses metabolismenya (Nolan dkk., 2011). Setelah hari ke-6 penelitian, terjadi perubahan nilai suhu. Nilai suhu berfluktuasi, namun cenderung mengalami penurunan. Penurunan nilai suhu ini dapat disebabkan karena bahan organik yang telah habis terdegradasi, sehingga mengakibatkan aktifitas mikroorganisme yang melambat. Guo dkk. (2012) menyatakan bahwa setelah bahan organik habis terdegradasi, suhu akan perlahan-lahan turun.

Dapat diamati selama penelitian berlangsung nilai pH berada dalam kisaran nilai pH netral dengan rentang 6,50-7,50. Nilai pH ini berada pada rentang nilai optimum untuk pertumbuhan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik (BOD dan COD). Ratnawati dkk. (2016) menyimpulkan bahwa nilai pH netral dengan nilai 6-8 merupakan nilai yang optimum untuk pertumbuhan mikroorganisme.

### 3.3 Kadar BOD Limbah Cair RPA

Selama proses pengolahan limbah cair RPA dengan biofilter anaerobik pada ketiga reaktor, hasil penurunan kadar BOD limbah cair RPA disajikan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



**Gambar 3.1** Penurunan Kadar BOD Limbah Cair RPA **Gambar 3.2** Efisiensi Penurunan Kadar BOD Limbah Cair RPA

Berdasarkan Gambar 5.3 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan kadar BOD limbah cair RPA. Pada awal penelitian, kadar bahan organik tersedia dalam jumlah yang besar dan akan berkurang selama proses biologis berlangsung (Ratnawati dkk., 2016). Kadar BOD awal limbah cair RPA adalah 1.648 mg/L. Penurunan kadar BOD terlihat pada awal sampai dengan hari ke-8 penelitian pada ketiga reaktor penelitian. Penurunan kadar BOD tertinggi pada limbah cair RPA terjadi pada hari ke-5 pada ketiga reaktor. Pada reaktor 1 dengan volume reaktor 30x30x60 cm<sup>3</sup>, efisiensi penurunan kadar BOD mencapai 94% pada hari ke-5 dengan kadar BOD adalah 98,88 mg/L (Gambar 5.4). Sedangkan efisiensi penurunan kadar BOD tertinggi yang terjadi pada reaktor 2 (25x25x60 cm<sup>3</sup>) dan 3 (20x20x60 cm<sup>3</sup>) dengan efisiensi penurunan kadar BOD mencapai 88%, dengan kadar BOD adalah 115,36 mg/L (hari ke-5 penelitian).

Penurunan kadar BOD ini menunjukkan bahwa mikroorganisme bekerja pada kondisi yang optimum dalam menguraikan bahan organik yang ada pada limbah cair RPA (Kholif dan Ratnawati, 2016). Hal senada juga disimpulkan oleh Nolan dkk. (2011) yang menyatakan bahwa penurunan kadar BOD di awal penelitian berada pada fase aktif, dimana pertumbuhan mikroorganisme dan ketersediaan bahan

organik tinggi sehingga aktifitas mikroorganisme untuk mendegradasikan bahan organik ikut meningkat. Cooperband (2002) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa saat sejumlah makanan (bahan organik), nutrien, air, dan udara tersedia, maka mikroorganisme akan bekerja cepat dalam mendegradasi material organik. Penurunan parameter limbah sangat bergantung pada aktivitas organisme dalam menyerap unsur hara, oleh karena itu semakin lama waktu pemaparan maka semakin besar materi organik yang tereliminasi melalui mekanisme biodegradasi (Dhamayanthie, 2000). Proses oksidasi yang dilakukan oleh mikroorganisme menyebabkan adanya penurunan bahan organik pada air limbah. Bakteri heterotrof yang ada pada limbah cair RPA dalam proses metabolismenya mengubah unsur-unsur dalam limbah menjadi bahan organik. Penurunan konsentrasi bahan organik juga terjadi karena digunakan sebagai sumber nutrien untuk pertumbuhan oleh mikroorganisme.

Selain itu, media batu apung dalam reaktor biofilter anaerobik juga memiliki sifat adsorpsi sehingga mampu menyerap polutan baik zat organik maupun anorganik (Nurmaliakasih dkk., 2017). Molekul-molekul yang terkandung dalam air limbah akan menempel pada permukaan adsorben (media batu apung) akibat adanya proses kimia dan fisika sehingga terjadi proses difusi adsorben melalui pori-pori adsorben. Molekul polutan yang ada pada air limbah akan terserap pada bagian luar adsorben, kemudian bergerak ke pori-pori, dan selanjutnya masuk ke dinding bagian dalam. Penyerapan molekul-molekul polutan dalam pori-pori inilah yang akan menyebabkan terjadinya penyisihan kadar zat organik dalam air limbah (Widyaningsih, 2016).

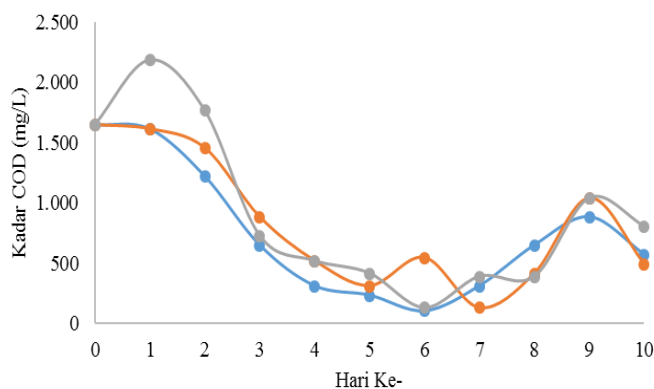
Pada hari ke-8 dan ke-9 terlihat terjadi peningkatan kadar BOD pada ketiga reaktor. Peningkatan kadar BOD ini dapat terjadi karena adanya kematian pada mikroorganisme. Hal ini dapat disebabkan semakin berkurangnya nutrien dalam air limbah dan adanya pengaruh dari kadar senyawa kompleks yang sudah tidak dapat diuraikan, sehingga mikroorganisme tidak mampu lagi untuk melakukan proses penyisihan air limbah (Ratnawati dkk., 2011). Kematian mikroorganisme inilah yang mengakibatkan zat-zat organik yang telah terserap sebelumnya menjadi terlepas kembali, serta adanya mikroorganisme yang telah mati tersebut juga menambah kadar bahan organik dalam reaktor sehingga nilai konsentrasi BOD menjadi meningkat.

Jika dilihat dari variasi volume pada ketiga reaktor, terlihat bahwa efisiensi penurunan kadar BOD paling tinggi terjadi pada reaktor 1 ( $30 \times 30 \times 60 \text{ cm}^3$ ), yaitu sebesar 94%. Walaupun demikian, dapat diamati bahwa efisiensi penurunan kadar BOD tersebut tidak terjadi signifikan apabila dibandingkan

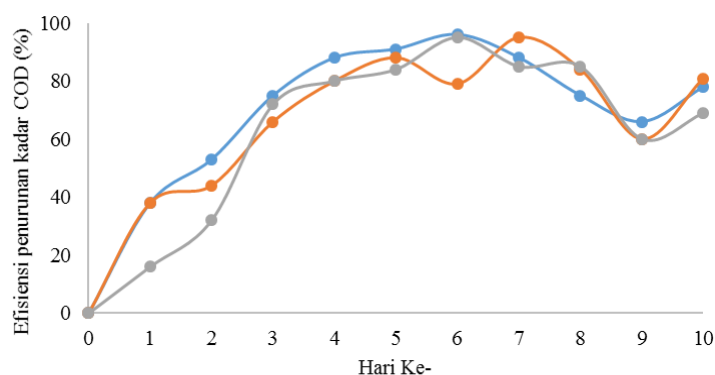
dengan kedua reaktor lain dengan ukuran reaktor 25x25x60 cm<sup>3</sup> (reaktor 2) dan 20x20x60 cm<sup>3</sup> (reaktor 3). Reaktor 2 dan 3 mempunyai nilai efisiensi penurunan kadar BOD sebesar 93%. Metcalf dan Eddy (2004) menyatakan bahwa semakin besar volume reaktor yang digunakan, maka semakin tinggi pula efisiensi penurunan kadar organik yang dihasilkan. Penelitian yang dilakukan oleh Said (2005) dapat disimpulkan bahwa dengan ukuran reaktor 130x25x50 cm<sup>3</sup> efisiensi penurunan kadar BOD yang dihasilkan adalah 85-92%. Sugito dan Kholif (2016) menyimpulkan bahwa biofilter dengan media bioball dan pecahan batu kali mampu menyisihkan kadar BOD pada limbah cair RPA dengan efisiensi mencapai 95%.

### 3.4 Kadar COD Limbah Cair RPA

Hasil penurunan kadar COD limbah RPA menggunakan biofilter anaerobik media batu apung disajikan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4. Berdasarkan Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 dapat diamati bahwa terjadi penurunan kadar COD pada limbah cair RPA. Penurunan kadar COD terlihat pada awal penelitian sampai dengan hari ke-6 penelitian, kemudian kadar COD mengalami nilai yang berfluktuasi sampai dengan akhir penelitian.



— R1 (30x30x60) cm — R2 (25x25x60) cm — R3 (20x20x60) cm



— R1 (30x30x60) cm — R2 (25x25x60) cm — R3 (20x20x60) cm

**Gambar 3.3** Penurunan Kadar COD Limbah Cair RPA **Gambar 3.4** Efisiensi Penurunan Kadar COD limbah Cair RPA

Kadar COD awal limbah RPA pada ketiga reaktor adalah 1.648 mg/L. Penurunan kadar COD tertinggi pada reaktor 1 terjadi pada hari ke-6 dengan nilai 104,12 mg/L, tingkat efisiensi penurunannya mencapai 96%. Sedangkan reaktor 2 dan 3 mempunyai penurunan kadar COD tertinggi pada hari ke-7 dan ke-8 dengan nilai 130,15 mg/L. Efisiensi penurunan kadar COD pada reaktor 2 dan 3 bernilai 95%.

Penurunan kadar COD pada limbah cair RPA disebabkan oleh mikroorganisme menguraikan substrat yang ada pada limbah cair RPA. Pada awal proses penguraian, mikroorganisme membutuhkan waktu untuk beradaptasi dengan lingkungan  $\pm$  6-12 jam. Setelah itu mikroorganisme akan tumbuh subur karena ketersediaan makanan (*substrat*) dan mulai mendegradasi substrat dengan cepat (Cooperband, 2002). Peningkatan suhu berasal dari energi panas yang dihasilkan mikroorganisme selama proses metabolismenya. Selama fase aktif (*active phase*) ini mikroorganisme akan cepat mendegradasi bahan organik dari kelompok karbohidrat, lemak dan asam amino (Nolan dkk., 2011). Saat ketersediaan makanan berkurang karena proses degradasi, maka aktivitas mikroorganisme juga akan berkurang. Berkurangnya aktivitas mikroorganisme ini menghasilkan penurunan suhu dari termofilik menjadi mesofilik pada fase selanjutnya (*curing phase*). Mikroorganisme yang muncul pada fase ini adalah bakteri, jamur dan *Actinomycetes* yang mendegradasi bahan organik dari kelompok selulose, hemiselulose, dan lignin menjadi humus (Nolan dkk., 2011; Tchobanoglous dkk., 1993). Efisiensi degradasi bahan organik akan terus menurun selama proses akibat reduksi pada ketersediaan sumber karbon dan polimerisasi komponen organik selama fase maturasi (Cooperband, 2002).

Selain itu, penggunaan media batu apung pada biofilter anaerobik juga berperan dalam penurunan beban organik dalam limbah cair RPA. Widyaningsih (2016) melaporkan bahwa batu apung merupakan salah satu adsorben yang mempunyai sifat mengikat molekul dalam cairan pada permukaannya. Nurmaliakasih dkk. (2017) menyimpulkan bahwa efisiensi penyisihan COD sebesar 33% menggunakan media batu apung pada limbah cair industri karet dengan waktu tinggal selama 25 menit.

Setelah mencapai penurunan kadar COD tertinggi, rata-rata kadar COD di masing-masing reaktor mengalami fluktuasi kadar COD sampai dengan akhir penelitian. Selama proses biologis, kadar karbon dapat mengalami perubahan yang fluktuatif yang dapat disebabkan oleh bakteri yang mengalami kematian. Bakteri yang mengalami kematian tidak mendegradasi bahan organik tetapi terakumulasi sebagai organik sehingga kadar COD meningkat (Cooperband, 2002). Di akhir penelitian, kadar COD akhir reaktor 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 572,66 mg/L; 494,57 mg/L; dan 806,93 mg/L. Sugito dkk. (2016) menyimpulkan bahwa biofilter dengan media bioball dan pecahan batu kali mampu menyisihkan kadar COD pada limbah cair RPA dengan efisiensi mencapai 96%.

Sama halnya dengan penurunan kadar BOD, terlihat bahwa perbedaan ukuran dan volume reaktor tidak berbeda jauh pada penurunan kadar COD limbah cair RPA. Efisiensi penurunan kadar COD pada reaktor 1 (30x30x60 cm<sup>3</sup>), 2 (25x25x60 cm<sup>3</sup>), dan 3 (20x20x60 cm<sup>3</sup>) berturut-turut adalah 96%, 95%, dan 95%. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi perbedaan ukuran dan volume reaktor yang diberikan tidak mempengaruhi penurunan kadar COD pada limbah cair. Said (2005) menyatakan bahwa dengan ukuran reaktor 130x25x50 cm<sup>3</sup> mempunyai nilai efisiensi penurunan kadar COD yang dihasilkan mencapai 85-92%.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kadar BOD dan COD limbah RPA berturut-turut mempunyai nilai 1.648 mg/L dan 2.603 mg/L, dimana nilai ini melebihi baku mutu air limbah menurut Peraturan Gubernur Jatim No. 72 tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/ atau Kegiatan Usaha Lainnya.
2. Penyisihan kadar BOD pada limbah cair RPA dengan menggunakan reaktor biofilter anaerobik bermedia batu apung sebesar 94%, sedangkan penyisihan kadar COD mencapai 96%.
3. Biofilter anaerobik memiliki peranan yang penting dalam menurunkan beban pencemar pada limbah cair RPA. Oleh karena itu biofilter anaerobik sangat cocok untuk diterapkan pada pengolahan limbah yang memiliki beban pencemar yang tinggi seperti pada limbah cair RPA. Kedepannya diharapkan industri RPA dapat membangun IPAL dengan konsep teknologi biofilter anaerobik karena kemampuannya dalam mengolah limbah dengan beban pencemar yang tinggi.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Universitas Adi Buana Surabaya melalui Hibah Adi Buana Tahun Anggaran 2016, kontrak No. 020.2.7/LPPM/I/2017. Terima kasih kepada Rodhi Khoirul Habibi yang membantu penelitian ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

Amorim A.K.B, De Nardi I.R, dan Del Nery V. (2007), *Water Conservation and Effluent Minimization: Case Study of a poultry Slaughterhouse*. Resources, Conservation and Recycling, 51: 93-100.

- Bernal, M.P., Alburquerque, J.A. dan Moral, R. (2009), *Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assessment, A Review*. *Bioresource Technology*, 100: 5444-5453.
- Cooperband, L. (2002), *The Art and Science of Composting, A Resource for Farmers and Compost Producers, Center for Integrated Agriculture Systems*. University of Wisconsin-Madison.
- Dhamayanthie, I. (2000), *Pengolahan Limbah Cair Industri Textile dengan Proses Anaerob*. Thesis Master, Program Studi Teknik Kimia, Program Proses Sarjana ITB Bandung.
- Eaton, Andrew D., Clesceri, Lenore S., dan Greenberg, Arnold E. (2005), *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. 21<sup>th</sup> edition, American Public Health Association, Washington.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., dan Shen, Y. (2012), *Effect of Aeration Rate, C/N Ratio and Moisture Content on The Stability and Maturity of Compost*, *Bioresource Technology*, 112: 171-178.
- Kholif, M.A., dan Ratnawati, R. (2016), *Removal Ammonia (NH<sub>3</sub>) in Industrial Chicken Slaughterhouse by Anaerobic Biofilter*, Prosiding Seminar Internasional the 1st Seminar on Environment and Health Toward SDG's Achievement 2030 Integration System on Environment and Health Sustainability. Hal. 171-179, Surabaya.
- Kholif, M.A., dan Ratnawati, R. (2017), *Pengaruh Beban Hidrolik Media dalam Menurunkan Senyawa Ammonia pada Limbah Cair Rumah Potong Ayam (RPA)*. *Jurnal Waktu*, 15 (1): 1-9.
- Masse, D.I., dan Masse, L. (2001), *The Effect of Temperature on Slaughterhouse Wastewater Treatment in Anaerobic Sequencing Batch Reactors*. *Bioresour. Technol.* 76: 91-98.
- Metcalf, and Eddy. (2004), *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. Inc. Fourth Edition, International Edition. McGraw - Hill Companies, Inc. New York.
- Nolan, T., Troy, S.M., Healy, M.G., Kwapinski, W., Leahy, J.J. dan Lawlor, P.G. (2011), *Characterization of Compost Produced from Separated Pig Manure and Variety of Bulking Agents at Low Initial C/N Ratios*, *Bioresource Technology*, 102: 7131-7138.
- Nurmaliakasih, D. Y., Syakur, A., dan Zaman, B. (2017), *Penyisihan COD dan BOD Limbah Cair Industri Karet dengan Sistem Horizontal Roughing Filtration (HRF) dan Plasma Dielectric Barrier Discharge (DBD)*. *Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang*, 6 (1): 1-12.



- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 tahun 2013, *Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya*.
- Ratnawati R., dan Trihadiningrum Y. (2014), *Slaughterhouse solid waste management in Indonesia*. Journal of Biological Researches, 19: 69-73.
- Ratnawati, R., Slamet, A., dan Hermana J. (2011), *Efek Penambahan Unsur Kalium dan Aerasi terhadap Kinerja Alga-Bakteri untuk Mereduksi Polutan pada Air Boezem Morokrembangan, Surabaya*. Prosiding Seminar Nasional VIII Teknik Lingkungan ITS dan Seminar Nasional VII Ikatan Alumni Teknik Penyehatan Indonesia (IATPI), Surabaya.
- Ratnawati, R., Trihadiningrum, Y., dan Juliastuti, SR. (2016), *Composting of Rumen Content Waste Using Anaerobic-Anoxic-Oxic (A<sup>2</sup>O) Methods*. Journal of Solid Waste Technology and Management. 42 (2): 98-106.
- Rini, IDWS., Ratnawati, R., dan Trihadiningrum, Y. (2015), *Pola Perubahan Kadar N-anorganik pada Proses Pengomposan Limbah Padat Rumah Potong Hewan dengan Sistem Aerobik*. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXII, hal. A-49-1 s/d A-49-8.
- Said, N. I. (2005), *Aplikasi Bio-ball untuk Media Biofilter Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean*, JAI. 1 (1): 1-11.
- Said, N. I. dan Firly. (2005), *Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam*. Jurnal Air Indonesia, 1 (3): 1-6.
- Said, N. I., dan Satmoko Y. (2006), *Rancang Bangun Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Hewan (RPH) Ayam dengan Proses Biofilter*. Jurnal Air Indonesia, 2 (1): 22-29.
- Sugito (2013), *Pengembangan Reaktor Biofilter Terpadukan dengan Teknologi Filtrasi untuk Mengolah Air Limbah Domestik menjadi Air Bersih*. Jurnal WAHANA, 59 (2): 37-43.
- Sugito, Karunia, B. D., dan Kholif, M. A. (2016), *The effect of BOD Concentrate influent to Remove Pollutant Load in Wastewater of a Chicken Slaughterhouse*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 11 (5): 3519-3524.
- Sulaiman, F., Satrio, P., dan Wahyudin (2016), *Analisis Kinerja Biofilter Media Kerikil dan Batu Apung untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu*. Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

- Tarntip. R., dan Thungkao, S. (2011), *Isolation of Proteolytic, Lipolytic, and Bioemulsifying Bacteria for Improvement of the Aerobic Treatment of Poultry Processing Wastewater*. *Afr. J. Microbiol. Rsc* 5 (2): 30-35.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., dan Vigil, S.A. (1993), *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*, McGraw Hill, International Editions, New York.
- Widyaningsih, T. S. (2016), Breksi Batu Apung sebagai Alternatif Teknologi Tepat Guna untuk Menurunkan Kadar TSS dan BOD dalam Limbah Cair Domestik. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 8 (2): 194-201.

## PEMANFAATAN ALUMINIUM DARI LIMBAH KALENG BEKAS SEBAGAI BAHAN BAKU KOAGULAN UNTUK PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG

**Muhammad Busyairi, Edhi Sarwono dan Arum Priharyati**

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman.

Jalan Sambaliung No.9 Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia

E-mail: busyairi22@gmail.com

### Abstrak

*Kaleng bekas merupakan salah satu sampah anorganik yang perlu daur ulang. Pemanfaatan kandungan aluminium pada kaleng menjadi koagulan merupakan alternatif pengelolaan sampah anorganik kaleng bekas. Air asam tambang atau Acid Mine Drainage merupakan air yang terbentuk di lokasi penambangan batubara dengan nilai pH yang rendah ( $pH < 4$ ). Koagulan yang berasal dari kaleng bekas dapat digunakan untuk pengolahan air asam tambang dengan parameter TSS, Fe, Mn, serta pH. Tujuan penelitian untuk mengetahui dosis optimum dan efisiensi dari koagulan  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  pada pengolahan air asam tambang dengan parameter TSS, Fe, Mn dan pH. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental deskriptif. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah dosis koagulan yaitu 1 gr, 1,5 gr dan 2 gr, masing-masing dari koagulan dari kaleng bekas dan koagulan Aluminium Sulfat (koagulan komersial) sebagai pembanding. Variabel terikat adalah air asam tambang dengan parameter TSS, logam berat Besi (Fe) dan Mangan (Mn), serta pH. Variabel Kontrol Kaleng bekas yang digunakan dalam 1 kali pembuatan seberat 2 gr, pelarut KOH 10% sebanyak 20 ml, pereaksi  $H_2SO_4$  7M sebanyak 12 ml, alkohol 50% sebanyak 20 ml. Pembuatan koagulan dengan pelarut KOH 10%, penambahan pereaksi  $H_2SO_4$  7M terhadap jumlah  $K[Al(OH)_4]$  dan percobaan dengan Jar Test secara Batch dengan pengadukan cepat 100 rpm selama 1 menit, dilanjutkan pengadukan lambat 50 rpm selama 20 menit dan proses sedimentasi selama 15 menit di kerucut imphof hingga flok-flok yang terbentuk mengendap. Kemudian pisahkan air limbah dengan dari flok-flok yang terbentuk untuk selanjutnya dianalisis pada laboratorium sesuai dengan parameter yang diamati. Konsentrasi awal limbah air asam tambang yaitu TSS=632 mg/l, Fe=22,04 mg/l dan Mn=19,10 mg/l serta pH=2,54. Hasil penelitian diperoleh hasil dosis optimum sebanyak 1,5 gram koagulan ( $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ) yang dari kaleng bekas dapat menurunkan TSS=237,2 mg/l (62,47%), logam Fe=19,15 mg/l (13,13%) dan Mn=12,32 mg/l (35,49%) serta perubahan nilai pH menjadi= 2,62 (3,06%).*

**Kata Kunci:** Kaleng Bekas, Koagulan, Air Asam Tambang

### Abstract

*The used tin can is one of solid inorganic waste that needs to be recycled. One of the alternatives for the management of this waste is by extracting the coagulant contained in it. Acid mine drainage is water formed in the mining area, characterized by a low pH value ( $< 4$ ). The coagulant extracted from the used tin cans can be used to treat acid mine drainage. This research aims at investigating the optimum coagulant dosage and the efficiency of coagulant  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  in treating acid mine drainage. The studied parameters are TSS, Fe, Mn, and pH. The method used in*

Dikirim/submitted: 08 November 2017

Diterima/accepted: 27 Desember 2017

*this research is descriptive experimental. The coagulant dosages were: 1 g, 1.5 g, and 2 g. The commercial coagulant, aluminum sulphate, was used as a comparison. To extract the coagulant from the used tin can, 2 g of previously washed used tin can pieces were added by 20 mL of 10% KOH. The addition of KOH will cause the formation of bubbles. When no more bubble formed, the solution was filtered and the filtrate was added by 12 mL of 7M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. The precipitate(coagulant) formed was then washed using 50% ethanol, and oven dried at 70-80°C for 1 h. The efficiency of the coagulant extracted from used tin cans in treating acid mine drainage was studied by jar test using batch method. The coagulant extracted from used tin cans reduced the TSS value of acid mine drainage up to 62.47%, Fe content up to 13.13%, Mn content up to 35.49% and slightly increased the pH value from 2.54 to 2.62. In this research, the optimum dosage of coagulant was 1.5 g.*

**Keywords :** *Used tin cans, coagulant, acid mine drainage*

## 1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan bahan yang terbuang atau dibuang dari sumber hasil aktifitas manusia maupun alam yang belum memiliki nilai ekonomis. Meningkatnya jumlah dan aktivitas penduduk di wilayah perkotaan menghasilkan volume sampah yang semakin meningkat. Menurut Marliani (2014), sampah anorganik ialah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan non-hayati baik berupa produk sintetik maupun hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang atau sumber daya alam dan tidak dapat diuraikan oleh alam (botol plastik, tas plastik, dan kaleng).

Pemanfaatan sampah kaleng bekas minuman ringan (*soft drink*) yang berbahan dasar aluminium, dapat diambil kembali kandungan alumuniumnya untuk dijadikan aluminium sulfat (koagulan). Kaleng-kaleng bekas tersebut dapat dimanfaatkan dengan mengekstrak kandungan aluminiumnya menjadi tawas yang kemudian digunakan sebagai penjernih air (Irfan dan Ramdhani, 2014). Kandungan aluminium dalam kaleng bekas juga memberi peluang untuk diolah menjadi bahan koagulan penjernih air atau bahan dalam *deodorant* (Syaiful dkk., 2014). Kandungan alumunium pada kaleng bekas yang banyak, maka makin banyak tawas yang dapat dihasilkan atau terbentuk (Manurung dan Ayuningtyas, 2010).

Pertambangan merupakan suatu kegiatan yang berhubungan dengan lingkungan. Salah satu dampak dari proses penambangan adalah timbulnya air asam tambang (AAT). Timbulnya air asam tambang memiliki dampak yang besar bagi kelestarian lingkungan maupun masyarakat sekitar baik secara langsung maupun tidak langsung (Anshariah dkk., 2015). Faktor pembentukan AAT yang dominan adalah mineral sulfida yang reaktif, oksigen dan air. Air asam tambang yang timbul akibat dari

kegiatan penambangan sangat berpengaruh buruk terhadap lingkungan (Afrianty dkk., 2012). Pada sistem pertambangan terbuka sangat berpotensi terbentuk air asam tambang karena sifatnya berhubungan langsung dengan udara bebas sehingga faktor-faktor yang dapat membentuk air asam tambang akan semakin mudah bereaksi (Samudro dan Sumiyati, 2010). Kualitas fisika pada air limbah tambang batubara adalah kekeruhan, suspended solid merupakan bagian dari total zat padat/solid sekitar 40% dalam keadaan terapung, zat padat tersuspensi dapat mengembang dan dapat membentuk tumpukan lumpur yang berbau bila dibuang (Effendi, 2003).

Salah satu cara untuk mengurangi pencemaran air asam tambang dengan melakukan pengolahan menggunakan koagulan dan proses koagulasi dan flokulasi. Koagulan merupakan bahan kimia kalium aluminium sulfat ( $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ). Beberapa bahan alternatif dapat dikembangkan sebagai pengganti koagulan. Asumsi dari 1 gr kaleng aluminium bekas dengan kadar aluminium 83,96% menghasilkan tawas sebanyak 14,8990 gr dengan konsentrasi yang digunakan adalah 30% pemanasan  $70^\circ C$  selama 30 menit dan konsentrasi  $H_2SO_4$  8M serta pengeringan  $50^\circ C$  (Purnawan dan Ramadhani, 2014).

Oleh karena itu, untuk mengurangi jumlah sampah anorganik, khususnya kaleng minuman bekas, dapat dilakukan proses daur ulang. Sehingga dalam penelitian ini akan memanfaatkan kandungan aluminium dari kaleng minuman bekas sebagai bahan pembuatan tawas ( $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ) yang kemudian digunakan untuk pengolahan air asam tambang sehingga dapat menurunkan kadar TSS, logam berat Fe dan Mn dalam air asam tambang. Tujuan penelitian untuk mengetahui dosis optimum dan efisiensi dari koagulan  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  yang berasal dari limbah kaleng bekas pada pengolahan air asam tambang dengan parameter TSS, Fe, Mn dan pH.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode experimental deskriptif. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah dosis koagulan yaitu 1 gr, 1,5 gr dan 2 gr, masing-masing dari koagulan dari kaleng bekas dan koagulan aluminium sulfat (koagulan komersial) sebagai pembanding. Variabel terikat adalah parameter TSS, logam berat Besi (Fe) dan Mangan (Mn), serta pH air asam tambang yang berasal dari perusahaan tambang batubara di Samarinda. Variabel kontrol kaleng bekas yang digunakan dalam 1 kali pembuatan seberat 2 gr, pelarut KOH 10% sebanyak 20 ml, pereaksi  $H_2SO_4$  7M sebanyak 12 ml, Alkohol 50% sebanyak 20 ml.

### 2.1. Penentuan Kandungan Logam Aluminium dalam Kaleng Bekas

Disiapkan 2 merk kaleng bekas, yang digunakan kaleng bekas *Pocari Sweat* dan kaleng bekas *Coca-Cola*. Kemudian bersihkan kaleng *Pocari Sweat* dan kaleng bekas *Coca-Cola* dengan menggunakan amplas untuk menghilangkan warna dan lapisan plastiknya di bagian luar dan dalam kaleng. Kaleng kemudian dicuci dengan air bersih agar sisa amplas yang masih melekat pada kaleng dapat dihilangkan. Kaleng bekas yang sudah dibersihkan kemudian dipotong sebesar 0,5 cm. Potongan-potongan kaleng bekas ditimbang sekitar 2,0 g dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 ml. Kemudian ditambahkan HCl sebanyak 50,0 ml ke dalam erlemeyer dan dipanaskan di atas *hotplate*. Proses pemanasan dihentikan sampai gelembung-gelembung gas hilang. Perlakuan yang sama untuk kedua jenis kaleng. Reaksi dinyatakan selesai apabila gelembung-gelembung gas menghilang.

Larutan tersebut disaring lalu didinginkan dan dipipet sebanyak 10,0 ml ke dalam labu ukur 100,0 ml kemudian diencerkan dengan air suling hingga tanda batas. Selanjutnya larutan tersebut dianalisis kandungan logam-logamnya seperti Aluminium dengan AAS ( $\lambda=309,3$  nm). Diperlukan analisis kandungan aluminium untuk menentukan potensi kandungan aluminium yang cukup untuk digunakan dalam pembuatan tawas.

### 2.2. Pembuatan Koagulan dengan Pelarut KOH 10%

Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa kaleng bekas tersebut memiliki kandungan aluminium yang cukup untuk dijadikan bahan baku pembuatan koagulan. Kemudian kaleng tersebut dilakukan penambahan bahan kimia untuk dijadikan koagulan (kalium aluminium sulfat).

Disiapkan kaleng bekas dengan kadar aluminium tertinggi dari penelitian pendahuluan kemudian dibersihkan dengan menggunakan amplas untuk menghilangkan warna dan lapisan plastiknya. Kaleng bekas yang sudah dibersihkan kemudian digunting menjadi bagian yang kecil. Potongan-potongan kaleng bekas ditimbang masing-masing sekitar 2,0 g dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian ditambahkan KOH 10% sebanyak 20 ml dengan waktu 50 menit.

Pada waktu reaksi tidak dilakukan pemanasan karena reaksi KOH dan kaleng bekas sudah berjalan secara eksotermis, menghasilkan kalor. Reaksi dinyatakan selesai setelah gelembung-gelembung gas menghilang. Kemudian disaring dengan kertas saring, filtrat yang dihasilkan berwarna bening.

### 2.3. Penambahan Pereaksi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 7M

Filtrat dipipet sebanyak 12 ml ke dalam beaker gelas 250 ml dan ditambahkan dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 7 M. Penambahan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada filtrate akan menyebabkan terbentuknya gumpalan putih pada larutan. Filtrat didinginkan di dalam *freezer* selama 1 jam. Kristal tawas yang terbentuk ditambahkan dengan 20 ml alkohol 50%, kemudian dipisahkan dengan corong *Büchner*. Endapan dikeringkan dengan menggunakan oven selama 1 jam pada suhu 70-80°C, setelah kering kemudian ditimbang sampai beratnya konstan.

### 2.4. Percobaan dengan *Jar Test secara Batch*

Percobaan dengan metode *batch* dilakukan dengan menggunakan variasi jumlah dosis koagulan yaitu 1 gr, 1,5 gr dan 2 gr. Air asam tambang sebanyak 250 ml dimasukkan ke dalam gelas beaker 600 ml, kemudian diaduk menggunakan *jar test* dengan pengadukan cepat 100 rpm selama 1 menit, dilanjutkan pengadukan lambat 50 rpm selama 20 menit dan proses sedimentasi selama 15 menit di kerucut *imphof* hingga flok-flok yang terbentuk mengendap. Kemudian air limbah dipisahkan dengan flok-flok yang terbentuk untuk selanjutnya dianalisis sesuai dengan parameter yang diamati.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Karakteristik Koagulan dari Limbah Kaleng Bekas

Hasil penentuan kandungan aluminium pada kaleng bekas adalah kaleng bekas merk *Pocari Sweat* sebanyak 6026 mg/l dan merk *Coca-Cola* 3605 mg/l. Berdasarkan dari hasil tersebut, maka dilanjutkan sintesis koagulan kalium aluminium sulfat menggunakan limbah kaleng bekas dari merk *Pocari Sweat* sebagai bahan baku koagulan untuk pengolahan air asam tambang dengan parameter TSS, Fe dan Mn serta pH. Tabel 1 menunjukkan perbandingan karakteristik koagulan dari kaleng bekas (merk *Pocari Sweat*) dengan koagulan aluminium sulfat (tawas komersial);

**Tabel 1.** Karakteristik Koagulan dari Limbah Kaleng Bekas

Karakteristik	Kalium Aluminium Sulfat (Koagulan dari Kaleng Bekas)	Aluminium Sulfat (Tawas Komersial)
Formula	KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .12H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .14H <sub>2</sub> O
Bentuk Fisik	Kristal	Bubuk
Bau	Tidak berbau	Tidak berbau
pH	3,5	3,5

(sumber: data primer, 2016)

### 3.2. Pengujian Koagulan dari Kalium Aluminium Sulfat terhadap Air Asam Tambang

Koagulan  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  yang dihasilkan dari limbah kaleng bekas diujikan terhadap air limbah atau air asam tambang yang berasal dari lokasi penambangan batubara (Pit 7 Seam 88). Hasil uji karakteristik awal/sebelum pengolahan air asam tambang diperoleh nilai TSS 632 mg/l, Fe 22,04 mg/l, Mn 19,10 mg/l dan pH 2,54 (asam). Dosis koagulan yang digunakan adalah 1 gr, 1,5 gr dan 2 gr dengan pengadukan cepat 100 rpm selama 1 menit, pengadukan lambat 50 rpm selama 20 menit dan proses pengendapan pada imhoff selama 15 menit. Berikut ini hasil masing-masing dari hasil pengujian;

*Nilai TSS (Total Suspended Solid)*

Berdasarkan pada Tabel 2. terlihat bahwa penambahan koagulan dengan variasi dosis memberikan pengaruh terhadap penurunan nilai TSS pada air asam tambang.

**Tabel 2.** Hasil Analisis TSS (*Total Suspended Solid*)

Dosis Tawas	Konsentrasi Awal (mg/l)	Konsentrasi Sesudah dilakukan Pengolahan (mg/l)			Rerata (mg/l)
		Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	
1 gram	632	293,3	273,3	256,7	274,43
1,5 gram		250	233,3	228,3	237,2
2 gram		220	213,3	195	209,43

(sumber; Data primer 2016)

Dosis optimum untuk koagulan dari kaleng bekas adalah 2 gr, dengan penurunan TSS yang lebih baik dari pada dosis 1 gr dan 1,5 gr. Hal ini membuktikan bahwa dengan bertambahnya dosis maka penurunan TSS juga akan semakin tinggi.

*Nilai Besi(Fe) dan Mangan (Mn)*

Hasil pengujian penambahan koagulan  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  (kalium aluminium sulfat) pada air asam tambang untuk parameter Fe dan Mn pada Tabel 3 berikut;



**Tabel 3.** Hasil Analisis Nilai Besi (Fe) dan Mangan (Mn)

Dosis Tawas	Konsentrasi Awal (mg/l)	Konsentrasi Sesudah dilakukan Pengolahan (mg/l)			Rerata (mg/l)
		Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	
<b>Analisa Nilai Fe (Besi)</b>					
1 gram	22,04	18,41	18,93	19,5	18,95
1,5 gram		18,29	20,52	18,61	19,15
2 gram		18,91	19,67	19,81	19,46
<b>Analisa Nilai Mn (Mangan)</b>					
1 gram	19,10	14,42	13,92	12,74	13,69
1,5 gram		12,53	12,47	11,96	12,32
2 gram		11,94	12,06	12,79	12,26

(sumber; Data primer 2016)

Berdasarkan dari hasil uji laboratorium untuk logam berat Fe dan Mn adalah dosis tawas 1 gram merupakan penurunan nilai Fe yang terbaik dari 22,04 mg/l menjadi 18,95 mg/l, sedangkan dosis tawas 2 gram merupakan penurunan nilai Mn yang terbaik dari 19,10 mg/l menjadi 12,26 mg/l. Penurunan logam besi terjadi karena adanya pertukaran ion-ion antara fase padatan dan fase cairan. Penurunan logam berat Fe dan Mn juga terjadi karena adanya presipitasi kimia dimana unsur logam diubah dari muatan ion menjadi partikulat oleh koagulan terendapkan.

#### Nilai pH

Penambahan koagulan  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  (kalium aluminium sulfat) pada air asam tambang dengan variasi dosis memberikan pengaruh terhadap nilai pH, hasil analisis pH disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil Analisis Nilai pH

Dosis Tawas	pH awal	pH Sesudah dilakukan Pengolahan			Rerata
		Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	
1 gram	2,54	2,61	2,62	2,61	2,61
1,5 gram		2,61	2,62	2,63	2,62
2 gram		2,64	2,63	2,58	2,61

(sumber: data primer, 2016)

Hasil uji laboratorium untuk pH pada air asam tambang setelah dilakukan pengolahan tidak berpengaruh terhadap kondisi pH (tetap pada suasana asam), perubahan nilai pH rerata tertinggi pada penelitian ini pada dosis 1,5 gr, peningkatan nilai pH karena adanya pertukaran ion (*ion exchange*) yang terjadi pada saat koagulasi dan flokulasi dengan jartest. Parameter pH air asam tambang tersebut

masih termasuk dalam kondisi asam karena kondisi pH <6, sehingga diperlukan penambahan kapur untuk menaikkan nilai pH air pada akhir pengolahan.

### 3.3. Perbandingan Koagulan Kalium Aluminium Sulfat dan Koagulan Aluminium Sulfat

Perbandingan pengolahan air asam tambang dengan koagulan Kalium Aluminium Sulfat dan Koagulan Aluminium Sulfat terhadap parameter TSS, Fe, Mn dan pH diberikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Analisis Perbandingan Koagulan Kalium Aluminium Sulfat dan Koagulan Aluminium Sulfat

Dosis Tawas	Konsentrasi sesudah dilakukan Pengolahan							
	TSS (mg/L)	Efisiensi (%)	pH	Efisiensi (%)	Fe (mg/L)	Efisiensi (%)	Mn (mg/L)	Efisiensi (%)
Pengolahan Air Asam Tambang dengan Koagulan $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$								
AAT Awal	632		2,54		22,04		19,10	
1 gram	274.4	56,57	2,61	2,81	18.95	14,03	13.69	28,31
1,5 gram	237.2	62,47	2,62	3,06	19.15	13,13	12.32	35,49
2 gram	209.4	66,86	2,617	2,94	19.46	11,69	12.26	35,79
Pengolahan Air Asam Tambang dengan Koagulan $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$								
AAT Awal	632		2,54		22,04		19,10	
1 gram	220	65,19	2,56	0,91	19,93	9,56	11,72	38,62
1,5 gram	215	65,98	2,6	2,34	20,03	9,10	11,18	41,47
2 gram	195	69,14	2,603	2,47	19,91	9,66	10,61	44,43

(sumber: data primer, 2016)

Berdasarkan pada Tabel 5, diperoleh kadar TSS dengan variasi dosis dan jenis koagulan yang digunakan mengalami penurunan. Penambahan koagulan  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  diperoleh dosis optimum efisiensi penurunan TSS adalah dosis 2 gr yaitu 66,86%, sedangkan pada dosis yang sama untuk koagulan  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  diperoleh efisiensi 69,14%. Efisiensi penurunan TSS untuk koagulan dari kaleng minuman bekas (merk *Pocari Sweat*) sebanding dengan koagulan komersial (Aluminium Sulfat), penurunan dengan efisiensi tertinggi pada dosis 2 gram yang mencapai di atas 50%.

Penurunan logam berat Fe dan Mn pada air asam tambang didapatkan efisiensi penurunan logam berat Fe dan Mn berbeda-beda sesuai dengan penambahan dosis masing-masing. Efisiensi penurunan logam berat Fe dalam pengolahan air asam tambang dengan menggunakan koagulan  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  pada dosis 1 gr 14,03% dan logam berat Mn sebesar 28,31%, sedangkan pada koagulan  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  penurunan logam berat pada dosis 2 gr diperoleh efisiensi penurunan Fe 9,66% dan efisiensi Mn

44,43%. Koagulan dari bahan baku kaleng bekas atau koagulan  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  berpotensi menjadi koagulan, hal ini telah dibuktikan melalui metode jar test dengan sistem batch, koagulan tersebut mampu membentuk flokulan.

Proses koagulasi-flokulasi dengan penambahan koagulan agar terbentuk flok yang mudah diendapkan. Penurunan unsur logam terjadi karena adanya presipitasi kimia dalam pengolahan air limbah dengan penambahan bahan kimia, pengendapan bahan-bahan terlarut dan tersuspensi dalam air untuk membentuk presipitat. Penurunan unsur logam ini diubah dari muatan ion jadi partikulat oleh koagulan sehingga bisa terendapkan. Bila koagulan ditambahkan ke dalam air atau air limbah akan terjadi destabilisasi koloid dan terbentuk partikel flokulan.

Beberapa interaksi yang terlibat dalam proses koagulasi adalah: penurunan zeta potensial ke tingkat dimana gaya tarik Van der Waal's dan agitasi menyebabkan partikel saling melepas. agregasi partikel oleh interpartikulat yang menjembatani antara gugus reaktif pada koloid, terbentuknya flok presipitat. Pengolahan air limbah, presipitasi kimiawi bertujuan untuk menghilangkan konstituen terlarut, dan penyisihan nitrogen atau fosfor, serta penyisihan besi dan mangan. Prinsip presipitasi kimia adalah reaksi oksidasi-reduksi yang membutuhkan kondisi lingkungan (pH, waktu, temperatur, konsentrasi) tertentu. Sehingga pada hasil uji logam Fe dan Mn mengalami penurunan akan tetapi tidak begitu optimal dikarenakan ada beberapa faktor yang tidak terpenuhi pada proses koagulasi-flokulasi, yaitu kondisi pH tidak pada posisi optimum, temperatur, dan kondisi pengadukan). Faktor utama yang mempengaruhi koagulasi dan flokulasi air adalah kekeruhan, padatan tersuspensi, temperatur, pH, komposisi dan konsentrasi kation dan anion, durasi dan tingkat agitasi selama koagulasi dan flokulasi, dosis koagulan, dan jika diperlukan, koagulan pembantu (Asmadi dkk., 2011).

Nilai pH dari air asam tambang dengan variasi dosis dari kedua koagulan yang digunakan mengalami perubahan. Penambahan koagulan terjadi peningkatan nilai pH karena ion  $OH^-$  akan bergabung dengan ion  $H^+$ , sehingga menurunkan konsentrasi ion  $H^+$  akibatnya nilai pH bertambah. Pada koagulan  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  efisiensi peningkatan nilai pH pada dosis 1,5 gr yaitu 3,06%, sedangkan pada koagulan  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  peningkatan dosis yang digunakan berbanding lurus dengan efisiensi peningkatan nilai pH hingga 2,47%.

Kualitas koagulan  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  yang berasal dari kaleng bekas tidak jauh berbeda dengan koagulan  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  (koagulan komersial) dengan dosis yang sama. Pada koagulan

$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  yang berasal dari kaleng bekas mengandung kalium, akan tetapi kalium tidak berpengaruh besar terhadap mutu yang dihasilkan setelah proses koagulasi dan flokulasi, menurut Syaiful, dkk. (2014) sifat kalium yang mudah larut dalam air sehingga dapat dikatakan kalium di sini bersifat inert.

Hasil penggunaan koagulan tawas merupakan salah satu perlakuan primer pada proses kimia. Koagulan yang digunakan berupa kalium aluminium sulfat yang digunakan kurang begitu efektif dalam penurunan logam berat, dikarenakan pada proses koagulasi-flokulasi tidak dilakukan pengaturan pH air sehingga menyebabkan koagulan yang digunakan tidak bekerja secara optimal. pH yang optimal pada proses koagulasi-flokulasi pada kisaran 5,5 sampai 6,30. Pengaturan pH tidak dilakukan karena pada saat penambahan kapur, pH akan meningkat menjadi 6 dan telah terjadi pembentukan flok yang menyebabkan pengendapan logam berat termasuk Fe dan Mn.

Dari parameter-parameter yang diujikan efisiensi >50% hanya untuk parameter TSS. Kemampuan koagulan dari kaleng bekas (koagulan  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ) mampu menurunkan parameter TSS, logam berat (Fe dan Mn) dan peningkatan nilai pH bila dibandingkan dengan  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  (koagulan komersial) tidak jauh berbeda. Penurunan efisiensi nilai parameter dan perubahan nilai pH dari hasil penelitian dengan pertimbangan penggunaan bahan baku koagulan (potensi bahan baku dari kaleng bekas) diperoleh dosis optimum 1,5 gr untuk penggunaan koagulan dari kaleng bekas merk *Pocari Sweat* dapat menurunkan TSS 237,2 mg/l (62,47%), logam Fe 19,15 mg/l (13,13%) dan Mn 12,32 mg/l (35,49%) serta peningkatan pH menjadi 2,62 (3,06%).

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penentuan kandungan aluminium pada kaleng bekas merk *Pocari Sweat* sebanyak 6026 mg/l dan merk *Coca-Cola* 3605 mg/l, sehingga sintesis koagulan kalium aluminium sulfat menggunakan limbah kaleng bekas dari merk *Pocari Sweat* sebagai bahan baku koagulan untuk pengolahan air asam tambang dengan parameter TSS, Fe dan Mn serta pH.

Perbandingan penggunaan koagulan  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  yang berasal dari kaleng bekas dan koagulan  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  (koagulan komersial) efisiensi penurunan nilai parameter tidak jauh berbeda. Hasil pengolahan menggunakan koagulan dari kaleng bekas merk *pocari sweat* diperoleh dosis optimum sebanyak 1,5 gr dengan penurunan TSS 237,2 mg/l (62,47%), logam Fe 19,15 mg/l (13,13%) dan Mn 12,32 mg/l (35,49%) serta perubahan nilai pH 2,62 (3,06%).

**DAFTAR PUSTAKA**

- Asmadi, Khayan, dan Kasjono, H.S., (2011), *Teknologi Pengolahan Air Minum*, Yogyakarta, Penerbit Gesyem Publishing.
- Afrianty, C., Lustiana, G., dan Dewi, T.K., (2012), *Pengolahan Limbah Air Asam Tambang Menggunakan Teknologi Membran Keramik*, Jurnal Teknik Kimia, 3(18), pp. 16-25 .
- Anshariah., Widodo, S., dan Nuhung, R., (2015), *Studi Pengelolaan Air Asam Tambang pada PT. Rimau Energy Mining Kabupaten Barito Timur Provinsi Kalimantan Tengah*, Jurnal Geomine, 1, pp. 46-54.
- Effendi, H., (2003), *Telaah Kualitas Air*, Yogyakarta, Penerbit Kanisius.
- Purnawan, I. dan Ramadhani, R.B., (2014), *Pengaruh Konsentrasi KOH pada Pembuatan Tawas dari Kaleng Aluminium Bekas*, Jurnal Teknologi, 6(2).
- Manurung, M. dan Ayuningtyas, I.F., (2010), *Kandungan Aluminium Dalam Kaleng Bekas Dan Pemanfaatannya Dalam Pembuatan Tawas*, Jurnal Kimia 4(2), pp. 180-186.
- Marliani, N., (2014), *Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga (Sampah Anorganik) sebagai Bentuk Implementasi dari Pendidikan Lingkungan Hidup*, Jurnal Formatif 4(2), pp. 124-132.
- Samudro, G. dan Sumiyati, S., (2010), *Pengolahan Air Limbah Kegiatan Penambangan Batubara menggunakan Biokoagulan : Studi Penurunan kadar TSS, Total Fe dan Total Mn Menggunakan Biji Kelor*, Jurnal Prespitasi, 7(2), pp. 57-61.
- Syaiful, M., Intan, A. Jn., dan Andriawan, D., (2014), *Efektivitas Alum dari Kaleng Minuman Bekas sebagai Koagulan untuk Penjernihan Air*, Jurnal Kimia, 4(20), pp. 39-45.

## **PENGARUH PENAMBAHAN KARET REKLIM DARI LIMBAH OUTSOLE TERHADAP SIFAT FISIS DAN SIFAT THERMAL PRODUK OUTSOLE SEPATU (STUDI KASUS DI CV. CARITA NIAGA)**

**Muh. Wahyu Syabani<sup>1</sup>, Fikri Irfani Fauziyyah<sup>1</sup>, Tintin Mutiara<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

E-mail : muh.wahyu.s@mail.ugm.ac.id

### **Abstrak**

*Limbah padat industri karet sukar mengalami degradasi di alam sehingga memerlukan pengelolaan dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan karet reklim dari limbah outsole terhadap sifat fisis dan sifat thermal dari produk outsole. Pencampuran karet dan bahan aditif lainnya dilakukan menggunakan mesin kneader dan open mill sedangkan proses vulkanisasi dilakukan dengan mesin hydraulic press. Variasi yang digunakan adalah jumlah karet reklim yang ditambahkan yaitu 12,5; 37,5 dan 62,5 phr. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa produk outsole dengan penambahan karet reklim memberikan hasil organoleptis berupa permukaan rata, tidak retak, tidak pecah, tidak kotor dan kesamaan ukuran untuk semua variasi. Pengujian fisis menunjukkan ketahanan kikis, kuat tarik dan perpanjangan putus akan mengalami penurunan, sedangkan nilai kekerasan cenderung naik dengan penambahan karet reklim. Ketahanan retak lentur menunjukkan hasil untuk penambahan 12,5 dan 37,5 phr dalam kondisi baik dan tidak retak, sedangkan pada 62,5 phr sudah mengalami keretakan. Hasil pengujian kestabilan thermal menunjukkan bahwa sampel memiliki kestabilan thermal relatif sama. Hasil penelitian ini menunjukkan jika penambahan karet reklim dari limbah outsole sampai 37,5 phr memiliki potensi tinggi sebagai filler pada kompon karet untuk outsole.*

**Kata Kunci :** limbah industri karet, karet reklim, karakteristik fisis, kestabilan thermal

### *Abstract*

*Rubber solid waste are very difficult to naturally degraded so its needed a good waste handling. The aims of this research was to study the effect of reclaimed rubber made from rubber solid waste that used as an outsole filler on physical and thermal properties of the outsole products. The mixing of rubber and the additives using kneder and open mill and the vulcanization process was carried using hydraulic press. The research design using three variation of the reclaimed rubber addition; 12,5; 37,5 and 62,5 phr. The organoleptics testing results shows that all the variation has good outsole surface, not broken, clean and similar size. The physical testing shows that for higher reclaimed rubber addition gives better hardness but lower abrasion resistance, tensile strength and elongation. The thermal stability for each of the sample are relatively similar since the reclaimed rubber are from the outsole waste itself. Therefore, the reclaimed rubber has highly potential as a filler of the outsole product for addition lower than 37,5 phr.*

**Keywords :** rubber waste; reclaimed rubber; physical characteristic, thermal stability

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara penghasil karet terbesar di dunia. Sementara itu, karet merupakan material yang penting (Li et al., 2010) dan pemakaiannya terus mengalami perkembangan. Perkembangan ini pada suatu titik akan menjadi sumber masalah karena industri pengolahan karet menghasilkan limbah yang berpotensi mencemari apabila dibuang ke lingkungan (Yuniari, 2006). Limbah karet membutuhkan waktu yang sangat lama untuk terdegradasi secara alami karena struktur *crosslink* pada karet dan keberadaan stabilisator serta aditif lainnya (Adhikari et al., 2000).

Upaya penanganan limbah karet tersebut sudah banyak dilakukan. *Landfill* merupakan salah satu cara penanganan limbah karet yang paling awal dilakukan. Akan tetapi, metode ini memiliki kelemahan yaitu semakin terbatasnya ketersediaan lahan dan potensi pencemaran lingkungan karena kandungan aditif pada produk karet dapat mengalami *leaching* dan membunuh bakteri menguntungkan yang ada di dalam tanah (Adhikari et al., 2000). Metode lain yang dapat dilakukan adalah penggunaan limbah karet sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik (Bomberger et al., 1980) maupun pirolisis (Shigeo et al., 1980). Metode ini juga berpotensi mencemari udara karena menghasilkan sejumlah besar karbon dan memiliki nilai *recovery* limbah karet yang rendah (Adhikari et al., 2000).

Berbagai penelitian sudah dilakukan untuk menemukan metode baru dalam daur ulang limbah karet (Formela et al., 2015). Limbah karet dapat dirubah bentuknya dan digunakan sebagai *filler* untuk menggantikan sebagian karet baru pada kompon karet (Setyowati et al., 2006; Formela et al., 2015). Penggunaan kembali limbah karet sebagai bahan baku produk akan membantu pemecahan masalah limbah padat karet (Navarro et al., 2005) sekaligus dapat mengurangi biaya produksi dan memperbaiki karakteristik proses seperti keseragaman dan kestabilan dimensi produk akhir (Setyowati et al., 2006). Karet reklim dapat bercampur lebih cepat dan menghasilkan panas lebih sedikit dibandingkan dengan karet baru, sehingga energi pencampuran yang dibutuhkan juga akan lebih sedikit (Adhikari et al., 2000). Akan tetapi, karakteristik mekanis dari vulkanisasi karet reklim ini lebih rendah dibandingkan dengan karet baru (Phadke et al., 1983). Oleh karena itu, karet reklim dapat dimanfaatkan untuk pembuatan barang-barang karet yang tidak menuntut kekuatan tinggi, sebagai contoh karpet dan outsole (Setyowati et al., 2006). Sifat fisis dan karakteristik pemrosesan dari karet reklim dapat diperbaiki melalui pencampuran dengan karet baru.

Kendala yang dialami usaha daur ulang adalah tingkat kebutuhan biaya dari *solid handling*, seperti transportasi dan penyimpanan. Masih sedikit penelitian yang berusaha memanfaatkan karet reklim sebagai bahan baku di industri penghasil limbah karet itu sendiri. Pemanfaatan limbah karet untuk konsumsi produsen penghasil limbah secara langsung akan mampu mengurangi jumlah *output* limbah yang dikeluarkan ke lingkungan sehingga dapat menciptakan industri *zero waste*.

Penelitian ini mengangkat pemanfaatan karet reklim dari limbah *outsole* yang digunakan sebagai *filler* pada pembuatan produk *outsole* baru dan bertujuan untuk mempelajari pengaruh jumlah karet reklim terhadap karakteristik mekanis dan *thermal* dari *outsole* yang dihasilkan. Solusi ini diharapkan dapat mengurangi jumlah limbah karet yang dihasilkan tanpa mengurangi kualitas dari produk.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Bahan Penelitian

Bahan baku yang digunakan adalah karet *brown crepe*, karet *compo crepe*, karet reklim (dari limbah *outsole*). Bahan aditif yang digunakan adalah zinc oksida, asam stearat, G90, TMQ, kaolin, *carbon black*, silika, oli bekas, TMTM, CBS, dan sulfur yang diperoleh dari CV. Carita Niaga.

### 2.2. Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat proses dan alat uji yang terdiri dari *kneader*, *open mill*, *hydraulic press*, *tensile strength tester* merek Troning tipe QCII-M-18, *hardness tester* merek Toyoseiki, TG/DTA merek Perkins Elmer Diamond Series.

### 2.3. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini faktor yang dipelajari adalah jumlah karet reklim yang ditambahkan pada kompon karet. Jumlah karet reklim yang ditambahkan divariasikan sebesar 12,5; 37,5; dan 62,5 phr dari berat karet.

### 2.4. Prosedur Penelitian

Limbah karet *outsole* di cacah dan diperkecil ukurannya. Karet reklim ditambah bahan baku karet, zinc oksida, asam stearat, TMQ dan G90 secara berurutan dimastikasi dan diaduk hingga homogen dalam *kneader* selama 15 menit dan suhu 70°C. Selanjutnya pada campuran



ditambahkan *carbon black*, silika, kaolin dan oli di aduk lanjut dalam *kneader* selama 15 menit dan suhu 70°C. Kompon karet yang dihasilkan ditambahkan TMTM, CBS dan sulfur kemudian digiling dalam *open mill* selama 15 menit dan suhu 70°C. Lembaran kompon yang sudah didinginkan selanjutnya divulkanisasi dengan menggunakan *hydraulic press* pada suhu 160°C, tekanan 10 kg/cm<sup>2</sup> dengan waktu 15 menit. Vulkanisat berupa *outsole* karet yang dihasilkan siap untuk diujikan.

## 2.5. Pengujian

Vulkanisat yang dihasilkan diuji sifat organoleptis, sifat fisis dan kestabilan *thermal*. Uji secara organoleptis dilakukan sesuai dengan standar dari perusahaan PT. Carita Niaga, yaitu pengujian permukaan, keretakan, pecah, kotor dan ukuran. Uji fisis meliputi nilai kekerasan (SNI 0778:2009), ketahanan retak lentur (SNI 0778:2009), ketahanan kikis (ISO 4649), kuat tarik dan perpanjangan putus (ISO 37). Pengujian kestabilan *thermal* menggunakan TG/DTA Perkins Diamond Series dengan tipe pan terbuka dan berat sampel 5 mg. Suhu operasi dari 30°C sampai 1000°C dengan kecepatan kenaikan suhu 10°C/menit.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Limbah karet *outsole*

Limbah *outsole* yang dihasilkan CV. Carita Niaga terdiri atas hasil *trimming* dan produk akhir yang mengalami cacat berupa kehilangan bentuk, benjol dan cekung sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 1.** Limbah *outsole*

(a) Sisa hasil *trimming*, (b) *Outsole* kehilangan bentuk, (c) *Outsole* benjol, (d) *Outsole* cekung

Sumber: CV. Carita Niaga, 2017

Limbah *outsole* tersebut kemudian dikecilkan ukurannya menggunakan *crusher* dan partikel kecilnya akan digunakan sebagai *filler* pada produksi *outsole* baru. Karet reklim dari limbah *outsole* sebagaimana terlihat pada gambar 1 berwarna gelap (hitam) sehingga umumnya dipakai untuk pembuatan barang-barang karet yang berwarna gelap juga (Setyowati et al., 2006). Oleh karena itu, pemanfaatannya untuk *filler* pembuatan *outsole* baru dengan warna yang sama (hitam) sudah sangat sesuai.

### 3.2. Uji Organoleptis

Uji secara organoleptis dilakukan menurut standar dari perusahaan PT. Carita Niaga, yaitu uji permukaan, keretakan, pecah, kotor dan ukuran. Produk *outsole* yang dihasilkan terlihat pada Gambar 2, sedangkan hasil pengujian disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.



**Gambar 2.** *Outsole* sepatu PDL TNI dengan variasi penambahan karet reklim  
(a) 12,5 phr, (b) 37,5 phr, dan (c) 62,5 phr

Sumber : CV. Carita Niaga, 2017

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Organoleptis

No	Kriteria Pengujian	Karet reklim, phr		
		12,5	37,5	62,5
1	Permukaan rata	√	√	√
2	Tidak retak	√	√	√
3	Tidak pecah	√	√	√
4	Tidak kotor	√	√	√
5	Nomor sol kanan dan kiri sama	√	√	√

Kriteria pengujian tersebut merupakan standar dari perusahaan dan setiap sampel yang lolos *quality control* dinyatakan layak untuk dipasarkan ke konsumen. Berdasarkan Tabel 1 tersebut, terlihat bahwa dari rentang 12,5 sampai 62,5 phr dinyatakan lolos *quality control* dengan kondisi permukaan rata, tidak ada keretakan, tidak ada pecah, tidak kotor dan kesamaan ukuran kiri dan kanan. Hasil uji organoleptis sangat tergantung pada ukuran partikel RR yang digunakan. Partikel yang berukuran makin kecil akan menghasilkan homogenitas kompon yang semakin baik. Homogenitas kompon ini memberikan pengaruh yang signifikan pada produk akhir *outsole* sepatu (BPTK, 2005), dimana kompon yang tidak homogen akan menimbulkan potensi keretakan pada produk saat dicetak. Menurut Setyowati (2006), kelebihan dari karet reklim adalah keseragamannya (*uniformity*).

### 3.3. Pengujian Fisis

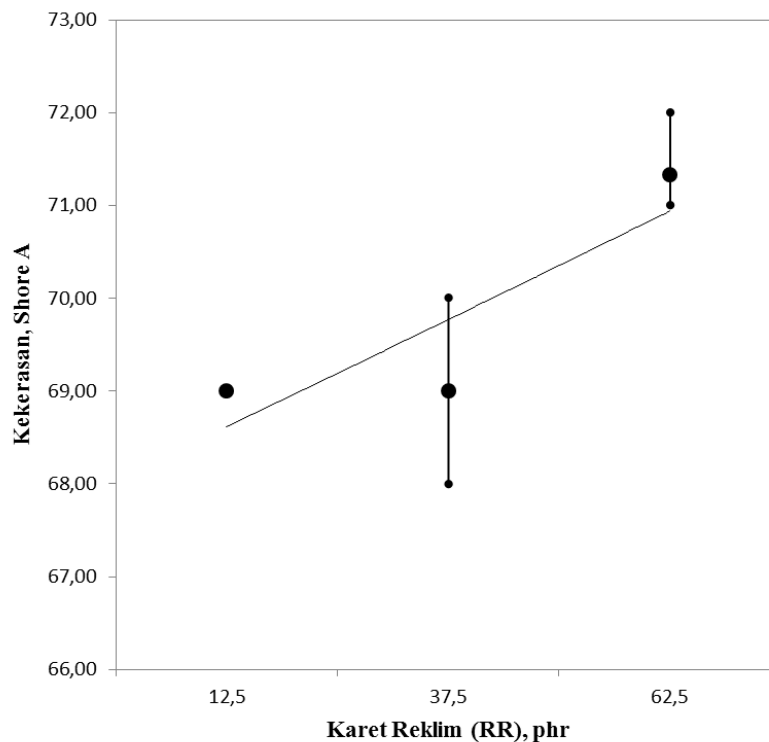
Hasil pengujian fisis yang dilakukan meliputi kekerasan, ketahanan kikis, ketahanan retak lentur, kuat tarik dan perpanjangan putus. Terlihat pada hasil pengujian fisis yang disajikan pada Tabel 2 di bawah ini, keseluruhan parameter sudah sesuai dengan SNI kecuali untuk kekerasan dan ketahanan retak lentur untuk 62,5 phr.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Fisis

No	Pengujian	RR, %			SNI-0306-1989-A
		12,5	37,5	62,5	
1	Kekerasan, shore A	69,00	69,33	71,33	Minimal 80
2	Ketahanan kikis, mm <sup>3</sup> /kgm	0,01074	0,01183	0,01229	Maksimal 1
3	Ketahanan retak lentur, 200.000 kali	Baik tidak retak	Baik tidak retak	Retak	Baik, tidak retak atau putus
4	Kuat tarik, kgf/cm <sup>2</sup>	94,14	90,40	80,28	-
5	Perpanjangan putus, %	280,00	260,00	253,33	Minimal 250

#### 3.3.1. Pengaruh penambahan karet reklim terhadap kekerasan

Kekerasan merupakan sifat yang sangat mempengaruhi penampilan dan ketahanan barang jadi karet. Nilai kekerasan dari kompon karet erat kaitannya dengan jumlah *filler* dan *softener* (Yuniari, 2006). Pengaruh jumlah karet reklim terhadap nilai kekerasan dari *outsole* disajikan pada Gambar 3 di bawah ini.

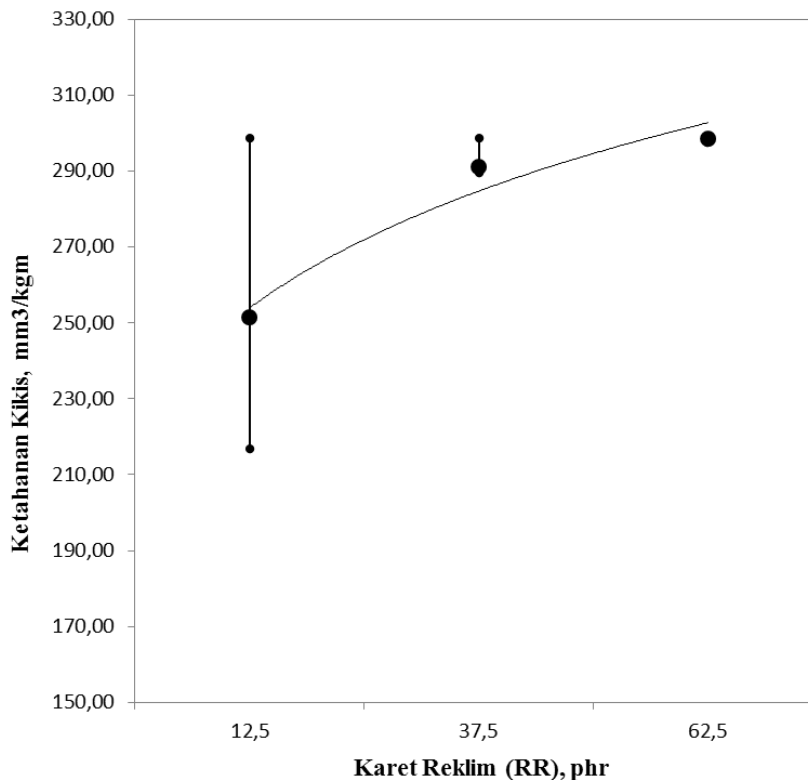


**Gambar 3.** Grafik hasil pengujian tingkat kekerasan

Dari Gambar 3 terlihat bahwa semakin banyak karet reklim yang ditambahkan maka nilai kekerasan dari vulkanisat juga akan semakin naik. Kecenderungan ini selaras dengan hasil penelitian sejenis yang dilakukan oleh Setyowati (2006). Nilai kekerasan dan sifat mekanik akan naik dengan naiknya nilai *crosslink density* dari vulkanisat (Yuniari et al., 2013; Formela et al., 2015). Kenaikan *crosslink density* dipengaruhi oleh banyaknya ikatan silang yang terbentuk (Syabani et al., 2017). Penambahan karet reklim sebagai filler akan memberikan jumlah ikatan silang yang semakin banyak karena sudah membawa ikatan silang monosulfida yang dihasilkan dari proses vulkanisasi sebelumnya.

### 3.3.2. Pengaruh karet reklim terhadap ketahanan kikis

Ketahanan kikis adalah kemampuan karet bertahan terhadap gesekan dengan benda lain dan dinyatakan sebagai volume karet yang terkikis oleh alat uji (Luftinor, 2015). Semakin sedikit jumlah yang terkikis menunjukkan vulkanisat karet yang semakin baik. Pengaruh jumlah karet reklim terhadap nilai ketahanan kikis dari *outsole* disajikan pada Gambar 4 di bawah ini.



**Gambar 4.** Grafik hasil pengujian ketahanan kikis

Ketahanan kikis merupakan parameter yang sangat penting pada *outsole* karena pada saat digunakan *outsole* akan mengalami gesekan dengan permukaan jalan yang dilewati. Pada Gambar 4 di atas, terlihat bahwa semakin banyak jumlah karet reklim akan menghasilkan

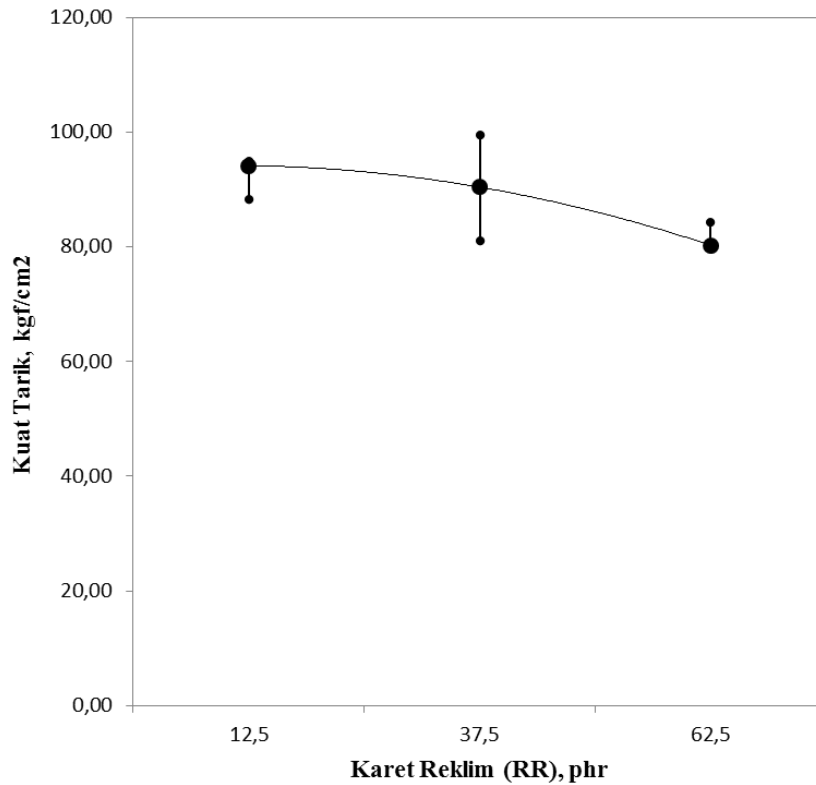
jumlah karet yang terkikis semakin banyak sehingga menunjukkan ketahanan kikis yang semakin turun. Rendahnya karakteristik mekanik dari vulkanisat yang mengandung karet reklim disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu lemahnya interaksi antara elastomer-filler dan perubahan nilai crosslink density (Formela et al., 2015). Lemahnya interaksi ini dikarenakan limbah karet sudah mengalami vulkanisasi sehingga lebih sukar membentuk ikatan silang dibandingkan dengan karet baru sehingga ikatan yang dibentuk karet reklim pu lebih lemah dibandingkan karet baru.

### **3.3.3. Pengaruh karet reklim terhadap ketahanan retak lentur**

Uji ketahanan retak lentur dilakukan untuk mengetahui tingkat kerusakan kompon karet jika dibengkok berulang kali secara terus-menerus. Nilai ketahanan ini erat kaitannya dengan jumlah *filler* dan *softener* (Yuniari, 2006). Semakin banyak filler yang ditambahkan akan membuat sifat elastisitas vulkanisat mengalami penurunan. Dari tabel 2 di atas, terlihat bahwa penambahan karet reklim sebagai *filler* akan memberikan nilai ketahanan retak lentur yang semakin rendah. Hal ini dikarenakan ikatan rangkap dari karet reklim sudah mengikat sulfur sehingga sulit membentuk ikatan silang dengan molekul karet alam baru (Prayitno et al., 1990). Sedikitnya jumlah ikatan silang baru yang terbentuk ini menyebabkan *outsole* lebih mudah mengalami keretakan.

### **3.3.4. Pengaruh penambahan karet reklim terhadap kuat tarik**

Kuat tarik adalah kekuatan yang digunakan untuk menarik vulkanisat (kompon) karet sampai putus dan dihitung persatuan luas. Pengaruh jumlah karet reklim terhadap nilai kuat tarik dari *outsole* disajikan pada Gambar 5 di bawah ini.

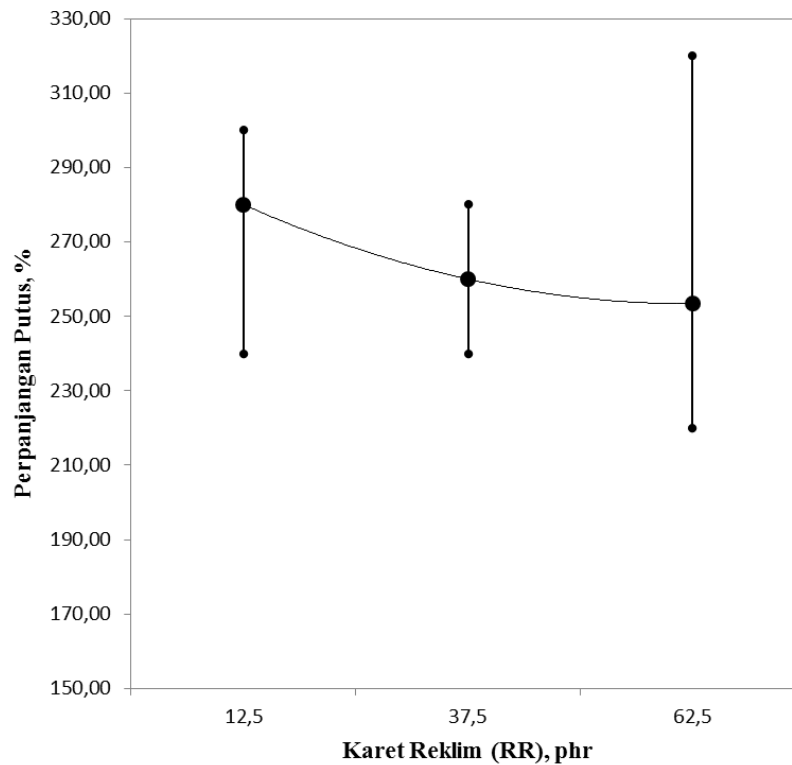


**Gambar 5.** Grafik hasil pengujian kuat tarik

Karet reklam yang tidak di *treatment*, ketika ditambahkan ke karet baru akan menaikkan viskositas dan menurunkan nilai kuat tarik (Ajam et al., 2016). Sifat tersebut diakibatkan rendahnya daya rekat antara permukaan RR-matriks. Sehingga karet reklam biasanya digunakan untuk *filler* untuk produk karet dimana penurunan sifat fisis dapat diterima. Oleh karena itu, pemanfaatan karet reklam lebih cocok untuk aplikasi non teknis, seperti lantai, karpet dan sepatu.

### 3.3.5. Pengaruh penambahan karet reklam terhadap perpanjangan putus

Perpanjangan putus merupakan kemampuan vulkanisat meregang apabila ditarik sampai putus dan dinyatakan dalam persen dari panjang potongan uji sebelum diregangkan. Nilai pengujian ini merupakan salah satu indikasi sifat elastisitas dari produk karet (Luftinor, 2015).



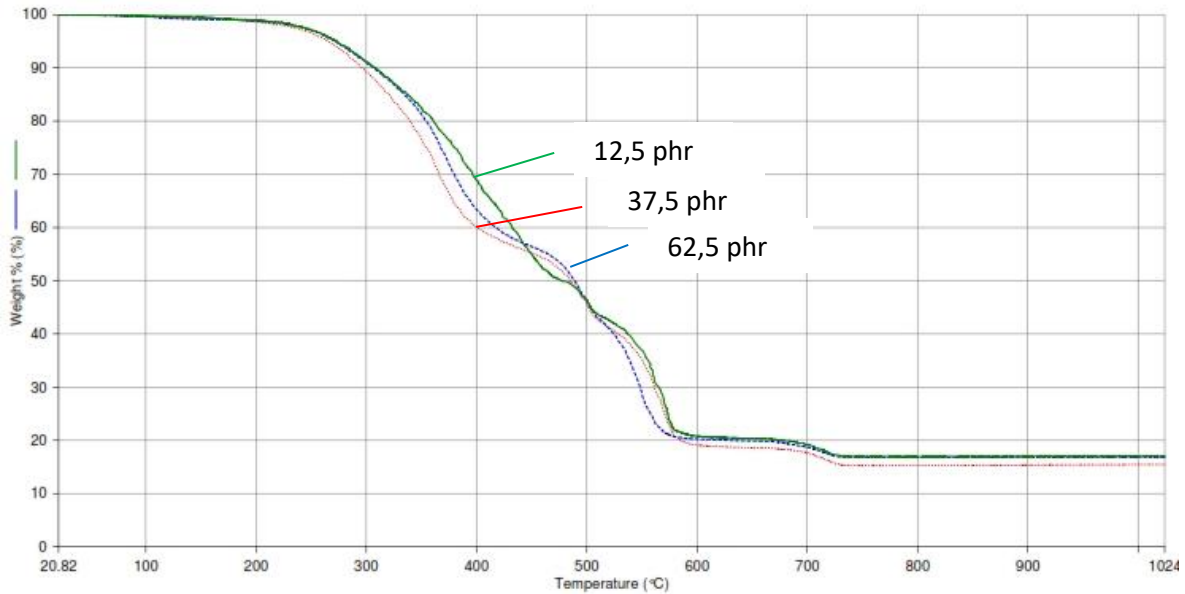
**Gambar 6.** Grafik hasil pengujian perpanjangan putus

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai perpanjangan putus dari vulkanisat akan semakin turun sejalan dengan penambahan karet reklam pada rentang 12,5 sampai 62,5 phr. Karet reklam sudah mengalami vulkanisasi yang menyebabkan terbentuknya ikatan silang diantara rantai polimer. Ikatan silang yang terbentuk tersebut mengakibatkan pergerakan/slip antar rantai polimer terbatas sehingga elastisitas karet reklam tidak sebaik karet virgin (Setyowati et al., 2006). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa karet reklam menyebabkan vulkanisat berkurang elastisitasnya.

### 3.4. Analisis Thermal

Setiap material jika mengalami perlakuan panas akan mengalami perubahan struktur yang mengakibatkan adanya perubahan energi thermal material tersebut (Yuniari et al., 2013, Yu et al., 2016). Hasil pengujian terlihat pada Gambar 7 di bawah ini.





**Gambar 7.** Kurva thermogravimetric (TG) dari *outssole*

Kurva *thermogravimetric* untuk suhu di bawah 250°C memiliki kecenderungan penurunan berat yang sama dikarenakan hilangnya senyawa volatil. Dekomposisi karet secara umum terjadi dalam 2 langkah (Li et al., 2010). Pada Gambar 7, terlihat bahwa langkah pertama terjadi pada rentang suhu 250 – 580°C dengan kehilangan berat sebesar 78%. Hal ini merupakan dekomposisi *thermal* dari rantai utama karet ter Vulkanisasi. Terlihat pada kurva bahwa secara umum semakin banyak penambahan karet reklim akan membuat dekomposisi berjalan sedikit lebih cepat. Hal ini dikarenakan ikatan yang dibentuk karet reklim tidak sekuat karet baru. Langkah dekomposisi kedua terjadi pada rentang suhu 580 – 720°C dengan penurunan berat yang sudah sangat lambat yaitu kurang dari 4%. Ketiga kurva dari sampel memiliki tren yang hampir sama, hal ini dikarenakan ketiga sampel memiliki bahan baku yang sama. Karet reklim yang digunakan pada penelitian juga berasal dari limbah *outssole* itu sendiri sehingga memiliki komposisi bahan penyusun yang relatif sama dengan komponen karetnya. Menurut Li (2010), tahapan kedua tersebut adalah proses karbonisasi. Pada suhu di atas 720°C berat sudah relatif tidak berubah lain dan menyisakan abu.

**Tabel 3.** Ash content dari *outssole*

Penambahan RR (phr)	Ash content (%)
12,5	17,0408
37,5	15,4709
62,5	16,8928

Kestabilan thermal secara keseluruhan diindikasikan salah satunya dari nilai *ash content*, dimana nilai yang lebih besar menunjukkan kestabilan polimer yang lebih baik (Syabani et al., 2017). Berdasarkan Tabel 3 di atas, diketahui jika nilai *ash content* dari ketiga variasi memiliki nilai yang relatif sama. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan karet reklim sampai dengan 62,5 phr memberikan kestabilan thermal keseluruhan yang relatif sama juga. Kestabilan thermal ini sangat penting pada PDL karena jenis sepatu ini digunakan oleh personil militer untuk berbagai medan operasi.

#### **4. KESIMPULAN**

Karet reklim dari limbah *outsole* dapat digunakan sebagai *filler* pada pembuatan komponen *outsole* yang baru sehingga mengurangi jumlah limbah karet yang dihasilkan. Uji organoleptis menunjukkan bahwa penambahan *filler* 12,5 sampai dengan 62,5 phr memberikan hasil yang sesuai dengan standar pabrik. Uji fisis menunjukkan bahwa penambahan karet reklim dapat menaikkan nilai kekerasan dan menurunkan nilai ketahanan kikis, kuat tarik dan perpanjangan putus sehingga sesuai untuk pembuatan *outsole* yang tidak membutuhkan spesifikasi teknik yang tinggi. Sementara itu, penambahan karet reklim sebanyak 62,5 phr mengalami keretakan pada uji ketahanan retak lentur. Analisis thermal menunjukkan bahwa vulkanisasi terdekomposisi dalam dua langkah yaitu antara suhu 250-580°C dan 580-720°C serta memiliki kestabilan *thermal* yang relatif sama. Dengan demikian, jumlah penambahan karet reklim yang disarankan sebagai *filler outsole* adalah maksimum 32,5 phr yang memiliki nilai kekerasan 69,33 shore A, ketahanan kikis 0,01183 mm<sup>3</sup>/kgm, ketahanan retak lentur baik, kuat tarik 90,40 kgf/cm<sup>2</sup> dan perpanjangan putus 260%.

#### **5. UCAPAN TERIMAKASIH**

Penulis mengucapkan terimakasih kepada CV. Carita Niaga atas bantuannya dalam pengambilan data. Terimakasih juga diucapkan kepada Politeknik ATK Yogyakarta atas dukungan sarana dan prasarananya.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Adhikari, B., De, D., Maiti, S., (2000), Reclamation and Recycling of Waste Rubber, *Prog. Polym. Sci.*, 25, pp. 909–948
- Ajam, A.M., Al-Nesrawy, S.H., Al-Maamori, M., (2016). Effect of Reclaim Rubber Loading on The Mechanical Properties of SBR Compoisite. *Int. J. Chem. Sci.*, 14(4), pp. 2439-2449
- Badan Standarisasi Nasional, SNI-0306-1989-A, Sepatu Dinas Lapangan ABRI Sol dan Hak Karet Hitam Sistem Vulkanisasi, BSN, Jakarta.
- Bomberger, D.C. and Jones, J.L., (1980), An Evaluation of Modular Incinerators for Energy Recovery From Solid Wastes, ACS Symposium Series Vol. 130, Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass Chapter 6, pp. 67-83.
- BPTK, (2005), Kursus Singkat Teknologi Barang Jadi Karet Padat, Balai Penelitian Teknologi Karet, Bogor.
- Formela, K., Wasowicz, D., Formela, M., Hejna, A., Haponiuk, J. (2015). Curing Characteristics, Mechanical and Thermal Properties of Reclaimed Ground Tire Rubber Cured with Various Vulcanizing Systems, *Iran Polym. J.* 24 (4), pp. 289-297
- Li, C., Zhong, J., Yang, L., Li, S., Kong, L., Hou, T., (2010), Studies on the Properties and The Thermal Decomposition Kinetics of Natural Rubber Prepared with Calcium Chloride, *e-Polymers*, 072, pp. 1-9
- Luftinor, (2015), Penggunaan Karet Alam Untuk Pembuatan Rubber Cots Mesin Ring Spinning, Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang, Palembang.
- Navarro, F.J., Partal, P., Martinez-Boza, F., Gallegos, C., (2005), Influence of Crumb Rubber Concentration on the Rheological Behavior of a Crumb Rubber Modified Bitumen, *Energy Fuels.*, 19, pp. 1984-1990.
- Phadke, A.A., Bhattacharya, A.K., Chakraborty, S.K., De, S.K., (1983), Studies of Vulcanization of Reclaimed Rubber. *Rubber Chemistry and Technology*, 56(4), pp. 726-736.
- Prayitno, Supardal, dan Asrillah, (1990), Pengaruh Penambahan Karet Reclaim Terhadap Sifat Kuat Tarik, Kemuluran, dan Volume Terkikis Kompon Sol Karet, *Majalah Kulit, Karet dan Plastik*, V(9), pp. 1989/1990.
- Setyowati, P., Pramono, dan Supriyanto, (2006), Pemanfaatan Karet Riklim Dari Skrab Rubber Roll Untuk Kompon Sol Sepatu, *Majalah Kulit, Karet dan Plastik*, 22(1), pp. 38-44

- Shigeo, K., Inoue, K., Tanaka, H., and Sakai T., (1980), Pyrolysis Process for Scrap Tires, ACS Symposium Series Vol. 130, Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass Chapter 40, pp. 557-572.
- Syabani MW., Perdana I., Rochmadi, (2017), Thermal Degradation of Modified Phenol-Formaldehyde Resin with Sodium Silicate, Proceeding International Conference on Chemistry and Engineering in Agroindustry (ICoCheA 2017), Padang, pp. 37-40.
- Yu, H., Leng, Z., Gao, Z., (2016), Thermal Analysis on the Component Interaction of Asphalt Binders Modified with Crumb Rubber and Warm Mix Additives, Constr. Build. Mater. 125: 168-174.
- Yuniari, A., (2006), Pemanfaatan Ter sebagai Softener dalam pembuatan karet reklim, Majalah Kulit Karet dan Plastik. 22(1), pp. 26-31
- Yuniari, A., Sholeh, M., Indrajati, I.N., (2013), Pengaruh Sistem Vulkanisasi Konvensional (CV) dan Semi Efisien (SEV) terhadap Sifat Aging dan Termal Vulkanisat Campuran Karet Alam dan Karet Butil, Majalah Kulit Karet dan Plastik. 31(2), pp. 99-106

## BIO ADSORBENT SERBUK KAYU NANGKA SEBAGAI PENJERAP ION Pb(II) DARI LARUTAN

Tintin Mutiara<sup>1</sup>, Lucky Wahyu Nuzulia Setyaningsih<sup>1</sup>, Muh. Wahyu Syabani<sup>2</sup>,  
Khairunisa Betariani<sup>1</sup>, Qonita Usthufiya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta

Email: tintin.mutiara@uii.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini dilaksanakan untuk mempelajari karakteristik bio adsorbent (penjerap) dari serbuk kayu nangka dan meneliti kemungkinannya sebagai penjerap ion logam berat dari larutan. Percobaan adsorpsi dilakukan untuk menghitung kapasitas penjerapan bio adsorbent. Penelitian ini membuktikan bahwa pH larutan mempengaruhi perilaku penjerapan, dengan menaikkan nilai pH dari 2 hingga 4, maka kapasitas penjerapan juga meningkat. pH optimum larutan untuk penjerapan ion Pb(II) ke dalam bio adsorbent adalah pH 4. Model kinetika orde dua cocok untuk menggambarkan proses penjerapan ion Pb(II) ke dalam bio adsorbent. Dari perhitungan model kinetika, diperoleh nilai kapasitas penjerapan pada kesetimbangan adalah 1,91 mg/g. Hasil analisa FTIR menunjukkan bahwa ikatan C-H, gugus karbonil -C=O dan gugus nitril -C≡N memberikan kontribusi pada pengikatan ion Pb(II) di permukaan bio adsorbent.

**Kata Kunci:** Adsorbent, Kayu Nangka, Pb(II), Logam Berat, Serbuk Kayu

### Abstract

This work was conducted to study the characteristics of bio adsorbent of untreated jackfruit wood sawdust and to investigate its possibility as an adsorbent of heavy metals from aqueous solutions. Adsorption experiments were conducted to determine the adsorption capacity of bio adsorbent. This study proved that pH solutions affected on adsorption behaviour, increasing the pH from 2 to 4, also followed by the increase of adsorption capacity of bio adsorbent. The optimum pH solution for the adsorption of Pb(II) ions onto the bio adsorbent was pH 4. Second-order kinetics model was perfectly illustrated the adsorption process of Pb(II) ions onto bio adsorbent. From the calculation based on kinetics model, the value of the adsorption capacity of bio adsorbent at equilibrium was 1,91 mg/g. FTIR spectra indicated that C-H bond, carbonyl group -C=O and nitrile group -C≡N had a significant role in Pb(II) binding to bio adsorbent surface.

**Keywords:** Adsorbent, Heavy Metal, Jackfruit Wood, Pb(II), Sawdust

## 1. PENDAHULUAN

Logam berat adalah logam yang memiliki berat jenis lebih dari 5 g/cm<sup>3</sup> seperti arsenik, kadmium, kromium, tembaga, timbal, merkuri, nikel dan seng mampu mencemari air (Kobielska *et al.*, 2018). Logam tersebut adalah komponen yang tidak dapat diuraikan oleh lingkungan dan cenderung untuk terakumulasi di dalam organisme yang pada akhirnya menimbulkan berbagai macam gangguan dan penyakit (Manzoor *et al.*, 2013). Logam berat sebenarnya dibutuhkan pada proses industri namun pembuangan limbahnya kadang masih

mengandung sejumlah tertentu logam berat yang mampu menjadi ancaman bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

Sejumlah metode telah diaplikasikan untuk menghilangkan logam berat dari larutan, meliputi metode presipitasi (Fan *et al.*, 2017), proses menggunakan membran (Zhaoa *et al.*, 2018; Martin *et al.*, 2018; Feng *et al.*, 2018), adsorpsi (Zare *et al.*, 2018), *ion exchange* (Tavakoli *et al.*, 2017), dan lain-lain. Namun, beberapa dari metode tersebut tidak begitu efektif, mahal dan membutuhkan input energi yang besar. Oleh karena itu, kajian untuk menemukan proses baru yang lebih efisien dan murah untuk penghilangan logam berat dari limbah cair masih diperlukan.

Adsorpsi telah terbukti sebagai metode yang tepat untuk pengolahan air. Pada umumnya, air limbah mengandung logam berat dengan konsentrasi yang rendah dan adsorpsi telah terbukti mampu mengolah limbah logam berat dengan konsentrasi yang sangat rendah hingga 1 mg/L (Tripathi dan Ranjan, 2015). Disamping itu, proses adsorpsi membutuhkan biaya yang lebih rendah, desainnya sederhana dan mudah dioperasikan (Jusoha *et al.*, 2007).

Penelitian terbaru mengenai potensi serbuk kayu pada proses penghilangan logam berat dari larutan, diantaranya dilakukan oleh Salazar-Rabago dan Leyva (2016) meneliti mengenai proses adsorpsi ion Pb(II) pada serbuk kayu pinus putih yang telah dimodifikasi dengan asam. Feng dan Zhang (2013) meneliti kemampuan residu *Chinese ephedra* dalam penghilangan ion Pb(II) dari larutan. Bozic *et al.*, (2013) mempelajari kinetika, mekanisme dan proses kesetimbangan adsorpsi ion logam berat oleh serbuk kayu Beech. Selain itu, ekstraksi logam berharga dari limbah industri menggunakan serbuk pinus yang dimodifikasi dengan gugus thiourea dilakukan oleh Losev *et al.*, (2018).

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, terbukti bahwa serbuk kayu nangka alami memiliki kapasitas penjerapan 30% lebih besar bila dibandingkan dengan serbuk kayu nangka yang dimodifikasi dengan asam asetat, pada konsentrasi ion logam mula-mula 24 ppm (Mutiarra *et al.*, 2018). Pada penelitian ini dilakukan percobaan adsorpsi pada serbuk kayu nangka tanpa modifikasi kimia untuk mengetahui kinetika penjerapan ion Pb(II), pengaruh kecepatan putar dan pH terhadap kapasitas penjerapan.

## 2. METODE PENELITIAN

### Bahan

Serbuk kayu nangka yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari industri penggergajian kayu di daerah Sleman, Yogyakarta. Bahan kimia yang digunakan untuk membuat limbah sintetis adalah  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  dan semua larutan dibuat dengan menggunakan air distilasi sebagai pelarut, sedangkan pH larutan dikendalikan menggunakan NaOH dan HCl.

### Persiapan Bahan Baku

Serbuk kayu nangka yang merupakan limbah industri penggergajian, pertama-tama dihaluskan kembali menggunakan *blender*. Setelah serbuk menjadi lebih halus, serbuk di cuci menggunakan air distilasi untuk memastikan serbuk terbebas dari kotoran. Setelah ditiriskan, serbuk dikeringkan di dalam oven selama 24 jam pada suhu 80 °C. Setelah kering, kemudian serbuk diayak menggunakan saringan 80 mesh untuk mendapatkan serbuk dengan ukuran yang seragam.

### Analisa penjerapan ion Pb(II)

*Pengaruh pH larutan terhadap kapasitas penjerapan.*

Serbuk kayu nangka seberat 0,5 gram dicampur dengan 100 ml larutan Pb(II) dengan konsentrasi dan pH yang telah ditentukan yaitu 2, 3, 4, 5, dan 6. Campuran diaduk dengan kecepatan 250 rpm menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam kemudian didiamkan 24 jam. Sampel diambil untuk dianalisa konsentrasinya menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

Untuk menghitung jumlah ion Pb(II) yang terjerap di dalam serbuk kayu nangka, digunakan persamaan berikut:

$$q_e = \frac{(c_o - c_e)V}{w} \quad (1)$$

Efisiensi penjerapan atau *percent removal* (R%) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$R\% = \frac{(c_o - c_e)}{c_o} \times 100\% \quad (2)$$

dimana kapasitas penjerapan  $q_e$  (mg/g) adalah banyaknya ion Pb(II) yang terjerap pada tiap gram *adsorbent* pada kesetimbangan,  $c_o$  dan  $c_e$  (mg/l) adalah konsentrasi larutan Pb(II) mula-mula dan pada kesetimbangan. V (liter) adalah volume larutan Pb(II) dan W (g) adalah massa *adsorbent*.

*Kinetika penjerapan ion Pb(II) ke dalam bio adsorbent serbuk kayu nangka.*

Serbuk kayu nangka seberat 2,5 gram direndam dalam 500 ml larutan Pb(II) dengan konsentrasi dan pH yang telah ditentukan. Campuran diaduk dengan kecepatan 250 rpm. Sampel diambil pada tiap waktu yang ditentukan, kemudian konsentrasinya dianalisa menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

Kinetika penjerapan ion Pb(II) dianalisa menggunakan model kinetika Lagergren orde satu dan orde dua. Model kinetika Lagergren orde satu adalah sebagai berikut:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (3)$$

Dengan kondisi batas, saat  $t = 0$  maka  $q_t = 0$  dan saat  $t = t$  maka  $q_t = q_t$ , Persamaan (3) menjadi,

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (4)$$

Dimana  $q_t$  (mg/g) adalah banyaknya ion logam terjerap saat waktu  $t$  (menit) ;  $k_1$  adalah konstanta kecepatan (1/menit) ;  $q_e$  (mg/g) adalah banyaknya ion logam terjerap pada kesetimbangan. Konstanta kecepatan  $k_1$  dapat ditentukan dengan memplotkan nilai  $\ln(q_e - q_t)$  terhadap nilai  $t$ .

Persamaan Lagergren orde dua adalah:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (5)$$

Dengan kondisi batas jika  $t = 0$  maka  $q_t = 0$  dan jika  $t = t$  maka  $q_t = q_t$ . Persamaan 5 menjadi:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (6)$$

Dimana  $k_2$  (g/mg.min) adalah konstanta kecepatan persamaan orde dua. Nilai  $k_2$  dan  $q_e$  diperoleh dari *slope* dan *intercept* grafik  $t/q_t$  terhadap  $t$ .

### **Karakterisasi Serbuk Kayu Nangka**

Gugus fungsional diidentifikasi menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) *spectroscopy*. Spektrum FTIR dari serbuk kayu nangka dicatat pada kisaran panjang gelombang 4000 hingga 400  $\text{cm}^{-1}$  dengan Shimadzu IR Prestige 21 Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Spektrum FTIR serbuk kayu nangka sebelum dan sesudah proses penjerapan dibandingkan, untuk mengetahui gugus fungsional yang berhubungan dengan proses penjerapan ion Pb(II) ke dalam serbuk kayu nangka.

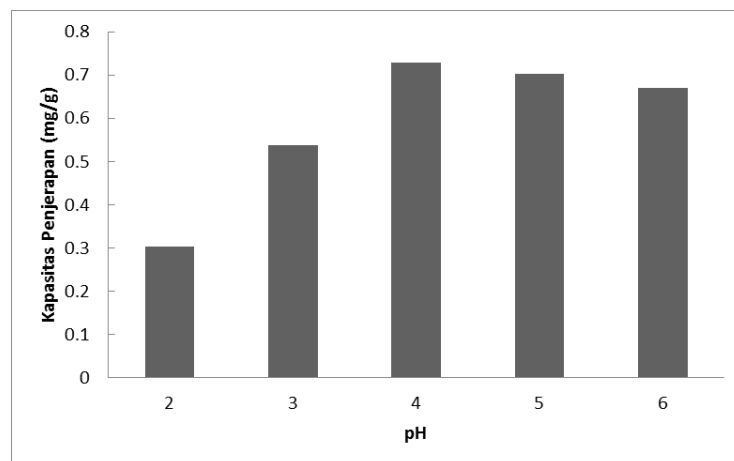


### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengaruh pH terhadap kapasitas penjerapan

Gambar 1 menunjukkan pengaruh pH terhadap kapasitas penjerapan *bio adsorbent* serbuk kayu nangka. pH yang ditentukan pada penelitian ini adalah 2, 3, 4, 5 dan 6. Kapasitas penjerapan mengalami peningkatan seiring peningkatan nilai pH pada larutan dengan pH 2 hingga 4. Pada larutan asam kapasitas penjerapan menurun karena pada satu situs aktif yang sama di permukaan serbuk kayu dimana pertukaran ion dapat terjadi, terdapat persaingan antara ion logam dengan proton  $H^+$  (Bozic *et al.*, 2013). Pada pH yang lebih tinggi konsentrasi ion  $H^+$  lebih rendah dan situs aktif mampu untuk melakukan pertukaran alkali dan alkalin dari *adsorbent* dengan ion logam berat dari larutan (Volesky dan Holan, 1995).

Namun, kemampuan penjerapan mulai menurun saat larutan memiliki pH 5 hingga 6. Hal ini terjadi karena pada pH di atas 5, diketahui di dalam larutan terjadi hidrolisis ion  $Pb(II)$  dan terbentuk endapan tak larut timbal hidroksida (Park *et al.*, 1999) yang mempengaruhi kapasitas penjerapan *adsorbent*. Dari percobaan diketahui bahwa pH maksimum untuk penjerapan ion  $Pb(II)$  menggunakan serbuk kayu nangka adalah pH 4, dengan nilai *percent removal* (R%) 93,7%. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian Meena *et al.* (2008) dan Feng dan Zhang (2013) dengan *percent removal* (R%) pada pH 4 masing-masing kurang dari 80%, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa serbuk kayu nangka menunjukkan hasil yang sangat baik dalam menghilangkan kandungan ion  $Pb(II)$  dari larutan.



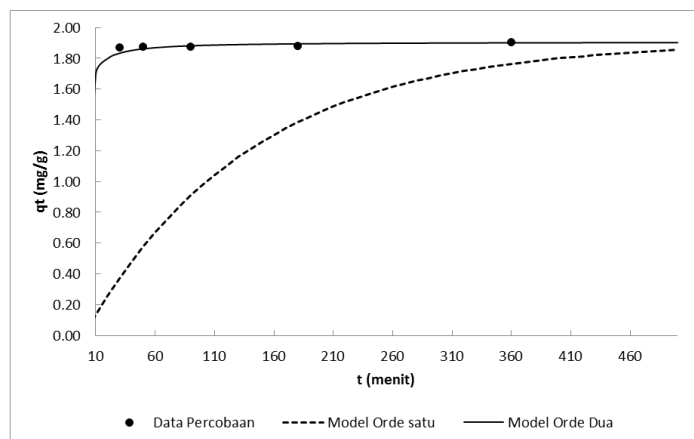
**Gambar 1.** Pengaruh pH terhadap kapasitas penjerapan ion  $Pb(II)$  ke *bio adsorbent* serbuk kayu nangka.

### Kinetika penjerapan ion Pb(II)

Tinjauan kinetika penjerapan menjelaskan kecepatan pengambilan zat terlarut dan membuktikan pengendali kecepatan pengambilan tersebut pada batas muka larutan-padatan, termasuk proses difusi. Mekanisme penjerapan tergantung pada karakter fisika dan kimia *adsorbent* dan proses transfer masa (Metcalf dan Eddy, 2003). Kinetika penjerapan ion Pb(II) pada penelitian ini dimodelkan dengan model kinetika Lagergren orde satu dan orde dua, dengan hasil seperti tersaji pada Gambar 2 dan Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 2 dapat dilihat bahwa model kinetika orde dua dapat mewakili peristiwa penjerapan ion Pb(II) ke dalam *bio adsorbent* serbuk kayu nangka. Model orde dua didasarkan pada asumsi bahwa batasan kecepatan dimungkinkan oleh sorpsi kimia yang melibatkan gaya valensi melalui penggunaan bersama atau pertukaran ion antara ion Pb(II) dengan *adsorbent* (Feng dan Zhang, 2013).

Dari model kinetika orde dua dapat diketahui nilai kapasitas penjerapan pada kesetimbangan yaitu 1,91 mg/g dan waktu optimum penjerapan adalah 360 menit. Setelah itu kapasitas penjerapan masih mengalami peningkatan namun nilainya sangat kecil yaitu kurang dari  $10^{-3}$  mg/g.



**Gambar 2.** Model kinetika Lagergren orde satu dan orde dua penjerapan ion Pb(II) dalam serbuk kayu nangka. Massa serbuk kayu 2,5 gram, konsentrasi ion Pb(II) mula-mula 10,4 mg/L, dan volume larutan 500 mL.

**Tabel 1.** Nilai parameter model kinetika Lagergren orde satu dan orde dua penjerapan ion Pb(II) dalam serbuk kayu nangka

<i>Bio adsorbent</i>	$q_e$ (mg/g)	Model orde satu		Model orde dua	
		$k_1$ (1/min)	SSE	$k_2$ (g/mg.min)	SSE
Serbuk kayu nangka	1,91	0,0072	5,1413	0,435	0,0033

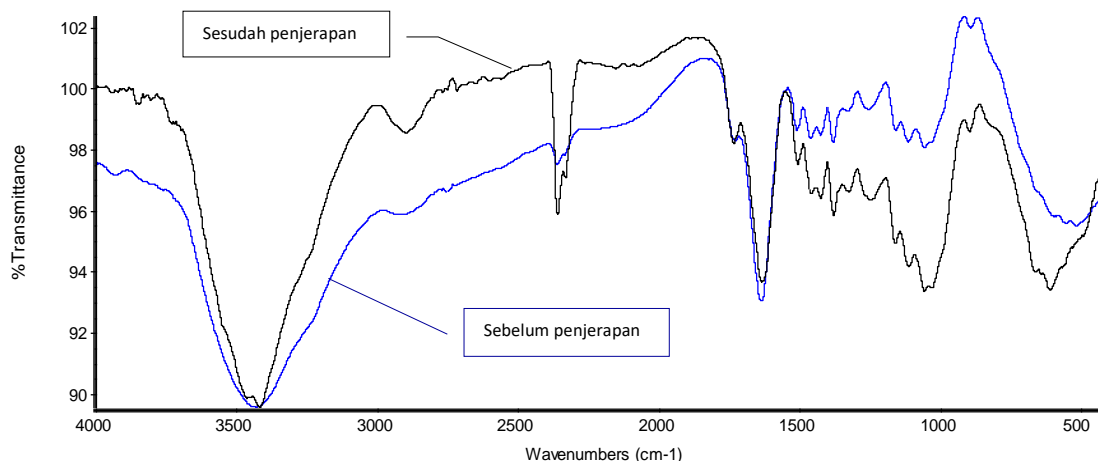
### Spektrum FTIR

Spektrum infra merah serbuk kayu nangka alami dengan serbuk kayu nangka dengan kandungan ion Pb(II) diperoleh dengan menggunakan Shimadzu IR Prestige 21 Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Spektroskopi infra merah adalah salah satu teknik spektroskopi yang umum digunakan untuk komponen organik dan anorganik. Gambar 3 menunjukkan sejumlah puncak absorpsi yang menandakan keberadaan gugus-gugus fungsional yang dimiliki oleh serbuk kayu nangka. Pada Gambar 3 dibandingkan antara puncak absorpsi yang dimiliki oleh serbuk kayu nangka sebelum dengan serbuk kayu nangka setelah proses penjerapan ion Pb(II).

Analisa FTIR menunjukkan puncak pada panjang gelombang  $3431\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan keberadaan gugus hidroksil  $-\text{OH}$  dan amina  $-\text{NH}$ . Puncak pada  $2362\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus nitril  $-\text{C}\equiv\text{N}$ . Puncak di  $1636\text{ cm}^{-1}$  mewakili gugus  $-\text{C}=\text{O}$  yang mungkin berasal dari gugus karboksil atau gugus ester. Puncak pada  $1510\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan keberadaan gugus karbonil  $-\text{C}=\text{O}$ , puncak pada  $1426\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus  $\text{CH}_3$ , puncak di  $1380\text{ cm}^{-1}$  menandakan vibrasi  $\text{NO}_2$ , puncak pada  $1256\text{ cm}^{-1}$  menandakan keberadaan  $\text{SO}_3$ , puncak pada  $1058\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya C-O dari polisakarida, dan puncak pada  $517\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan gugus  $-\text{CN}$ .

Terdapat pergeseran puncak antara serbuk kayu nangka alami dan serbuk kayu nangka yang mengandung ion Pb(II), menandakan peran gugus-gugus fungsi dalam pengikatan ion Pb(II) di permukaan serbuk kayu. Munculnya puncak pada panjang gelombang  $2900\text{ cm}^{-1}$  gugus fungsional C-H dari golongan metil dan metilena dan muncul puncak pada  $1735\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan adanya  $-\text{C}=\text{O}$  dari gugus karboksilat. Selain itu, intensitas puncak gelombang mengalami peningkatan setelah proses penjerapan yaitu pada panjang gelombang  $2360$  dan  $1510\text{ cm}^{-1}$  yang menandakan keberadaan gugus nitril  $-\text{C}\equiv\text{N}$  dan gugus karbonil  $-\text{C}=\text{O}$ . Berdasarkan analisa spektrum FTIR dapat diketahui bahwa gugus fungsional yang

berperan pada proses penjerapan ion logam Pb(II) oleh serbuk kayu nangka adalah ikatan C–H dari golongan metil dan metilena, gugus karbonil –C=O dan gugus nitril –C≡N yang ditandai dengan kemunculan puncak baru dan peningkatan intensitas. Gugus fungsi C–H dan C=O umum terdapat pada material tanaman yang kaya akan selulosa (Losev *et al.*, 2018), dan terutama gugus fungsi C=O dan CN terlibat pada proses biosorpsi (Vinodhini dan Das, 2009).



**Gambar 3.** Perbandingan spektrum infra merah serbuk bio *adsorbent* kayu nangka sebelum dan setelah proses penjerapan

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa *bio adsorbent* dari serbuk kayu nangka dapat menjadi *adsorbent* yang efektif dalam menyerap ion logam Pb(II) dari larutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH larutan berperan penting pada penjerapan ion Pb(II), pada pH 2 hingga 4 kapasitas penjerapan naik seiring dengan kenaikan nilai pH, namun kemampuan penjerapan mengalami penurunan pada pH larutan 5 hingga 6. Kinetika penjerapan ion Pb(II) ke dalam *bio adsorbent* serbuk kayu nangka terwakili dengan baik oleh model kinetika orde dua dengan persamaan:  $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{1,582} + \frac{1}{1,91}t$ , dengan nilai SSE sebesar 0,0033. Analisa FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsional yang berperan pada proses penjerapan ion Pb(II) oleh serbuk kayu nangka. Dari spektrum infra merah diketahui bahwa ikatan C–H dari golongan metil dan metilena, gugus karbonil –C=O dan gugus nitril –C≡N memberikan kontribusi pada pengikatan ion Pb(II) di permukaan *bio adsorbent*.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Bozic, D., Gorgievski, M., Stankovic, V., Strbac, N., Serbula, S., Petrovic, N., (2013), Adsorption of heavy metal ions by beech sawdust – Kinetics, mechanism and equilibrium of the process, *Ecological Engineering*, 58, pp. 202–206.
- Fan, Hong-Lei, Zhou, Shao-Feng, Jiao, Wei-Zhou, Qi Gui-Sheng, Liu, You-Zhi, (2017), Removal of heavy metal ions by magnetic chitosan nanoparticles prepared continuously via high-gravity reactive precipitation method, *Carbohydrate Polymers*, 174, pp. 1192-1200.
- Feng, Q., Wu, D., Zhao, Y., Wei, A., Wei, Q., Fong, H., (2018), Electrospun AOPAN/RC blend nanofiber membrane for efficient removal of heavy metal ions from water, *Journal of Hazardous Materials*, 344, pp. 819-828.
- Feng, N. and Zhang, F., (2013), Untreated Chinese ephedra residue as biosorbents for the removal of  $Pb^{2+}$  ions from aqueous solutions, *Procedia Environmental Sciences*, 18, pp. 794–799.
- Jusoha, A., Lam, S.S., Noraaini, A., Noor, M.J.M.M., (2007), A simulation study of the removal efficiency of granular activated carbon on cadmium and lead, *Desalination*, 206, pp. 9–16.
- Kobielska P.A., Howarth A.J., Farha O.K., Nayak S., (2018), Metal–organic frameworks for heavy metal removal from water, *Coordination Chemistry Reviews*, 358, pp. 92–107.
- Losev, V.N., Elsufiev, E.V., Buyko, O.V., Trofimchuk, A.K., Horda, R.V., Legenchuk, O.V., (2018), Extraction of precious metals from industrial solutions by the pine (*Pinus sylvestris*) sawdust-based biosorbent modified with thiourea groups, *Hydrometallurgy*, 176, pp. 118–128.
- Manzoor Q., Nadeem, R., Iqbal, M., Saeed, R., Ansari, T.M., (2013), Organic acids pretreatment effect on *Rosa bourbonia* phyto-biomass for removal of Pb(II) and Cu (II) from aqueous media, *Bioresource Technology*, 132, pp. 446–452.
- Martin, D.M., Faccinia, M., García, M.A., Amantia, D., (2018), Highly efficient removal of heavy metal ions from polluted water using ion-selective polyacrylonitrile nanofibers, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1), pp. 236-245.
- Meena, A.K., Kadirvelu, K., Mishra, G.K., (2008), Adsorptive removal of heavy metals from aqueous solution by treated sawdust (*Acacia arabica*), *Journal of Hazardous Materials*, 150, pp. 604–611
- Metcalf dan Eddy, 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, fourth edition, McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.

- Mutiara, T., Karisa, P.C., Mujahidah, I., (2018), Acid modified jackfruit wood sawdust as biosorbent for the removal of Fe(II) from aqueous solutions, MATEC Web of Conferences, 154, pp. 01019.
- Park, J.Y., Jeon, C., Yoo, Y.J., (1999), Journal of Microbiology Biotechnology, 9, pp. 650.
- Salazar-Rabago, J.J. and Leyva-Ramos, R., (2016), Novel biosorbent with high adsorption capacity prepared by chemical modification of white pine (*Pinus durangensis*) sawdust. Adsorption of Pb(II) from aqueous solutions, Journal of Environmental Management, 169, pp. 303-312.
- Tavakoli, O., Goodarzi, V., Saeb, M.R., Mahmoodi, N.M., Borja, R., (2017), Competitive Removal of Heavy Metal Ions from Squid Oil Under Isothermal Condition by CR11 Chelate Ion Exchanger, Journal of Hazardous Materials, 334, pp. 256-266.
- Tripathi, A., and Ranjan, M.R., (2015), Heavy Metal Removal from Wastewater Using Low Cost Adsorbents, Journal of Bioremediation & Biodegradation, 6, pp. 6.
- Vinodhini, V. and Das, N., (2009), Mechanism of Cr (VI) Biosorption by Neem Sawdust, American-Eurasian Journal of Scientific Research, 4 (4), pp. 324-329.
- Volesky, B., Holan, Z.R., (1995), Biosorption of heavy metals, Biotechnology Prog., 11, pp. 235–250.
- Zare, E.N., Motahari, A., Sillanpää, M., (2018), Nanoadsorbents based on conducting polymer nanocomposites with main focus on polyaniline and its derivatives for removal of heavy metal ions/dyes: A review, Environmental Research, 162, pp. 173-195.
- Zhao, X. and Liu, C. (2018), Efficient removal of heavy metal ions based on the optimized dissolution-diffusion-flow forward osmosis process, Chemical Engineering Journal, 334, pp. 1128-1134.

## **FAKTOR PENDORONG KEBERLANJUTAN PENGELOLAAN SAMPAH RUMAH TANGGA BERBASIS PARTISIPASI MASYARAKAT DI KOTA BALIKPAPAN DAN BOGOR**

**Nino Heri Setyoadi**

Balai Litbang Penerapan Teknologi Permukiman  
Puslitbang Kebijakan dan Penerapan Teknologi Balitbang PUPR  
E-mail: ninosekkim@hotmail.com

### **Abstrak**

Upaya pengurangan dan penanganan sampah membutuhkan partisipasi penuh dari masyarakat. Upaya atau gerakan *reduce*, *reuse*, dan *recycle* (3R) juga belum menunjukkan hasil yang signifikan, terbukti hanya 7,5% sampah yang diolah menjadi kompos dan daur ulang. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu pengkajian mengenai faktor pendorong keberlanjutan pengelolaan sampah rumah tangga berbasis masyarakat. Tulisan ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor pendorong keberlanjutan pengelolaan sampah partisipatif di kota Bogor dan Balikpapan. Pendekatan yang digunakan berupa metode kualitatif dengan menganalisis data melalui proses deskripsi, tendensi, dan interpretasi pada setiap faktor pendorong keberlanjutan pengelolaan sampah. Hasil penelitian ini menunjukkan terdapat 6 (enam) faktor pendorong yang berperan dalam keberlanjutan pengelolaan sampah di kota Bogor dan Balikpapan. Faktor pendorong tersebut meliputi peran tokoh masyarakat, manfaat ekonomi, manfaat sosial, manfaat lingkungan, jaringan pengelolaan sampah, serta stimulasi dan fasilitasi pemerintah daerah. Dari keenam faktor pendorong tersebut, peran tokoh masyarakat dan jaringan pengelolaan sampah merupakan faktor pendorong yang paling signifikan dalam mendorong keberlanjutan pengelolaan sampah berbasis partisipasi masyarakat.

**Kata kunci : keberlanjutan, partisipasi masyarakat, faktor pendorong, sampah rumah tangga**

### **Abstract**

Solid waste reduction and handling efforts require full community participation. The 3R movement has not shown significant result, it was only 7.5% of waste that is processed into compost and recycle, 10% still in the grave in the ground, 5% was burned, and 8.5% unmanaged. As much as 69% of the total waste was dumped into the waste landfill. For that we need an assessment the push factors of sustainability of community-based solid waste management. This paper aims to analyze the push factors of sustainability community-based solid waste management in the cities of Bogor and Balikpapan. The approach used in the form of qualitative research methods through the process of description, tendency, and interpretation. The results showed that there are 6 (six) push factors that play a major role in the sustainability of community-based solid waste management in the cities of Bogor and Balikpapan. The push factors include the role of community leaders, economic benefits, social benefits, environmental benefits, the management network, and the stimulation and facilitation of local government. The role of community leaders and the waste management network was the most significant push factor in encouraging the sustainability of waste management based on community participation.

**Keywords: community participation, push factor, domestic waste, and sustainability**

## 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan UU No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, tujuan utama pengelolaan sampah adalah meningkatkan kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan serta menjadikan sampah sebagai sumber daya. Upaya pengelolaan sampah tersebut terdiri dari pengurangan sampah dan penanganan sampah. Pengurangan sampah dapat meliputi pembatasan timbulan, daur ulang, dan pemanfaatan kembali sampah, sedangkan penanganan sampah dapat meliputi upaya pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan dan pemrosesan akhir sampah (Direktorat PPLP, 2012).

Upaya pengurangan dan penanganan sampah membutuhkan partisipasi penuh dari masyarakat. Partisipasi masyarakat sangat penting karena masyarakat sebagai produsen sampah, masyarakat paling mengetahui kondisi pengelolaan sampah di lingkungannya. Selain itu masyarakatlah yang paling merasakan dampaknya jika sampah tidak terkelola dengan baik. Pengurangan sampah sejak dari sumbernya, khususnya sampah rumah tangga dan sejenisnya, tidak dapat berjalan tanpa keterlibatan keluarga dengan anggotanya. Demikian halnya dengan upaya penanganan sampah, kontribusi masyarakat berupa lahan, retribusi/iuran, kelembagaan komunitas dan dukungan lainnya sangat berpengaruh terhadap keberlanjutan penanganan sampah. Partisipasi aktif dari berbagai pihak seperti masyarakat dan pemerintah sangat diperlukan untuk keberhasilan dalam pengelolaan sampah (Arsanti dan Giyarsih, 2012).

Sampai dengan saat ini, berbagai strategi telah ditempuh oleh pemerintah dan pemangku kepentingan yang lain. Proses penyadaran masyarakat dengan kampanye 3R sudah berlangsung bertahun-tahun di berbagai kota/kabupaten. Berbagai bentuk pengelolaan sampah skala lingkungan juga bermunculan, seperti pengelolaan sampah mandiri, bank sampah, sedekah sampah, TPS 3R, dan sebagainya.

Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2016 menunjukkan bahwa pada tahun 2015 pengurangan sampah hanya sebesar 6,5 juta ton (10%) dari 71 juta ton sampah yang dihasilkan. Sumber timbulan sampah terbesar berasal dari sampah rumah tangga (48%), pasar tradisional (24%), kawasan komersial (9%), jalan (7,5), kantor (6%), sekolah (4%), dan lainnya sebesar 1,5%. Upaya atau gerakan 3R juga belum menunjukkan hasil yang signifikan, terbukti hanya 7,02 % dari sampah yang terolah menjadi kompos, 6,98 % diolah lainnya, sebanyak 66,39% dari total sampah ditimbun di TPA dan 19,62 % tidak terkelola (Ditjen PSLB3, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa pola pengelolaan sampah konvensional (kumpul-angkut-buang) masih mendominasi pengelolaan sampah di Indonesia.

Hasil monitoring dan evaluasi pengelolaan TPS 3R tahun anggaran 2012 yang diinisiasi oleh Direktorat PLP Cipta Karya menunjukkan keberfungsian TPS 3R masih rendah. Sebanyak 20 % TPS 3R tidak berfungsi, 46 % kurang berfungsi dan hanya 34 % yang dapat berfungsi. Parameter utama yang paling mempengaruhi ketidakberfungsian TPS 3R adalah potensi keberlanjutan program dengan prosentase 0,46% dan peran serta masyarakat dengan prosentase 2%. Rendahnya potensi keberlanjutan dan peran serta masyarakat terlihat dari disebabkan oleh tidak adanya sumber pendanaan yang memadai untuk keberlangsungan TPS 3R, tidak adanya pendampingan secara berkelanjutan dalam operasional TPS 3R, kurangnya monitoring dari



Pemda atau Dinas terkait. Pada aspek peran masyarakat disebabkan oleh lemahnya keterlibatan masyarakat dalam kegiatan TPS 3R dan lemahnya komitmen masyarakat untuk membantu dan mengembangkan kegiatan di TPS 3R (Direktorat PPLP, 2013).

Dengan berkaca pada permasalahan tersebut, suatu pengkajian mengenai faktor pendorong keberlanjutan pengelolaan sampah rumah tangga berbasis masyarakat diperlukan. Identifikasi faktor pendorong keberlanjutan pengelolaan sampah tersebut sangat penting artinya bagi perumusan kebijakan, strategi dan program / kegiatan pengelolaan sampah partisipatif. Pengkajian mengenai faktor pendorong pengelolaan sampah berbasis partisipasi masyarakat dilakukan pada dua kota, yakni Balikpapan dan Bogor. Kota Balikpapan dipilih karena merupakan kota penerima Adipura Kencana pada tahun 2014 yang pengelolaan sampahnya sudah diakui secara nasional, sementara kota Bogor di pilih karena terdapat contoh terbaik (*best practices*) pengelolaan TPS 3R yang berfungsi dengan baik dan berkelanjutan. Kota Balikpapan memiliki 558 TPS dimana 82,08 % telah berfungsi dan dinilai memenuhi syarat, sementara 18,40 % tidak memenuhi syarat. Angka tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar sarana pengelolaan sampah bekerja dengan optimal (DKPP Kota Balikpapan, 2014). Berdasarkan informasi dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) kota Bogor, semenjak dilakukan pilot project di tahun 2005 mengenai kegiatan pengomposan maka semakin tumbuh kegiatan pengomposan sampah diberbagai lokasi secara konsisten seperti di wilayah Perumahan Griya Melati, Indra Prasta, Bantar Kemang, Gunung Batu, Yasmin dan Mulya Harja. Hal ini menunjukkan peningkatan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah di kota Bogor. Tulisan ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor pendorong keberlanjutan pengelolaan sampah partisipatif di kota Bogor dan Balikpapan. Hasil analisis ini diharapkan dapat menjadi bahan untuk penyusunan kebijakan optimalisasi dan keberlanjutan pengelolaan sampah partisipatif, khususnya di kedua wilayah tersebut.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Partisipasi Masyarakat dalam Pengelolaan Sampah

Menurut Undang-Undang Nomor 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah menyebutkan bahwa masyarakat harus berpartisipasi dalam pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenis rumah tangga, dalam hal pengurangan sampah dan penanganan sampah. Sebelumnya, keterlibatan masyarakat dalam mengelola sampah sudah pernah diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 21/PRT/M/2006 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Pengelolaan Persampahan. Pengelolaan sampah berbasis masyarakat merupakan salah satu strategi dari kebijakan dalam Peraturan Menteri No. 21/PRT/M/2006 berupa peningkatan peran aktif masyarakat dan dunia usaha/swasta sebagai mitra pengelolaan (Sidiq, 2009).

Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat (PSBM) atau *Community Based Solid Waste Management* (CBSWM) adalah sistem penanganan sampah yang direncanakan, disusun, dioperasikan, dikelola dan dimiliki oleh masyarakat. Tujuannya adalah agar tercapai kemandirian masyarakat dalam mempertahankan kebersihan lingkungan melalui pengelolaan sampah yang

ramah lingkungan. Adapun prinsip-prinsip PSBM terdiri dari partisipasi masyarakat, kemandirian, efisiensi, perlindungan lingkungan serta keterpaduan (Sidiq, 2009).

Keberhasilan pengelolaan sampah di daerah karena semua *stakeholder*-nya berperan aktif dalam mengelola sampah. Semangat masyarakat didukung penuh oleh pemerintah daerah, seperti melalui pemberian sarana dan prasarana dan dukungan regulasi, disamping dukungan pihak swasta, LSM, media massa, dan perguruan tinggi (Leksono, 2009). Pengelolaan sampah berbasis masyarakat tidak akan berkelanjutan tanpa adanya kemitraan yang kuat antara kelompok masyarakat dan pemerintah daerah. Pemerintah daerah seharusnya menciptakan kerangka kerja bersama yang dapat memberi peluang kerjasama antara penanggung jawab persampahan di pemerintahan daerah dan pemuka kelompok masyarakat (Mungkasa, 2009).

Keberhasilan pengelolaan sampah di lingkungan permukiman masih sangat bergantung pada keberadaan kampiun. Kampiun merupakan istilah bagi tokoh masyarakat yang memiliki komitmen tinggi dalam mengelola sampah di lingkungannya, mempengaruhi masyarakat sekitarnya untuk mengelola sampah bersama-sama. Jika kampiun bisa ditemukan, maka pengelolaan sampah di lingkungan permukiman dapat berjalan lancar. Kampiun sendiri bisa seorang tokoh masyarakat, guru, atau bahkan ibu rumah tangga. Dalam kasus pengolahan sampah, kampiunnya rata-rata merupakan ibu rumah tangga (Mungkasa, 2009 dan Widiarti, 2012).

## 2.2 Pendorong Keberlanjutan Pengelolaan Sampah

Berbagai ahli telah mengemukakan tentang faktor pendorong keberlanjutan pengelolaan sampah berbasis masyarakat. Menurut Klundert dan Anschutz (2001), terdapat 6 aspek pengelolaan sampah terpadu yang berkelanjutan yaitu; teknis, lingkungan, ekonomi/finansial, sosial budaya, institusional/kelembagaan, dan peraturan/kebijakan. Tiga prinsip keberlanjutan pengelolaan sampah terpadu meliputi secara ekonomi menguntungkan, secara ekologis dapat dipertanggungjawabkan (ramah lingkungan) dan secara sosial budaya dapat diterima oleh sistem dan tata sosial (Utami et al., 2008).

Penelitian terhadap pengelolaan sampah rumah tangga di kelurahan Tembalang kota Semarang menunjukkan faktor pendorong berupa kesadaran terhadap dampak dan manfaat pengelolaan sampah, manfaat ekonomi penjualan sampah anorganik, manfaat kompos untuk penghijauan lingkungan, kinerja kelompok tani cinta bunga/kelembagaan, pendidikan dan pengalaman serta ketersediaan sarana (Hapsari, 2014). Penelitian lain di Jakarta Selatan menunjukkan peran tokoh agama, tokoh masyarakat dan media massa menjadi elemen kunci dalam mendorong pengelolaan sampah partisipatif melalui peran sosialisasi dan komunikasi efektif kepada warga masyarakat (Kholil et al., 2008). Fenomena menarik di wilayah Banjarsari Jakarta Selatan bahwa kegiatan *replant* (penghijauan) dapat menambah manfaat ekonomi pengelolaan sampah secara berkelanjutan dengan adanya nilai tambah dari tanaman hias dan tanaman obat keluarga yang di nikmati bersama (Utami et al., 2008).

### 3. METODE PENELITIAN

Pendekatan yang digunakan pada penelitian ini berupa metode kualitatif. Analisis data dilakukan melalui proses deskripsi, tendensi, dan interpretasi setiap faktor pendorong keberlanjutan pengelolaan sampah. Proses deskripsi adalah upaya untuk menggambarkan persamaan dan perbedaan setiap faktor pendorong pengelolaan sampah rumah tangga di kedua kota. Proses tendensi dilakukan untuk melihat kecenderungan yang menunjukkan derajat kualitas persamaan dan perbedaan faktor pendorong tersebut. Proses interpretasi berupa penjelasan adanya persamaan dan perbedaan serta tendensi yang terlihat di kedua lokasi tersebut (Usman, 2011). Dalam tulisan ini, kualitas dapat dimaknai dari aspek efektifitas pengelolaan sampah berbasis partisipasi masyarakat guna mencapai keberlanjutan pengelolaan sampah tersebut.

Berdasarkan hasil kajian pustaka yang dari Hapsari (2014), Kholil et al. (2008), Utami et al. (2008), maka faktor-faktor pendorong keberlanjutan pengelolaan sampah berbasis partisipasi masyarakat tersebut meliputi peran tokoh masyarakat, manfaat ekonomi, manfaat sosial, manfaat lingkungan. Selain itu penulis menambahkan faktor jaringan antar pelaku serta stimulasi dan fasilitasi pemerintah daerah sebagai faktor pendorong keberlanjutan pengelolaan sampah, sebagai bagian dari aspek institusional/kelembagaan sebagaimana yang disampaikan oleh Klundert dan Anschutz (2001).

Untuk memperoleh data dan informasi yang akurat mengenai faktor-faktor pendorong keberlanjutan tersebut, maka dilakukan beberapa metode pengambilan data dan informasi meliputi wawancara tokoh dan instansi, observasi lapangan, dan dokumentasi data sekunder. Wawancara tokoh dan instansi dilakukan kepada Lurah, pengelola TPS 3R, pengelola bank sampah, tokoh pemuda Karang Taruna, ibu-ibu penggerak PKK, dan pejabat terkait di dinas kebersihan atau dinas lingkungan hidup. Observasi lapangan dilakukan dengan meninjau kegiatan penanganan sampah di lingkungan permukiman, TPS 3R, dan Bank Sampah. Dokumentasi data sekunder dilakukan dengan mempelajari data dan profil penanganan sampah di masing-masing kota. Berikut metode pengumpulan dan analisis data yang telah dilakukan (Tabel 1).

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Peran Tokoh Masyarakat

Keberadaan tokoh masyarakat dalam pengelolaan sampah partisipatif berperan penting dalam memelopori, mengkampanyekan, dan mengelola sampah dilingkungannya. Dalam memelopori pengelolaan sampah, masyarakat kita masih membutuhkan figur teladan yang dapat dijadikan panutan. Tabel 2 menunjukkan informasi peran masing-masing tokoh di kota Bogor dan Balikpapan.

Tokoh-tokoh masyarakat yang bergerak dalam pengelolaan sampah di kota Bogor merupakan tokoh pemuda, ibu-ibu PKK hingga ketua RT/RW dan lurah. Para tokoh pemuda memandang kebiasaan masyarakat membuang sampah sembarangan ke sungai merugikan masyarakat dan harus dihentikan. Para pemuda tersebut mengambil resiko

bertentangan dengan masyarakat umum ketika pemerintah berencana memfasilitasi TPS 3R di lingkungan mereka. Dengan kegigihan para pemuda, dampak positif pengelolaan sampah dengan pola 3R terhadap lingkungan dapat dibuktikan. Sebagian anggota masyarakat yang sebelumnya menolak, menjadi terlibat dalam pengelolaan sampah partisipatif.

Peran tokoh perempuan yang bergerak dalam wadah gerakan PKK juga cukup signifikan. Gerakan PKK di kota Bogor menjadi mitra Dinas Kebersihan dan Pertamanan (DKP) kota Bogor dalam mensosialisasikan pengelolaan sampah skala rumah tangga. Mereka bergerak aktif melakukan penerapan TTG pembuatan kompos dengan metode takakura di kelurahan Cilendek Barat, Mekarwangi, Cibuluh dan Cibadak. Gerakan PKK juga dimanfaatkan oleh tokoh pemuda di kelurahan Mulyaharja untuk mensosialisasikan pengelolaan sampah 3R di masyarakat. Selain itu, peran tokoh formal seperti ketua RT/RW dan lurah tidak kalah penting. Mereka yang selama ini memfasilitasi masyarakat dalam pemilihan lokasi TPS 3R, mendukung KSM (kelompok keswadayaan masyarakat) pengelola TPS 3R di lingkungan mereka. Tanpa dukungan dan fasilitasi ketua RT/RW dan lurah, keberadaan TPS 3R akan sulit diwujudkan. Dukungan tokoh formal semakin menguatkan kiprah para tokoh informal yang bergerak di lapangan.

**Tabel 1.** Metode pengumpulan dan analisis data

Teknik Pengumpulan Data	Sumber Data	Metode Analisis
Wawancara	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kota Bogor : Tokoh PKK kelurahan Mulyaharja, Cilendek Barat, Mekarwangi, Cibuluh dan Cibadak; Lurah Mulyaharja; Pengurus Asosiasi KPS 3R; Bidang Pembinaan Pengelolaan Sampah DKP</li> <li>Kota Balikpapan : Pengurus Bank Sampah Tegalsari, Batu Ampar, Graha Indah, Sepinggian, Damai Bahagia, Damai Baru, Gunung Bahagia, Gunungsari Ulu, Sumberejo, Karangrejo, Mekarsari, Muara Rapak, Prapatan, Lamaru, Klandasan Ulu, Manggar, Manggar Baru, dan Karang Joang; Ketua LSM WALIBAR, Seksi Kebersihan Jalan dan Lingkungan DLH</li> </ul>	Deskriptif kualitatif
Observasi Lapangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>TPS 3R Mulyaharja</li> <li>Bank Sampah</li> </ul>	Deskriptif kualitatif
Dokumentasi Data Sekunder	<ul style="list-style-type: none"> <li>Paparan Monitoring dan Evaluasi Kegiatan 3R 2013</li> <li>Profil Pengelolaan Sampah Kota Balikpapan 2014</li> <li>Profil Pengelolaan Sampah Kota Bogor 2013</li> </ul>	Deskriptif kualitatif

**Tabel 2.** Peran tokoh masyarakat

Elemen Tokoh Masyarakat	Bogor	Balikpapan
Tokoh perempuan (PKK dan Dasa Wisma)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Setiap pertemuan rutin melakukan sosialisasi pengelolaan sampah rumah tangga</li> <li>- Menjadi mitra Dinas Kebersihan dan Pertamanan (DKP) kota Bogor dalam pengelolaan sampah rumah tangga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Setiap pertemuan rutin melakukan sosialisasi pengelolaan sampah rumah tangga dengan pola bank sampah</li> <li>- Membentuk dan menyelenggarakan bank sampah di berbagai wilayah</li> </ul>
Tokoh pemuda karang taruna	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mempelopori sosialisasi TPS 3R di saat sebagian warga menolak</li> <li>- Menjadi penggerak dan pengelola TPS 3R</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemuda khususnya pelajar lebih banyak terlibat di sekolah dalam program adiwiyata</li> <li>- Peran di lingkungan tidak terlalu menonjol</li> </ul>
Ketua RT/RW	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mendukung pengelolaan sampah melalui TPS 3R</li> <li>- Memfasilitasi pertemuan-pertemuan</li> <li>- Memfasilitasi pemilihan lokasi TPS 3R</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aktif dalam memfasilitasi kegiatan bank sampah</li> <li>- Menyediakan lahan/lokasi bank sampah</li> <li>- Memfasilitasi tempat pertemuan pengelola bank sampah</li> </ul>
Lurah	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mendukung pengelolaan sampah melalui TPS 3R</li> <li>- Memfasilitasi pertemuan-pertemuan</li> <li>- Memfasilitasi pemilihan lokasi TPS 3R</li> <li>- Memberikan akses kepada dinas/instansi terkait</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bersama pemkot Balikpapan memfasilitasi bimbingan teknis pengelolaan sampah</li> <li>- Memilih kader-kader lingkungan untuk dilatih pengelolaan sampah</li> </ul>
Tokoh LSM Lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sosialisasi dan kampanye pengelolaan sampah</li> <li>- Pendidikan dan pelatihan pengelolaan sampah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sosialisasi pengelolaan sampah</li> <li>- Pendidikan dan pelatihan pengelolaan sampah</li> <li>- Memfasilitasi pembentukan bank sampah</li> <li>- Memfasilitasi pemasaran bank sampah</li> <li>- Memfasilitasi akses ke sumberdaya</li> </ul>

Sumber: Analisis peneliti (2014)

Tokoh atau kader lingkungan sebagian besar merupakan inisiasi masyarakat yang didampingi oleh fasilitasi CSR swasta nasional melalui Yayasan WALIBAR. Oleh karena itu peran LSM tersebut dalam menginisiasi dan mendampingi secara berkelanjutan sangat berarti bagi tumbuh dan berkembangnya kader-kader lingkungan di Balikpapan. Kader-kader lingkungan di Balikpapan mayoritas adalah ibu-ibu dan merupakan pengelola bank sampah di wilayah masing-masing.

Di wilayah kota Balikpapan, keberadaan bank sampah sangat di dukung oleh tokoh formal seperti ketua RT /RW. Bank Sampah di kota Balikpapan tersebar di berbagai lokasi meliputi bank sampah di kelurahan Tegalsari, Batu Ampar, Graha Indah, Sepinggan, Damai Bahagia, Damai Baru, Gunung Bahagia, Gunungsari Ulu, Sumberejo, Karangrejo, Mekarsari, Muara Rapak, Prapatan, Lamaru, Klandasan Ulu, Manggar, Manggar Baru, dan Karang Joang. Penyebaran bank sampah diberbagai kelurahan tersebut tidak lepas dari kontribusi tokoh LSM lingkungan dari Yayasan WALIBAR. Selama ini Yayasan WALIBAR telah merintis pembentukan, melatih, dan membina beberapa bank sampah di kota Balikpapan. Yayasan WALIBAR selalu melibatkan tokoh-tokoh masyarakat terutama ibu-ibu Dasawisma, Ketua RT dan RW dalam mengelola dan membina bank sampah.

Tokoh masyarakat di kota Balikpapan melakukan dukungan kepada bank sampah dalam bentuk penyediaan lahan/lokasi bank sampah dan memfasilitasi pertemuan-pertemuan pengurus bank sampah. Selain itu mereka juga aktif menggerakkan warganya untuk menabung sampah di bank sampah yang ada. Hasil wawancara dengan para pengurus bank sampah di kota Balikpapan menunjukkan bahwa peran tokoh masyarakat sangat dibutuhkan dalam keberlanjutan pengelolaan bank sampah.

Beberapa bentuk peran yang diharapkan oleh pengurus tersebut antara lain tokoh yang memberikan contoh atau teladan, tokoh yang aktif memberikan pendidikan kepada warga, tokoh yang mampu memotivasi warga, tokoh yang mampu membawa aspirasi warga kepada pihak lain, serta keterlibatan aparat setempat seperti lurah hingga Ketua RT. Sebagian pengurus bank sampah menilai peran lurah sebagai perwakilan pemerintah kota kurang optimal. Para pengurus bank sampah berharap peran lurah, khususnya dalam berinteraksi dengan pengurus bank sampah, melakukan tinjauan lapangan dan memfasilitasi ke akses sumberdaya bisa semakin ditingkatkan.

Berdasarkan persamaan faktor ketokohan di kedua kota dapat diketahui bahwa peran tokoh perempuan dan tokoh formal seperti RT/RW sangat berperan penting dalam keberlanjutan pengelolaan sampah. Perbedaan mendasar dikedua kota tersebut adalah peran tokoh pemuda dan lurah yang lebih menonjol di kota Bogor. Untuk kota Bogor, peran ketokohan selain inisiatif masyarakat juga ditopang oleh berbagai fasilitasi pemerintah daerah dalam wujud kemitraan. Sementara peran LSM di kota Balikpapan lebih dominan dalam menggerakkan inisiatif masyarakat. Jika dilihat dari perbedaan khususnya pada peran pemuda, keberlanjutan di kota Bogor lebih menjanjikan. Hal ini disebabkan para pemuda yang memiliki kepedulian punya semangat, energi, dan kapasitas yang lebih memiliki daya tahan dalam jangka panjang. Sebaliknya peran LSM yang mampu mendayagunakan program CSR di Balikpapan menjadi keunggulan karena proses akses dan fasilitasi ke sumberdaya menjadi lebih fleksibel dalam menjangkau warga masyarakat. Dengan demikian, kegiatan pengelolaan sampah rumah tangga tidak tergantung pada program pemerintah kota yang dapat terkendala aturan birokrasi.

Faktor peran tokoh masyarakat merupakan pendorong paling kuat terhadap keberlanjutan pengelolaan sampah berbasis masyarakat. Setelah membandingkan dengan faktor-faktor lainnya, tanpa adanya tokoh masyarakat yang memelopori, memberikan kesadaran, menggerakkan masyarakat secara konsisten, apapun program dan gerakan pengelolaan sampah tidak akan berjalan dengan optimal. Manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan dari pengelolaan sampah tidak dapat terwujud jika tidak ada yang mau memimpin masyarakat dalam pengelolaan sampah. Selain itu masyarakat di kota Balikpapan secara mandiri bisa mengelola sampahnya melalui bank sampah sehingga tidak terlalu tergantung dengan program dan dukungan pemerintah kota Balikpapan.

#### 4.2 Manfaat Ekonomi

Pengelolaan sampah partisipatif di kota Bogor dapat berjalan di masyarakat karena didorong oleh adanya manfaat ekonomi yang secara tidak langsung dirasakan oleh sebagian masyarakat. Sampah anorganik yang dijual ke pengepul sampah sepanjang tahun 2013 berkisar 1335 m<sup>3</sup> per bulan. Sebagai ilustrasi, di TPS 3R dari penjualan plastik dapat menghasilkan uang sebesar satu juta rupiah per bulan. Untuk pemrosesan sampah menjadi kompos di seluruh TPS 3R di kota Bogor sepanjang tahun 2013 mencapai 942 m<sup>3</sup> per bulan. Produksi kompos tersebut ada yang bisa dijual kepada petani dan penjual tanaman hias yang berada di wilayah Bogor. Kompos yang diproduksi TPS 3R kelurahan Mulyaharja misalnya dijual kepada pengembang Bogor Nirwana *Residence* (BNR) untuk pemupukan taman di kompleks perumahan. Penjualan kompos hasil pengolahan sampah memang tidak sebanyak penjualan sampah anorganik kepada pedagang lapak. Pendapatan dari penjualan kompos memang tidak besar jika dibandingkan dengan pendapatan dari iuran warga, namun dengan pendapatan tersebut menjadi tambahan kesejahteraan untuk petugas diluar upah yang mereka terima setiap bulan.

TPS 3R juga memperoleh pendapatan dari iuran pelayanan sampah. Warga masyarakat yang dilayani oleh pengangkutan dan pemrosesan sampahnya di TPS 3R, membayar iuran sampah per bulan kepada kelompok pengelola sampah (KPS). KPS inilah yang menjadi pengelola TPS 3R di masyarakat. Sebagai ilustrasi, KPS 3R Ciparigi yang melayani 530 KK mendapatkan iuran warga sebesar 7 (tujuh) juta per bulan. Sementara KPS 3R Taruna Kompos Mulyaharja bisa mendapatkan 12 (duabelas) juta per bulan dari iuran warga dari sekitar 750 KK. Pendapatan dari iuran sampah ini untuk biaya operasional TPS 3R dan kesejahteraan para pekerjanya.

Sementara untuk masyarakat Balikpapan terdorong untuk berpartisipasi dalam pengelolaan sampah khususnya di bank sampah karena memiliki manfaat ekonomi yang langsung dirasakan. Manfaat tersebut berupa hasil tabungan sampah yang terkonversi menjadi rupiah. Tabungan tersebut berupa sampah anorganik, seperti kertas, plastik, kaca, dan lainnya yang dijual oleh bank sampah ke lapak pengepul sampah. Sistem tabungan

menggunakan bagi hasil antara nasabah dengan Bank Sampah. Yayasan WALIBAR melaporkan bahwa omzet bank sampah yang didampingi sejumlah 52 unit sudah mencapai 135 juta pada tahun 2012. Manfaat ini sangat dirasakan oleh nasabah untuk menutupi kebutuhan sehari-hari. Hasil tabungan sampah bisa diambil setiap menyetorkan atau akumulasi dalam periode tertentu. Dengan demikian tabungan sampah dapat memberikan penghasilan tambahan yang bermanfaat, sehingga mendorong untuk terus berpartisipasi dalam pengelolaan sampah.

Berdasarkan uraian tersebut, manfaat ekonomi yang langsung maupun tidak langsung dirasakan rumah tangga dari proses pengolahan sampah terbukti menjadi pendorong keberlanjutan yang signifikan. Catatan penting yang perlu diperhatikan, di kedua wilayah ini proses daur ulang sampah anorganik belum berkembang baik. Terdapat kecenderungan masyarakat belum mau melakukan daur ulang sampah anorganik menjadi kerajinan misalnya kalau antara biaya, waktu, dan tenaga yang digunakan tidak sebanding dengan pendapatan yang diperolehnya. Apalagi jika di wilayah tersebut tidak ada potensi pasar hasil daur ulang sampah yang pasti dan berkelanjutan.

#### **4.3 Manfaat Sosial**

Semenjak inisiasi pengelolaan sampah partisipatif di kota Bogor, terdapat beberapa perubahan sosial yang terjadi di masyarakat. Sebelumnya sering terjadi konflik antar tetangga atau antar wilayah yang diakibatkan pembuangan sampah yang sembarangan. Setelah program pengelolaan sampah partisipatif berjalan, konflik antar warga atau wilayah berkurang. Berkurangnya konflik sosial tersebut mendorong masyarakat untuk melanjutkan pengelolaan sampah partisipatif.

Perubahan perilaku membuang sampah secara perlahan terjadi di wilayah-wilayah yang sebelumnya membuang sampah di sungai. Pengamatan lapangan di kelurahan Mulyaharja menunjukkan sungai yang melintas di wilayah desa cukup bersih. Perubahan perilaku tersebut merupakan dampak positif sekaligus pendorong pengelolaan sampah partisipatif. Perubahan perilaku menjadi pendorong karena menstimulasi warga lain untuk melakukan pengelolaan sampah. Sebagai contoh di kelurahan Ciparigi dan Mulyaharja, kompleks-kompleks perumahan disekitar TPS 3R meminta pelayanan penanganan sampah mereka. Sebagai syarat dari pelayanan penanganan sampah, setiap rumah wajib melakukan pengumpulan sampah pada satu wadah tertentu sehingga sampah tidak berceceran.

Pada wilayah kota Balikpapan, keberhasilan memboyong Adipura Kencana menjadi prestasi sosial yang dibanggakan warga. Secara sosial hal ini bermanfaat menguatkan semangat dan partisipasi warga dalam mengelola sampah. Semakin banyak bank sampah tumbuh karena kesadaran sosial akan mempengaruhi terciptanya kebersihan kota dan mendapatkan penghargaan tersebut. Tumbuhnya bank sampah juga dirasakan mampu menguatkan kohesi sosial dari warga yang berpartisipasi. Secara periodik warga bertemu dan saling berbagi saat menyetorkan sampah ke bank sampah. Manfaat ini penting nilainya



bagi terciptanya kenyamanan sosial serta konsistensi semangat dalam melakukan pengelolaan sampah.

Manfaat sosial yang di tunjukkan di kedua kota menandakan bahwa manfaat sosial berupa meningkatnya keharmonisan warga dan prestise wilayah akibat berkembangnya pengelolaan sampah rumah tangga secara tidak langsung berpengaruh kepada keberlanjutan pengelolaan sampah itu sendiri. Kunci keberlanjutan yang esensial secara sosial adalah adanya perubahan perilaku warga dalam penanganan sampah. Perubahan perilaku ini penting bagi keberhasilan pengelolaan sampah partisipatif dan pengembangannya. Perubahan perilaku yang meluas akan berimplikasi positif bagi tumbuhnya unit-unit pengelolaan sampah terpadu yang baru.

#### **4.4 Manfaat Lingkungan**

Manfaat lingkungan yang dirasakan warga masyarakat merupakan pendorong utama pengelolaan sampah partisipatif di kota Bogor. Wilayah-wilayah yang sebelumnya tidak dilayani sarana pengangkutan dan pemrosesan sampah, menjadi tertangani dengan adanya TPS 3R. Pada saat belum adanya pelayanan TPS 3R, sampah di buang sembarangan dan berserakan di berbagai tempat. Kelurahan Ciparigi dan Mulyaharja dilewati sungai yang menjadi tempat sampah raksasa oleh sebagian warga yang tidak bertanggungjawab.

Dengan adanya TPS 3R secara perlahan kebiasaan membuang sampah ke sungai berubah. Dengan pelayanan pengangkutan sampah oleh KPS 3R, warga yang tadinya membuang sampah ke sungai beralih mengumpulkan sampahnya didepan rumah untuk diangkut oleh motor sampah. Berdasarkan pengamatan lapangan di Mulyaharja, sekitar jam 10 pagi proses pengangkutan sampah sudah selesai dilakukan. Dengan kondisi tersebut, wilayah permukiman terlihat bersih dari sampah. Sungai yang melewati permukiman penduduk juga terlihat bersih.

Secara keseluruhan, manfaat lingkungan dari pengelolaan sampah partisipatif telah mampu mereduksi sampah di kawasan permukiman. Data DKP kota Bogor menyebutkan pada tahun 2013 pengelolaan sampah dengan TPS 3R mereduksi sampah 94 m<sup>3</sup> per hari atau 3,78 % dari total timbulan sampah kota. Angka ini memang masih kecil pada skala kota, namun mampu menstimulasi partisipasi masyarakat pada tingkat lokal.

Pengelolaan sampah partisipatif pada dasarnya guna mengurangi beban TPA dan meminimalisasi dampak lingkungan akibat menumpuknya sampah di mana-mana. Kesadaran pengelolaan sampah di Balikpapan mulai tumbuh sejak era 1990-an. Hal ini sejalan dengan pertumbuhan pesat fisik dan penduduk kota yang berimplikasi bagi meningkatnya timbulan sampah.

Manfaat lingkungan semakin terasa seiring dengan keberhasilan mewujudkan kota yang bersih. Kebersihan nampak di beberapa sudut dan sungai. Keberhasilan ini semakin dirasakan warga setelah sukses mendapatkan penghargaan Adipura Kencana pada tahun 2013. Prestasi ini semakin menguatkan kesadaran warga bahwa mengelola sampah

merupakan kunci menciptakan kebersihan kota. Hal ini menjadi bagian pendorong masyarakat terus berpartisipasi dalam pengelolaan sampah. Manfaat lingkungan yang dirasakan antara lain; lingkungan menjadi bersih, mengurangi volume sampah di TPS, dapat dijadikan kompos yang menyuburkan tanaman dan lahan, tidak menimbulkan bau, dan mengurangi resiko penyakit.

#### **4.5 Stimulasi dan Fasilitasi Pemerintah**

Fasilitasi merupakan salah satu bentuk intervensi pemberdayaan untuk mendorong perubahan di masyarakat secara berkesinambungan dengan mengoptimalkan potensi dan sumberdaya masyarakat. Fasilitasi pemerintah lebih bersifat stimulasi, sehingga setiap fasilitasi dibarengi dengan peran aktif masyarakat. Peran aktif masyarakat inilah yang diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam mengatasi permasalahan sampah.

Pemerintah kota Bogor melakukan berbagai bentuk fasilitasi dalam pengelolaan sampah partisipatif. Adapun bentuk-bentuk fasilitasi pemerintah kota Bogor adalah sebagai berikut. *Pertama*, melakukan pelatihan pengelolaan sampah rumah tangga dan sejenisnya kepada calon pengelola TPS 3R dalam wadah KPS 3R. Pelatihan yang dilakukan bertujuan meningkatkan pengetahuan dan kapasitas masyarakat dalam mengelola sampah sejak dari sumbernya secara benar. Dari hasil pelatihan inilah bermunculan potensi tokoh-tokoh masyarakat yang menjadi kader lingkungan di wilayahnya.

*Kedua*, memfasilitasi pembentukan KPS 3R yang berfungsi sebagai pengelola TPS 3R di setiap wilayah. Pembentukan KPS 3R dilakukan secara partisipatif dengan dukungan aparat kelurahan setempat. KPS 3R inilah yang menjadi tulang punggung pengelolaan sampah dimasyarakat. Tugas KPS 3R antara lain melakukan sosialisasi/kampanye pengelolaan sampah, mengangkut sampah, melakukan pemrosesan sampah di TPS 3R, memasarkan hasil pengolahan sampah, menarik iuran warga, serta melakukan perawatan dan pemeliharaan sarana dan prasarana TPS 3R.

*Ketiga*, pemerintah kota Bogor berkomitmen mendampingi TPS 3R yang telah dibangun dengan memberikan beberapa insentif. Kepada tenaga pemilah dan pengolah sampah diberikan insentif upah. Pada tahun 2012 besaran insentif upah yang diberikan sebanyak Rp. 29.040.000,-. Jumlah ini meningkat 4 (empat) kalinya menjadi Rp. 143.100.000,- di tahun 2013. Insentif lain berupa bantuan bahan bakar minyak (BBM) solar senilai Rp. 83.160.000,- dan pertamax sebesar Rp. 65.700.000,- ditahun 2013.

*Kelima*, melakukan sosialisasi dan pembinaan pengelolaan sampah rumah tangga bekerjasama dengan PKK kota Bogor. Upaya ini dilakukan secara kontinyu di beberapa kelurahan. Untuk pengolahan sampah menggunakan metode keranjang takakura dan bantuan tong sampah terpilah. Untuk meningkatkan keberlanjutan upaya sosialisasi dan pembinaan, dalam struktur organisasi DKP terdapat bidang pembinaan dan pengelolaan sampah sejak tahun 2011. Dengan penguatan kelembagaan ini, program dan kegiatan pengelolaan sampah partisipatif lebih mendapatkan dukungan pemerintah.

Di Balikpapan, pengelolaan sampah partisipatif tumbuh dan berkembang diawali oleh sosialisasi dan bimbingan kepada masyarakat. Sosialisasi dilakukan oleh Pemkot maupun LSM. Pemkot Balikpapan sendiri memiliki program peningkatan kapasitas masyarakat dalam pengelolaan sampah, antara lain:

1. Sosialisasi kebijakan pengelolaan persampahan
2. Bimbingan teknis persampahan yang pesertanya dari RT, Kelurahan, Kecamatan, PKK, kader kesehatan dan organisasi masyarakat.
3. Sosialisasi kebijakan dan peningkatan peran serta masyarakat dalam pengelolaan persampahan di tempat-tempat publik dan melalui kegiatan kampanye seperti fotografi, melukis, mewarnai, dan lain – lain.
4. Monitoring dan evaluasi pelaksanaan layanan.

Fasilitasi juga dilakukan dengan pembentukan bank sampah dan TPS 3R. Bank sampah banyak diinisiasi oleh warga atas pendampingan WALIBAR. TPS 3R diprakarsai oleh pemerintah. Bank sampah yang tumbuh juga difasilitasi oleh pemerintah di bawah, seperti dengan pemanfaatan tempat milik pemerintah. Tempat bank sampah misalnya bisa memanfaatkan gedung RT. Kompetisi atau perlombaan kebersihan menjadi penting merangsang partisipasi warga. Kompetisi yang ada misalnya Adipura, Balikpapan Green and Clean, Adiwiyata, dan lainnya. Motivasi berlomba menjadi awal menumbuhkan kesadaran pengelolaan sampah. Keberlanjutan selanjutnya dikuatkan dengan bimbingan teknis pengembangan. Hal ini untuk mengantisipasi matinya unit pengelolaan sampah pascakompetisi atau jika kalah kompetisi.

Pemkot Balikpapan memiliki strategi khusus yang berhasil menumbuhkan kesadaran dan kedisiplinan dalam pengelolaan sampah. Salah satunya dengan mengatur waktu pengangkutan sampah dari sumber sampah seperti rumah tangga, warung/toko, dan sebagainya ke TPS yaitu antara pukul 6 Pagi hingga 6 sore. Pengangkutan sampah ke TPS diluar ketentuan tersebut dilarang dan didenda. Operasi Yustisi persampahan dilakukan 3-4 kali dalam setahun. Dengan penegakkan aturan tersebut, warga kota Balikpapan tumbuh menjadi masyarakat yang disiplin menjaga kebersihan lingkungannya.

#### **4.6 Jaringan Pengelolaan Sampah**

Faktor pendorong lainnya adalah jaringan pengelolaan sampah. Jaringan pengelolaan sampah merupakan jejaring kerja yang terbangun diantara pelaku pengelolaan sampah baik pada aspek produksi dan pelayanan sampah maupun pemasaran hasil pengolahan sampah. Berdasarkan wawancara dengan DKP Kota Bogor dan pengurus TPS 3R, jaringan pengelolaan sampah yang terbangun di kota Bogor antara lain, asosiasi KPS 3R, jaringan pedagang lapak, dan jaringan dengan petani dan penjual tanaman hias.

Asosiasi atau perkumpulan KPS 3R merupakan wadah komunikasi dan koordinasi para pengelola TPS 3R di kota Bogor. Setiap bulan selalu ada pertemuan di DKP untuk

menyampaikan laporan pengelolaan TPS 3R dan kendala yang dihadapi di lapangan. Dengan adanya pertemuan ini, menjadi bahan pembelajaran bersama untuk menyelesaikan permasalahan bersama. Sebagai contoh apabila ada produk kompos yang menumpuk dan belum terjual di salah satu TPS 3R, maka anggota KPS 3R yang lain akan membantu menjualkan kompos tersebut.

Jaringan kerja lain yang signifikan perannya adalah pengepul sampah. Pengepul sampah berperan membeli sampah anorganik yang layak jual dari TPS 3R dan bank sampah di masyarakat. Secara umum para pengepul sampah biasanya mendatangi TPS 3R dan melakukan transaksi. Hubungan yang terbangun dalam waktu lama dapat meningkatkan kepercayaan. Dari para pedagang lapak inilah informasi harga sampah terus dapat dipantau.

Jaringan kerja dengan petani dan penjual tanaman hias dibangun untuk penjualan kompos. Wilayah Bogor dan sekitarnya merupakan salah satu sentra produksi anggrek dan pengembangan tanaman hias non anggrek di Indonesia. Dengan kondisi tersebut, produk kompos memiliki pangsa pasar yang cukup besar. Untuk itulah, kerjasama antara pengelola TPS 3R dengan petani dan penjual tanaman hias terus dibangun untuk mendorong keberlanjutan pengelolaan sampah.

Di Kota Balikpapan, pengelolaan sampah partisipatif terdorong karena terciptanya jaringan pengelolaan yang mapan. Jaringan yang selama ini terbentuk antaralain antara bank sampah dengan lapak pengepul serta antara Yayasan Walibar dan bank sampah dengan PT Unilever. Jaringan dengan lapak pengepul penting guna memastikan penjualan tabungan sampah. Jaringan dengan PT. Unilever penting terkait CSR dalam pelaksanaan Balikpapan Green and Clean setiap tahunnya.

Informasi jaringan yang dapat membantu pengelolaan sampah antara lain tentang lapak/pengepul sampah, harga sampah layak jual, harga kompos, dan model kreasi daur ulang. Sebagian besar pengurus bank sampah lebih membutuhkan informasi lapak dan harga sampah layak jual dibandingkan yang lainnya. Hal ini wajar karena bentuk pengelolaan yang berkembang adalah bank sampah. Sementara untuk pengomposan dan kreasi daur ulang sampah belum berkembang sehingga informasi harga kompos dan kreasi daur ulang tidak terlalu dibutuhkan. Aspek lain yang dibutuhkan dalam jaringan pengelolaan adalah berbagai jenis promosi produk daur ulang sampah baik melalui pameran, *showroom*, agenda wisata, dan edukasi lingkungan lainnya. Dengan promosi ini diharapkan akan membuka pasar produk daur ulang sampah dan mendorong pengelola bank sampah mengembangkan berbagai produk daur ulang sampah.

Faktor jaringan antar pelaku pengelolaan sampah memang belum banyak dibahas di berbagai literatur. Setelah membandingkan dengan berbagai faktor yang lain, faktor jaringan antar pelaku pengelolaan sampah menjadi faktor pendorong kedua yang paling kuat terhadap keberlanjutan pengelolaan sampah partisipatif. Keberadaan jaringan antar pelaku menjadi bukti nyata bahwa hubungan saling menguntungkan antar pelaku

pengelolaan sampah mampu mendorong keberlanjutan pengelolaan sampah. Selama ini, pengalaman di berbagai wilayah pemasaran hasil daur ulang sampah yang tidak optimal pada akhirnya menjadi penghambat pengelolaan sampah rumah tangga. Dengan demikian, jaringan pengelolaan menjadi salah satu temuan signifikan dalam mendorong keberlanjutan pengelolaan sampah rumah tangga.

#### **4.7 Rekomendasi pengelolaan sampah partisipatif masyarakat**

Keberhasilan pengelolaan sampah berbasis partisipasi masyarakat dipengaruhi oleh beberapa faktor, dimana untuk peningkatan pengelolaan sampah partisipatif di Kota Bogor dan Balikpapan tersebut, maka direkomendasikan beberapa hal sebagai berikut:

- a) Peningkatan kemitraan antara pemerintah kota dengan tokoh informal yang memiliki komitmen dalam pengelolaan sampah partisipatif. Pemberian berbagai apresiasi kepada tokoh masyarakat seperti bantuan keselamatan dan kesehatan kerja, beasiswa untuk anak pengurus kelompok pengelola sampah, menjadi duta pengelolaan sampah dan sebagai nara sumber penyusunan peraturan terkait pengelolaan sampah.
- b) Untuk meningkatkan manfaat ekonomi, perlu pendampingan dalam peningkatan wilayah pelayanan dan pemasaran hasil pengolahan sampah. Database tentang harga sampah anorganik, kompos, jaringan pedagang lapak yang *up to date* sangat bermanfaat bagi kelompok pengelola sampah. Komitmen Pemda untuk membeli kompos dan produk daur ulang sampah bagi program/kegiatan dilingkungan pemerintah kota memberikan kepastian pada produksi dan daur ulang sampah.
- c) Mendayagunakan informasi manfaat lingkungan dan ekonomi untuk bahan sosialisasi, kampanye, pelatihan/pendidikan di lingkungan permukiman yang belum melakukan pengelolaan sampah partisipatif.

### **5. KESIMPULAN**

Berdasarkan pembahasan faktor-faktor pendorong pengelolaan sampah partisipatif tersebut, maka dapat dikembangkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor pendorong keberlanjutan pengelolaan sampah di kota Bogor dan Balikpapan yang paling kuat adalah peran tokoh masyarakat dan jaringan pengelolaan sampah.
2. Manfaat sosial berupa penghargaan Adipura Kencana menguatkan semangat dan partisipasi warga dalam mengelola sampah sementara di kota Bogor lebih di dorong oleh manfaat lingkungan dengan semakin meningkatnya kebersihan kawasan permukiman.
3. Stimulasi dan fasilitasi dari pemerintah daerah bermanfaat dalam pengelolaan sampah berbasis partisipasi masyarakat di kedua kota, namun tidak terlalu signifikan mendorong keberlanjutan pengelolaan sampah khususnya di kota Balikpapan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Arsanti, V., dan Giyarsih, S.R., (2012), Pengelolaan Sampah oleh Masyarakat Perkotaan di Kota Yogyakarta, *Jurnal Sains&Teknologi Lingkungan*, 4 (1), pp. 55-66.
- Direktorat PPLP., (2012), *Pedoman Umum Penyelenggaraan TPS 3R Berbasis Masyarakat*, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Direktorat PPLP., (2013), *Paparan Monitoring dan Evaluasi Kegiatan 3R*, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Ditjen PSLB3., (2017), *Paparan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- DKPP Kota Balikpapan, (2014), *Profil Pengelolaan Sampah Kota Balikpapan 2014 Kota Balikpapan: Dinas Kebersihan, Pertamanan, dan Pemakaman*.
- Hapsari, N., (2014), Evaluasi Program Pengelolaan Sampah Berskala Keluarga di Kelurahan Tembalang, *Jurnal Teknik PWK*, 3(1), pp. 155-166.
- Kholil, Eriyatno, Sutjahyo, S.H., Soekarto, S.H., (2008), Pengembangan Model Kelembagaan Pengelola Sampah Kota dengan Metode ISM (Interpretative Structural Modelling): Studi Kasus di Jakarta Selatan, *Jurnal Transdisiplin Sosiologi, Komunikasi, dan Ekologi Manusia*, 02(01), pp. 31-48.
- Klundert, V.D., and Anshutz, J., (2001)., *Integrated Sustainable Waste Management – the Concept. Tools for Decision Maker. Experiences from the Urban Waste Expertise Programme (1995-2001)*.
- Leksono, B., (2009), *Tindak Lanjut Undang-Undang Persampahan*. Majalah Percik Edisi Mei.
- Mungkasa, O., (2009), *Pemberdayaan Masyarakat dalam Pengelolaan Sampah*. Majalah Percik Edisi Mei.
- Sidiq, S., (2009), *Implementasi Peran Masyarakat Sesuai UU No. 18 Tahun 2008*. Majalah Percik Edisi Mei.
- Usman, S., (2011), *Level Analisis Penelitian, PIPM Sekolah Pasca Sarjana UGM*, pp. 6-8.
- Utami, B.D., Indrasti, N.S., Dharmawan, A.H., (2008), Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Berbasis Komunitas: Teladan Dari Dua Komunitas di Sleman dan Jakarta Selatan, *Jurnal Transdisiplin Sosiologi, Komunikasi, dan Ekologi Manusia*, 02(01), pp. 49-68.
- UU No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah
- Widiarti, I.W., (2012), Pengelolaan Sampah Berbasis “Zero Waste” Skala Rumah Tangga Secara Mandiri, *Jurnal Sains&Teknologi Lingkungan*, 4(2), pp. 101-113.

## Investigation of Groundwater Pollution by Petroleum Hydrocarbon from Gas Station in Yogyakarta, Indonesia

**Suphia Rahmawati; Any Juliani; Wahyuningtyas Perwita Sari; Azkiyatul Bariroh**

Environmental Engineering Program, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta

*Email: any.juliani@uii.ac.id*

### Abstract

*Gas stations are common source of groundwater contamination by petroleum hydrocarbons. For example, these pollutants are health concern when people come in contact with the contaminated water when pumping from polluted wells. However, in Indonesia this problem remains largely ignored, despite some prominent leakage incidents at gas stations. The purpose of this study is to investigate the groundwater contamination by petroleum hydrocarbon from gas station in the greater Yogyakarta area in Indonesia. A gas station with a history of leakage incident and located in close proximity with dug wells in which its water had been used for human daily consumption was selected to be the source of groundwater pollution to be investigated. Groundwater samples were then collected from dug wells located in the vicinity to this selected gas station and then analyzed for benzene, toluene, ethylbenzene, xylene (BTEX) by gas chromatography/mass spectrometry. Out of six sampling points, BTEX were detected with concentrations ranging from 0,008 to 25,631 ppb. Concentration of benzene at sampling point 3 exceed the standards of Indonesian drinking water quality and WHO. These findings indicated that BTEX groundwater pollution may be a health hazard of currently unknown proportion in the greater Yogyakarta area. It is recommended to assess health risk associated with human daily consumption of BTEX polluted groundwater and also to test groundwater at all gas stations in this area and remediate those affected by BTEX.*

**Keywords:** BTEX, gas station, groundwater contamination, petroleum hydrocarbon contamination, risk analysis

### 1. INTRODUCTION

Groundwater contamination is one of the prominent water problems in Indonesia. Many studies have shown facts of groundwater contamination by domestic wastewater or heavy metals from industries or landfills. However, sufficient concerns have not been put in place for petroleum hydrocarbon contaminants. Its widespread use of supporting human daily activities may contribute significantly to its high possibility of contamination to environment.

One potential source of groundwater contamination by petroleum hydrocarbon is gas station. There are around 5400 gas stations all over Indonesia mostly belong to Pertamina as state owned oil company and several others which are private-owned (Pertamina, 2016). Groundwater contamination might occur from oil spills or leakage from the underground storage tank (UST) system and pipelines. The failure to meet construction standards, lack of corrosion protection system, environmental contamination detection system and facility maintenance increase the possibility of the occurrence of groundwater contamination from this source. Muryani (2012) reported one prominent leakage incident occurred in gas station in Yogyakarta City area in 1999.

Groundwater contamination by petroleum hydrocarbon from gas station would become serious health problem in Indonesia. As mostly located in populated area, tank or pipe leakage may reach the groundwater used by the people for their daily water consumption. Petroleum hydrocarbon contains various compounds considered as toxic and carcinogenic such as benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene or widely known as BTEX (Turner and Renegar, 2017). While the leakage may occur in small magnitude to get notice, it will contaminate the groundwater continuously. Hence, regular and long term consumption of the particular groundwater for daily consumption would in the future be the cause of noticeable hydrocarbon associated health problems.

The purpose of our study was to investigate petroleum hydrocarbon contamination in groundwater from gas station in one area in Indonesia. The study area was in Greater Yogyakarta which represents the common situation of where gas stations are located in cities in Indonesia. Samples of groundwater from dug wells located in the vicinity to gas station with a history of leakage were taken and analyzed in the laboratory for the presence of BTEX to confirm the presumption of groundwater contamination. The outcome of this study will give input for the precaution measures should be taken to prevent groundwater contamination from gas station, while on the other hand this also gives information to what extent the remediation measure should be taken for the already contaminated sites.

## **2. MATERIAL AND METHODS**

### **2.1 Selection of gas station**

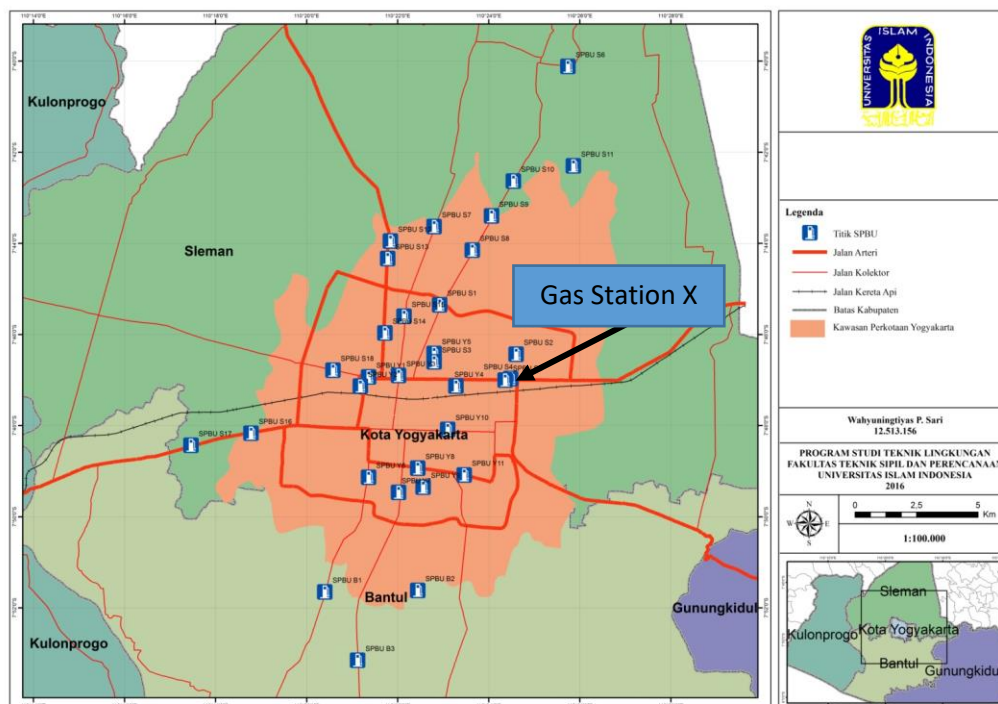
There are 32 gas stations in Greater Yogyakarta Area. Distribution of their location within this area is presented in Figure 1. Gas Station X has a history of prominent leakage in 1999, which was reported in a study by Muryani (2012). It was also located in close proximity to dug wells in which its water was used for people daily consumption.

### **2.2 Water sampling**

The study by Muryani (2012) became the basis for selection of dug wells to be sampling points. Muryani (2012) developed a zonation map to show the level of groundwater contamination potential. According to Muryani (2012), potency of groundwater contamination by petroleum hydrocarbon is higher at wells located within the radius of less than 45 m. Then, based on this



study, 6 (six) dug wells which are located 10-70 meters from gas station X were selected to be sampling points. Table 1 and 2 show the properties and coordinate of the sampling points.



**Figure 1.** Gas station X among 32 gas stations in study area (Greater Yogyakarta Area)

**Table 1.** Properties of sampling points

Parameter	Sampling Points					
	1	2	3	4	5	6
pH	7,3	7,1	7,1	7,4	7,1	6,9
Temperature of water	27	27	27	27	27	27
Depth of dug well (m)	10	10	10	n/a*	8	n/a*
Water table (m)	6	6	6	n/a*	6	n/a*
Distance from gas station	±	± 30	± 48,7	±	± 70	± 46
Elevation of soil surface	128	128	128	128	127	128

\*) Dug wells 4 and 6 were permanently covered by concrete

**Table 2.** Coordinate of sampling points

Sampling point	Coordinate
1	110°24'23.90"E
2	110°24'23.99"E
3	110°24'22.52"E
4	110°24'23.17"E
5	110°24'22.02"E
6	110°24'22.36"E

Sampling procedure was following SNI 6989.58:2008 for aromatic hydrocarbon. Samples were put in dark glass bottle to prevent sunlight, contamination and volatilization. During transfer from sampling site to laboratory, all samples were kept in cooler box with ice within to keep the temperature of samples. At the lab, samples were kept in refrigerator 4°C to prevent volatilization.

### 2.3 Laboratory analysis of BTEX in water samples

Petroleum hydrocarbon contamination was observed through the measurement of BTEX concentration in water samples. Head Space Gas Chromatography Mass Spectrometry (HS-GCMS) type HS Agilent 7697 A, GC Agilent 7820, and MS Agilent 5977B MSD were used to analyzed BTEX concentration in samples. Column HP 5-MS which specialized in BTEX and other semi volatile compound detection was used for analysis. Headspace unit in the instrument reduce the requirement for sample preparation for GCMS analysis. Headspace will volatilize target compound in water samples which will be transferred to GCMS for analysis.

### 2.4 Method optimization

Optimum condition of GCMS for analysis of BTEX was determined by selection of best optimum peak reading of 500 µg/L BTEX (mixed) standard in methanol solution. Methanol used to solute BTEX standard was HPLC grade from LiChrosolv. During optimization, GCMS was set in scan mode to detect all compounds in sample within certain period of time until all BTEX compounds were detected. SIM mode was then set to measure mass (m/Z) of each BTEX compound.

### 2.5 Linearity test, LOD and LOQ determination

Linearity test was conducted by GCMS analysis of a set of BTEX standard solution with concentration 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; and 2,0 ppm. The GCMS method used was that which has been determined during optimization. Correlation between analyte concentration and response of instrument was examined by using linear correlation equation  $y = bx + a$  (b is slope, a is intercept, x is analyte concentration, and y is response of instrument). Linear correlation is indicated with  $r^2=1$  (positive) or  $r^2=-1$  (negative). LOD and LOQ was determined by calibration curve method. From the curve, the value of constant k is determined by dividing standard deviation by slope (b). LOD is 3 times k, while LOQ is 10 times k.

## 2.6 BTEX analysis of water samples

BTEX concentration in water samples were analyzed by using SIM mode HS-GCMS. Response of instrument which is represented in area of chromatogram was then plotted to calibration curve of linearity test to acquire concentration of BTEX in samples.

## 3. RESULT AND DISCUSSION

Table 3 presents data on properties of BTEX compound during GCMS preparation including retention time, m/Z value, linear equation and linearity value. Minimum concentration within linear range for benzene is higher compare to other BTEX compound. It means that this method is better for detection of Toluene Ethylbenzene and Xylene than for detection of Benzene. It might be also due to the use of mixed BTEX standard. Each compound may have different most reliable method for detection. So, it is better to use pure standard and develop method for each compounds of BTEX. On the other hand, Benzene has the highest volatile property among BTEX compound, so it is more difficult to detect at low concentration than other BTEX compound. However, the similar results presented by Serrano and Gallego (2004) which stated that the range of benzene and toluene are higher than 0,1 ppb which is in the range of 0,6 – 750. Other compound ranges between 0,5-750 ppb. Study conducted by Pijuan et al. (2012) presented similar result with minimum concentration of 0,2 ppb while for other BTEX compound are lower than 0,2 ppb (0,1 ppb for toluena, 0,07 ppb for ethylbenzene and 0,06 ppb for all xylene compound). Laboratory analysis of water samples from each sampling points is presented in Table 4.

**Table 3.** Properties of BTEX compound during GCMS preparation

Compound	m/z (mass)	Retention time	Linear regression equation	Linear range	Linearity( $r^2$ )
Benzena	78	2,601	$y = 267,62x +$	100-1000	0,9987
Toluena	91	4,423	$y = 421,09x - 12939$	50-1000	0,9975
Etilbenzena	106,1	6,598	$y = 514,88x - 16569$	50-1000	0,9981
p-Xilena	106,1	6,790	$y = 288,8x - 9315,1$	50-1000	0,9982
o-Xilena	106,1	7,333	$y = 176,55x - 4036,1$	50-1000	0,9991
m-Xilena	106,1	7,499	$y = 12,302x -$	50-500	0,9967

**Table 4.** BTEX concentration in samples

Sampling Points	Concentration(ppb)						Total xylene
	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	p-xylene	o-xylene	m-xylene	
1	9,368	0,340	1,014	2,507	25,631	3,008	31,15
2	ND	ND	0,064	1,125	23,365	7,397	31,89
3	11,509	0,347	0,688	0,724	24,033	7,478	32,24
4	ND	0,375	0,688	0,679	23,541	4,471	28,69
5	ND	0,686	0,008	0,249	ND	2,845	3,09
6	ND	0,686	0,008	0,249	ND	2,845	3,09
LOD	4,530	2,800	2,290	4,083	6,679	49,152	13,59
LOQ	15,100	9,330	7,630	13,610	22,260	163,840	45,30
WHO <sup>b</sup>	10	700	300	-	-	-	500
IND <sup>c</sup>	10	700	500	-	-	-	300

ND : Not detected

<sup>b</sup>Drinking Water Guidelines WHO 2008

<sup>c</sup>Peraturan Menteri Kesehatan No 492/2010 (Indonesian Drinking Water Standard)

Of six sampling points, benzene was only detected in sampling point 1 and 3. However, along with total xylene, concentration of benzene was detected above LOD value. Highest concentration of benzene was detected at sampling point 3 followed by sampling point 1. Study by Muryani (2012) presents zonation of contamination potential of hydrocarbon due to leakage incident of Gas Station X in 1999 based on LeGrand method as presented in Figure 2. This study suggests that the highest potency of contamination might occur in ring 1 which covers an area within the radius of 40 m from Gas Station X. Then, medium contamination potential occurs in ring 2 or area with less than 200 m distance from Gas Station X. Muryani stated that contamination would occur in south-southwesterly direction following groundwater flow. Sampling point 1 is located in ring 1, meanwhile sampling point 3 is located in ring 2. According to study by Muryani, sampling point 1 should have higher BTEX concentration than sampling point 3. At sampling point 2 and 4 which were also located in ring 1, benzene was not even detected. This is probably due to the fact that the leaking incident itself occurred in 1999. During those long years after incident, BTEX in the fuel material has undergone physical, chemical or biological processes. Most important of these processes are adsorption, desorption, and volatilization which influence BTEX migration (Zhang et al., 2015 in Yang et al., 2017). This may be the cause of the difference in the contamination pattern.



**Figure 2.** Sampling points (red point is gas station X)

Benzene was not detected at most sampling points except for 1 and 3. According to Weiner (2012), the order of BTEX compound removal in environment is benzene followed by toluene, ethylbenzene and xylene. Hence, benzene is the first to release due to its highest solubility and volatility. On the other hand, percentage of benzene in fuel composition is the lowest among BTEX compound which is around 1-5%. Mitra and Roy (2011) reported a higher composition of benzene in gasoline which is 11 % of benzene, 26 % toluene, 11 % ethylbenzene and the rest is for xylene's isomers. However, the concentration of benzene at sampling point 1 and 3 were higher than toluene and ethylbenzene. The possibility of other source of benzene should be considered. On the other hand, BTEX composition in gasoline products distributed in study area should be also investigated to ensure the source of BTEX contamination in environment.

Comparing to available standard on water quality as presented in Table 4, the benzene concentration in groundwater from dug well of sampling point 3 exceeded Indonesian and WHO drinking water standard. This finding indicates the potential of BTEX compound to be a common problem related to groundwater contamination in urban area in Indonesia as also reported by some studies. Wang et al. (2002) in Fayemiwo et al. (2017) reported the concentration of BTEX at near-surface groundwater (0-5 m) to be 155  $\mu\text{g/l}$ . This study also presented the evidence that BTEX can be transported to great depths in groundwater with the detection of BTEX concentration of 2.6  $\mu\text{g/kg}$  at its deeper level of groundwater (15-60 m).

In Indonesia, groundwater is still the major source of water for daily needs. Hence, the presence of BTEX in groundwater will pose threat to human health. Human can be exposed to BTEX in water through oral (consumption) and dermal route. Among BTEX compound, benzene is the most hazardous that it is considered carcinogenic (Deghani et.al, 2018; Rosales et.al, 2014). Data on BTEX concentration detected in groundwater and drinking water from various sources was reported by Leusch and Bartkow (2010) as presented in Table 5.

Table 5. Reported concentrations of BTEX in water (Leusch and Bartkow, 2010)

Media	Concentration(ppb)			
	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	Xylenes
Groundwater	<0,1 – 1,8	<1 - 100	<0,1 – 1,1	<0,1 – 0,5
Contaminated groundwater	Up to 330	Up to 3.500	Up to 2.000	Up to 1.340
Drinking water	<0,1 - 5	<1 - 27	<1 - 10	<0,1 - 12

Leusch and Bartkow (2010) reported the estimation of daily intake of BTEX from drinking water is up to 10 µg for benzene, up to 43 µg for toluene, up to 20 µg for ethylbenzene, and up to 24 µg for xylenes based on 2 liters per day water consumption. As there was also report on bioaccumulation of benzene derivatives in marine organisms (Fayemiwo et al, 2017), then those low concentrations may be accumulated in human body and causing health problem in the future. So, although BTEX at study area were detected at relatively low concentration to cause direct health effect, long term consumption of BTEX contaminated groundwater can cause several health problems such as cancer (especially from benzene), problems on brain, nervous system, liver and kidney. Health risk analysis is necessary to conduct to determine the magnitude of the risk may cause by present state of BTEX contamination in study area.

#### 4. CONCLUSION AND SUGGESTION

BTEX was detected in significant concentration in dug wells used as daily source of water for people surrounding a high-risk gas station in Greater Yogyakarta Area. As the water was used for daily water consumption, further study should be conducted to assess its associated health risk. On the other hand, similar test should be also conducted to all gas stations in this area.

#### 5. ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by research grant funded by Directorate of Research and Public Service of Universitas Islam Indonesia.

## References

- Deghani, M., Fazlzadeh, M., Sorooshian, A., Tabatabaee, H., Miri, M., Baghani, A., Delikhoon, M., Mahvi, A., Rashidi, M., (2018), Characteristics and Health Effects of BTEX in A Hot Spot for Urban Pollution, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 155, pp. 133-143.
- Fayemiwo, O.M., Daramola, M.O., Moothi, K., (2017), BTEX Compounds in Water – Future Trends and Directions for Water Treatment, *Water SA*, 43 (4), pp. 602-613.
- Leusch and Bartkow, M., (2010), A Short Primer on Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylenes (BTEX) in The Environment and in Hydraulic Fracturing Fluids. Smart Water Research Centre, Griffith University. URL: <https://www.ehp.qld.gov.au/management/coalseam-gas/pdf/btex-report.pdf>. Accessed: 16 November 2018.
- Mitra, S., and Roy, P., (2011) BTEX : A Serious Ground-water Contaminant. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5: 394-398.
- Muryani, E., (2012), Zonasi Potensi Pencemaran Bahan Bakar Minyak terhadap Air Tanah Bebas (Studi Kasus SPBU 44.552.10 Yogyakarta), *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan* 4, pp. 114-124.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No 492/2010. Persyaratan Kualitas Air Minum, Jakarta: Menteri Kesehatan Republik Indonesia
- Pertamina, (2016), Embracing Change, Leveraging Challenges. Annual Report. Available at: <https://www.pertamina.com/Media/12350c89-ae5d-4e2b-b747-930d5c78ac2e/AR-2016-PERTAMINA.pdf>
- Pijuan, M., Roldan, M.C., Alcludia-Leon, R., Lucena, S., Cardenas, M., Valcarel, (2012), Stir Frit Microextraction: An Approach for the Determination of Volatile Compounds in Water by Headspace-Gas Chromatography/Mass Spectrometry, *Journal Chromatography A*, 1251, pp. 10-15.
- Rosales, R., Martinez-Pagan, P., Faz, A., Bech, J., (2014), Study of Subsoil in Former Petrol Stations in SE of Spain: Physicochemical Characterization and Hydrocarbon Contamination Assessment, *Journal of Geochemical Exploration*, 147, pp. 306-320.

- Serrano, A. and Gallego, M., (2004), Direct Screening and Confirmation of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylenes in Water, *Journal of Chromatography A*, 1045, pp. 181-188.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.58:2008. Air dan Air Limbah Bagian 5: Metoda Pengambilan Contoh Air Tanah. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia
- Turner, N. R., and Renegar, D.A., (2017), Petroleum Hydrocarbon Toxicity to Corals: A Review, *Marine Pollution Bulletin*, 11(2), pp. 1-16.
- Weiner, E. R., (2012), *Applications of Environmental Aquatic Chemistry: A Partical Guide*, Third Edition. CRC Press, Taylor and Francis Group.
- WHO. 2008. *Guidelines for Drinking Water Quality. Third Edition Incorporating the First and Second Addenda*. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Yang, Y., Li, J., Xi, B., Wang, Y., Tang, J., Wang, Y., Zhao, C., (2017), Modelling BTEX Migration with Soil Vapor Extraction Remediation Under Low-Temperature Conditions, *Journal of Environmental Management*, 203, pp. 114-122.