

# Pengolahan Lindi Menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan *Pre-treatment* Ozon untuk Menurunkan Konsentrasi COD

Arina Wida Imania dan Welly Herumurti

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail*: herumurti@enviro.its.ac.id

**Abstrak**—Lindi mengandung senyawa organik dengan konsentrasi tinggi sehingga berpotensi mencemari lingkungan. MBBR mampu mereduksi senyawa organik melalui proses aerobik-anoksik. Penelitian dilakukan secara *batch* dengan kapasitas pengolahan 5 L dan media Kaldness (K1) 1 L. Variasi yang digunakan adalah variasi durasi *pre-treatment* ozon dan variasi durasi proses aerobik-anoksik pada MBBR. Pengolahan aerobik-anoksik dilakukan secara bertahap dalam reaktor yang sama selama 5 kali siklus dalam waktu 10 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *pre-treatment* dengan ozon dan MBBR optimum dalam mengoksidasi zat organik. *Pre-treatment* dengan ozon optimum pada variasi waktu operasi 48 jam dengan reduksi mencapai 53,85%. Sedangkan, pengolahan lindi dengan MBBR optimum mereduksi COD pada variasi durasi proses aerobik 36 jam dan anoksik 9 jam dengan besar reduksi 92%.

**Kata Kunci**—COD, Lindi, *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), Ozon

## I. PENDAHULUAN

**B**AHAN organik merupakan komponen pencemar utama pada lindi [1]. Kadar organik pada lindi semakin meningkat seiring bertambahnya usia lindi. Hal ini mengakibatkan lindi semakin sulit diolah karena komposisinya yang terlalu kompleks [2]. Faktor lain yang juga mempengaruhi konsentrasi lindi adalah variasi cuaca, jenis sampah dan komposisi sampah [3]. Lindi yang tidak terkontrol dapat mencemari air tanah melalui perkolasi tanah [4]. Adanya kontaminasi oleh lindi mengakibatkan nilai BOD lingkungan semakin menurun, sedangkan nilai COD meningkat hingga 40 kali lipat (Lopes *et al.*, 2012).

Salah satu cara mereduksi konsentrasi organik pada lindi adalah dengan memanfaatkan pengolahan biologis melalui proses aerobik dan anoksik [5]. Pengolahan biologis pada lindi digunakan untuk meningkatkan konsentrasi zat organik *biodegradable* dan meningkatkan rasio C/N yang rendah [6]. Pengolahan biologis terbukti mampu mereduksi zat organik dengan sangat efektif bahkan pada lindi yang memiliki rasio BOD/COD rendah [7].

*Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) merupakan pengolahan biologis kombinasi yang memanfaatkan dua bentuk biomassa, yaitu flok tersuspensi dan terlekat (*biofilm*).

Prinsip kerja MBBR didasari pada penggunaan media sebagai tempat perkembangbiakan mikroorganisme. Media dijaga agar terus bergerak di dalam tangki aerasi sehingga biomassa akan tumbuh membentuk *biofilm* di permukaannya [8]. MBBR tidak memerlukan resirkulasi lumpur [9]. MBBR terbukti mampu menurunkan kadar karbon organik dan nutrisi secara efektif tanpa menimbulkan masalah pada proses lumpur aktifnya [10].

MBBR umumnya didahului dengan *pre-treatment* untuk meningkatkan efisiensi pengolahan. *Pre-treatment* juga berfungsi untuk mengoptimalkan reduksi senyawa organik yang tidak mampu dicapai secara maksimum oleh proses biologis. Proses ozonisasi merupakan salah satu *pre-treatment* yang umum digunakan dalam mengolah lindi karena kekuatan oksidasinya yang tinggi [11]. Penggunaan ozon sebagai *pre-treatment* dalam pengolahan lindi dapat meningkatkan efisiensi reduksi COD sebesar 60% dari konsentrasi awal. Selain itu, ozon juga mampu meningkatkan biodegradabilitas hingga 0,5 [12]. Durasi *pre-treatment* dan proses aerobik-anoksik merupakan faktor yang berpengaruh pada pengolahan dengan MBBR. Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai pengolahan lindi menggunakan MBBR dengan variasi durasi operasi *pre-treatment* dan proses aerobik-anoksik.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Pengambilan Sampel dan Perlakuan Sebelum Uji

Sampel lindi diambil dari outlet instalasi pengolahan lindi (IPL) TPA Ngipik Gresik. Pengambilan sampel dilakukan dalam satu waktu karena kondisi lindi di outlet IPL relatif sama untuk sepanjang waktu (dalam musim yang sama). Sumber mikroorganisme yang digunakan berasal dari lumpur (*return activated sludge*) unit clarifier IPLT Keputih. Hal ini dikarenakan lumpur memiliki konsentrasi yang tinggi, sebesar 28000 mg/L [13]. Lumpur juga sudah dalam kondisi anoksik sehingga lebih siap digunakan untuk mengolah zat organik pada lindi.

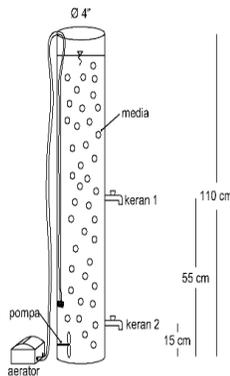
### B. Analisis Karakteristik Awal

Analisis karakteristik awal berguna untuk mengetahui kualitas lindi dan lumpur yang digunakan dalam penelitian. Pada analisis karakteristik awal juga dilakukan *settleability solid test* guna mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh

lumpur untuk mengendap [14]. *Settleability solid test* juga berguna untuk mengetahui jumlah lumpur yang terendapkan selama waktu pengendapan.

C. Pembuatan Reaktor

Reaktor MBBR terbuat dari pipa PVC diameter ± 10,16 cm (4 inchi) dan tinggi 110 cm dengan volume reaktor 8,9 L. Volume pengolahan pada reaktor MBBR adalah 5 L. Media yang digunakan adalah media Kaldness tipe 1 sebanyak 1 L (20% dari volume pengolahan) dan terendam dalam lindi. Reaktor dilengkapi dengan dua keran, keran 1 digunakan untuk mengambil sampel lindi dan keran 2 digunakan untuk *decanting* (pengurasan). Reaktor dilengkapi dengan aerator dan pompa *submersible*. Aerator digunakan untuk



Gambar. 1. Ilustrasi Reaktor Uji MBBR

menciptakan kondisi aerobik dengan memberikan suplai oksigen. Pompa *submersible* digunakan untuk menjaga pergerakan media di dalam reaktor. Ilustrasi reaktor MBBR dapat dilihat pada Gambar 1.

D. Seeding dan Aklimatisasi

*Seeding* dilakukan untuk mendapatkan biomassa yang siap mengolah polutan lindi di dalam MBBR. *Seeding* dilakukan dengan cara memasukkan lindi dan lumpur aktif ke dalam reaktor dengan penambahan sukrosa sebagai sumber organik [15]. *Seeding* dilakukan selama 7 hari.

Aklimatisasi merupakan proses penyesuaian atau adaptasi bagi organisme untuk beroperasi pada lingkungan baru. Volume lumpur yang dimasukkan ke dalam reaktor sebanyak 1 L (20% volume pengolahan). Aklimatisasi dilakukan hingga kondisi *steady state* yang ditandai dengan nilai efisiensi reduksi COD sampel mencapai 80% [16].

E. Pre-treatment dengan Ozon

Proses ozonisasi dilakukan dengan mengaliri gas ozon (O<sub>3</sub>) ke dalam lindi. Injeksi ozon dilakukan menggunakan ozonizer dengan debit injeksi 3L/menit. Gas ozon dilewatkan melalui pipa menuju reaktor berisi lindi. Selama proses *pre-treatment*, dilakukan pengambilan sampel untuk dianalisis penurunan zat organiknya.

F. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mengetahui kemampuan MBBR dalam menurunkan konsentrasi organik (COD) dalam

lindi. Penelitian dilakukan selama 10 hari yang terdiri dari 5 siklus (pengulangan tahap aerobik-anoksik). Kondisi aerobik diciptakan dengan memberikan suplai oksigen dari aerator. Kondisi anoksik diciptakan dengan memberikan sedikit atau tanpa adanya suplai oksigen sehingga aerator dikondisikan dalam keadaan mati. Sampel dianalisis pada saat sebelum proses aerobik, setelah proses aerobik dan setelah proses anoksik. Reaktor MBBR dioperasikan dengan sistem *batch*, yaitu lindi dan lumpur yang masuk akan diaduk secara sempurna dan diolah hingga akhirnya dikeluarkan. Waktu total yang dibutuhkan untuk aerobik-anoksik adalah 45 jam dan dilanjutkan dengan pengendapan 3 jam.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Analisis Pre-treatment dengan Ozon

*Pre-treatment* dengan ozon bertujuan mengoptimalkan reduksi zat organik kompleks pada lindi yang tidak mampu dicapai oleh pengolahan biologis. *Pre-treatment* dengan ozon tidak menghasilkan produk sampingan yang dapat menghambat proses pengolahan selanjutnya. Ozon mampu meningkatkan jumlah oksigen terlarut di dalam lindi dengan reaksi sebagai berikut.



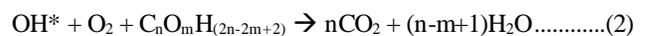
Ozon mampu meningkatkan tingkat biodegradabilitas lindi yang kecil dengan mengubah zat organik *non-biodegradable* menjadi organik *biodegradable* sehingga nantinya dapat

Tabel 1. Hasil Analisis *Pre-treatment* dengan Ozon

Waktu	Kosentrasi COD (mg/L)	Persentase Penyisihan COD (%)	Keterangan
0 jam	26000	0	Kontrol
12 jam	21000	19,23	-
24 jam	17000	34,62	Variasi Ozon 1
48 jam	12000	53,85	Variasi Ozon 2

diolah secara biologis. Perubahan sifat organik ini dapat terjadi karena peningkatan gas (oksigen) yang memicu pembentukan senyawa organik *biodegradable*. Variasi durasi pengoperasian ozon yang digunakan adalah 24 jam (variasi ozon 1) dan 48 jam (variasi ozon 2). Hasil analisis *pre-treatment* dapat dilihat pada Tabel 1.

Penurunan kadar organik terjadi karena ozon mampu mengoksidasi senyawa organik pada lindi hingga mencapai 53,85%. Reaksi antara limbah organik dan radikal OH yang berasal dari ozon adalah sebaga berikut.



Semakin lama waktu operasi ozon pada lindi maka reduksi zat organik yang diperoleh juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan proses degradasi yang terjadi akan berbanding lurus dengan lamanya waktu kontak lindi dengan ozon.

Sehingga durasi *pre-treatment* yang paling optimum dalam mengolah lindi adalah 48 jam.

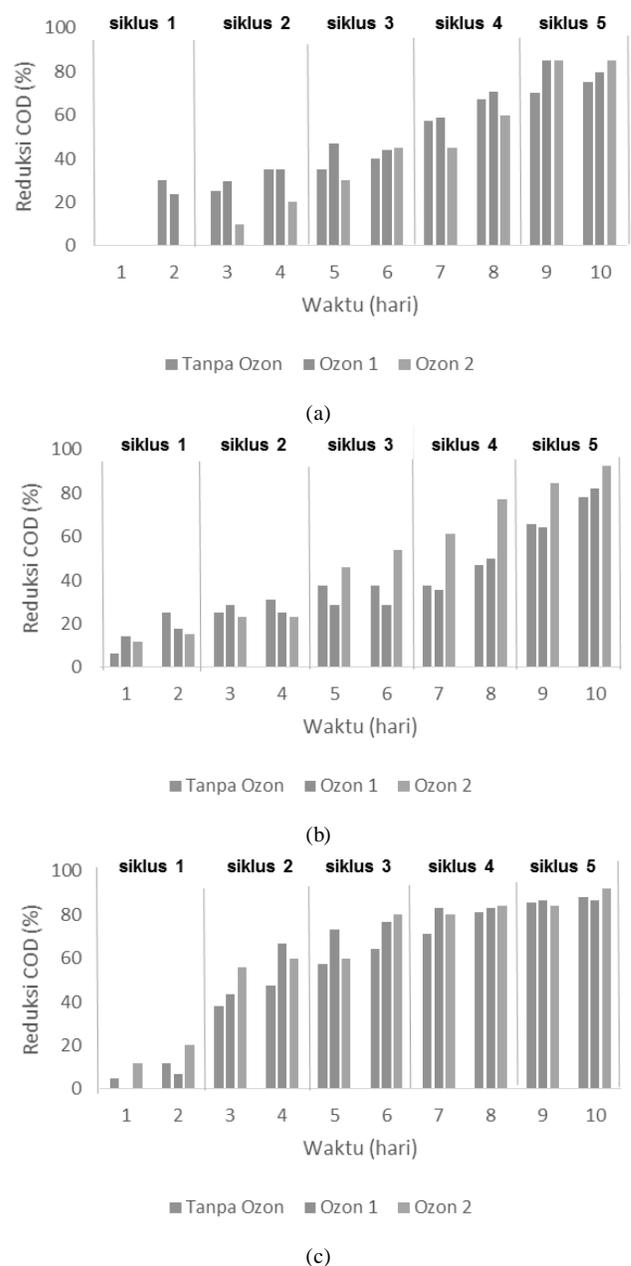
**B. Penurunan Konsentrasi COD pada MBBR**

Pada variasi durasi proses 22,5 jam aerobik – 22,5 jam anoksik penyisihan COD paling tinggi terjadi pada hari ke 9 dan 10 atau akhir siklus (siklus 5), dimana penyisihan pada reaktor kontrol (tanpa ozon), reaktor dengan variasi ozon 1 dan variasi ozon 2, yaitu masing-masing sebesar 75%, 79,41%, dan 85%. Peningkatan penyisihan COD terjadi sebanding dengan peningkatan waktu pengolahan di dalam reaktor. Namun pada awal siklus (siklus 1) menunjukkan rendahnya penyisihan COD bahkan mencapai nilai 0%. Hal ini dikarenakan adanya masa adaptasi bakteri dalam mengolah lindi sebagai substratnya.

Pada variasi durasi proses 31,5 jam aerobik – 13,5 jam anoksik penyisihan COD paling optimum juga terjadi pada akhir siklus (siklus 5) dengan efisiensi reaktor kontrol (tanpa ozon), reaktor dengan variasi ozon 1 dan variasi ozon 2 masing-masing sebesar 78,12%, 82,14% dan 92,31%. Pada durasi ini terlihat peningkatan yang stabil pada penyisihan COD. Namun pada siklus kedua dan ketiga terjadi beberapa penurunan penyisihan COD. Hal ini menunjukkan bahwa proses nitrifikasi pada durasi tersebut dapat menurunkan lebih banyak amonium dibandingkan dengan jumlah amonium yang terbentuk pada kondisi anoksik setelah memasuki tengah siklus (siklus 3). Sehingga mengakibatkan jumlah amonium relatif kecil dan tidak mengganggu bakteri dalam mendegradasi zat organik. Proses nitrifikasi yang berjalan dengan baik juga mengindikasikan adanya kecukupan oksigen bagi mikroorganisme untuk menurunkan COD maupun amonium-nitrogen.

Hal yang sama juga diperlihatkan oleh reaktor dengan variasi durasi 36 jam aerobik – 9 jam anoksik. Pada durasi ini, penyisihan COD terbesar juga dicapai pada tahap akhir siklus dengan efisiensi reaktor kontrol (tanpa ozon), reaktor dengan variasi ozon 1 dan variasi ozon 2 masing-masing sebesar 88,10%, 86,67%, dan 92%. Sama seperti reaktor dengan durasi aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam, reaktor dengan variasi aerobik-anoksik 36-9 jam ini menunjukkan rendahnya penyisihan COD pada tahap awal siklus bahkan mencapai nilai 0%. Pada durasi ini terlihat bahwa peningkatan penyisihan COD dari tiap siklus menunjukkan hasil yang cukup tinggi dan cepat dibandingkan dengan durasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa lamanya durasi aerobik akan mempengaruhi peningkatan penyisihan COD pada sampel. Peningkatan penyisihan COD juga terlihat sebanding dengan lamanya waktu pengolahan. Penyisihan konsentrasi COD pada ketiga durasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada analisis ini terlihat bahwa penyisihan konsentrasi COD berbanding terbalik dengan konsentrasi COD lindi, yaitu semakin rendah konsentrasi lindi maka penyisihan COD akan semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme lebih optimum mendegradasi senyawa organik pada konsentrasi organik rendah. Secara keseluruhan pada semua durasi proses terjadi penurunan konsentrasi COD yang cukup baik. Penurunan paling tinggi terjadi pada hari ke 9 dan 10 (siklus 5). Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan oksigen terikat pada siklus terakhir sudah banyak sehingga oksidasi



Gambar. 2. Reduksi Konsentrasi COD pada Durasi Aerobik-Anoksik 22,5 jam-22,5 jam (a), 31,5 jam-13,5 jam (b), 36 jam-9 jam (c)

organik juga dapat dilakukan dengan optimum. Penyisihan COD paling baik terjadi pada durasi proses 36 jam aerobik – 9 jam anoksik, sedangkan penyisihan COD paling rendah terjadi pada durasi proses 22,5 jam aerobik – 22,5 jam anoksik. Hal ini menunjukkan bahwa lamanya durasi aerobik mampu meningkatkan penyisihan COD pada lindi.

**IV. KESIMPULAN/RINGKASAN**

*Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) optimum dalam mengolah lindi dengan persentase penyisihan mencapai 92% dengan durasi pengolahan 36 jam aerobik dan 9 jam anoksik selama 5 siklus (10 hari). Penggunaan *pre-treatment* ozon sebelum pengolahan MBBR mampu mengurangi beban influen yang masuk ke dalam MBBR dengan besar penyisihan

mencapai 53,85% untuk durasi operasi 48 jam ozonisasi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis tujukan kepada segenap pihak dari Departemen Teknik Lingkungan ITS, Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau (DKRTH) Kota Surabaya, Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Gresik, Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Kota Surabaya dan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) Ngipik Kabupaten Gresik atas bantuan dan dukungan dalam penyelesaian penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Eldyasti, A., Chowdhury, N., Nakhla, G., Zhu, J. 2010. "Biological Nutrient Reduksi from Leachate Using A Pilot Liquid-Solid Circulating Fluidized Bed Bioreactor (LSCFB)". *Journal of Hazardous Materials*, 181(1-3), 289-297.
- [2] Abbas, A. A., Jingsong, G., Ping, L. Z., Ya, P. Y., Al-Rekabi, W. S. 2009. "Review on Landfill Leachate Treatments". *Journal of Applied Sciences Research*, 5(5), 534-545.
- [3] Hajipour, A., Moghadam, N., Nosrati, M., Shojasadati, S. 2011. "Aerobic Thermophilic Treatment of Landfill Leachate in a Moving-Bed Biofilm Bioreactor". *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 8(1), 3-14.
- [4] Metcalf, Eddy. 2014. "Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery" (5th ed., Vol. 1). McGrawHill.
- [5] Al-Rekabi, W. S. 2015. "Mechanisms of Nutrient Reduksi in Moving Bed Biofilm Reactors". *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(1), 497-517.
- [6] Tizaoui, C., Bouselmi, L., Mansouri, L., Ghrabi, A. 2007. "Landfill Leachate Treatment with Ozone and Ozone/Hydrogen Peroxide Systems". *Journal of Hazardous Materials*, 140(1-2), 316-324.
- [7] Lopez, A., Pagano, M., Volpe, A., Claudio Di Pinto, A. 2004. "Fenton's Pre-Treatment of Mature Landfill Leachate. *Chemosphere*", 54(7), 1005-1010.
- [8] Aljumriana. 2015. "Pengolahan Lindi Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Pada Proses Aerobik-Anoksik". Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- [9] Metcalf, Eddy. 2003. "Wastewater Engineering Treatment and Reuse" (4th ed.). New York: Mc Graw Hill.
- [10] Qaderi, F., Ayati, B., Ganjidoust, H. (Eds.). 2011. "Role of Moving Bed Biofilm Reactor and Sequencing Batch Reactor in Biological Degradation of Formaldehyde Wastewater". *Journal of Environment, Health, Sciences dan Engineering*, 8(4), 295-306
- [11] Chen, S., Sun, D., Chung, J.-S. 2008. "Simultaneous Removal of COD and Ammonium from Landfill Leachate Using an Anaerobic-Aerobic Moving-Bed Biofilm Reactor System". *Waste Management*, 28(2), 339-346.
- [12] Suganda, R., Sutrisno, E., Wardana, I. W. 2014. "Penurunan Konsentrasi Amonia, Nitrat, Nitrit dan COD dalam Limbah Cair Tahu dengan Menggunakan Biofilm-Kolam (Pond) Media Pipa CODC Sarang Tawon dan Tempurung Kelapa Disertai Penambahan Ecotru". *Jurnal Teknik Lingkungan*, 03(2014), 58-86.