

PENGARUH WAKTU TINGAL DAN LAJU UDARA AERASI PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI GONDORUKEM MENGUNAKAN PROSES ANAEROBIK AEROBIK BIOFILTER (A2B) TERHADAP PENURUNAN BAHAN PENCEMAR

Alifia Luzza Nurrachma dan Prayitno

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
alifialuzzanurrahma@gmail.com; [prayitno@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Air limbah yang dihasilkan dari industri gondorukem mengandung bahan - bahan pencemar yang sangat berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan perairan. Upaya yang dilakukan dalam pengolahan air limbah industri gondorukem yaitu dengan mengolahnya dalam suatu Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) menggunakan proses netralisasi dan diikuti proses aerasi dalam bak. Namun sistem pengolahan tersebut masih belum efektif karena belum adanya proses pengoalahan biologi, sedangkan air limbah banyak mengandung bahan-bahan pencemar organik. Salah satu usaha untuk menurunkan bahan bahan pencemar organik pada air limbah industri gondorukem adalah pengolahan air limbah menggunakan biofilter anaerob-aerob. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh waktu tinggal dan laju alir udara aerasi terhadap penurunan kosentrasi bahan pencemar dalam proses anaerob-aerob biofilter. Percobaan dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah terpentin ke dalam reaktor anaerob-aerob biofilter yang berisi bakteri indigeneous anaerob dan aerob. Dengan melakukan perubahan - perubahan terhadap waktu tinggal 2,5 jam dan 3 jam serta laju alir udara aerasi 2,5 L/menit dan 5 L/menit selanjutnya mengukur kosentrasi bahan pencemar (BOD, COD, dan TDS) pada *influent* dan *effluent* maka akan diperoleh besarnya penurunan konsentrasinya. Penurunan kadar BOD,COD, dan TDS yang paling efektif yaitu pengolahan air limbah industri gondorukem dengan waktu tinggal 2,5 jam dan laju alir udara aerasi 5 L/menit dapat menurunkan kadar pencemar dengan % penurunan BOD 80,41%, COD 76,23%, dan TDS 50,51%.

Kata kunci: *biofilter anaerob - aerob, limbah cair gondorukem, udara aerasi, waktu tinggal*

ABSTRACT

Wastewater produced from the gondorukem industry contains pollutants that have the potential to cause pollution of the aquatic environment. Efforts made in gondorukem industrial wastewater treatment are by processing it in a Wastewater Treatment Plant (WWTP) using a neutralization process and followed by an aeration process in the bath. However, the treatment system is still ineffective because there is no biological treatment process while wastewater contains many organic pollutants. One of the efforts to reduce organic pollutants in gondorukem industrial wastewater is wastewater treatment using anaerobic-aerobic biofilters. The purpose of the study was to determine the effect of residence time and aeration air flow rate on reducing the concentration of pollutants in the anaerobic-aerobic biofilter process. The experiment was carried out by draining turpentine wastewater into an anaerobic-aerobic biofilter reactor containing indigeneous anaerobic and aerobic bacteria. By making changes to the residence time of 2.5 hours and 3 hours and the aeration air flow rate of 2.5 L / minute and 5 L / minute then measuring the concentration of pollutants (BOD, COD, and TDS) in influent and effluent will be obtained the magnitude of the concentration decrease. The most effective reduction in BOD, COD, and TDS levels is gondorukem industrial wastewater treatment with a residence time of

2.5 hours and an aeration air flow rate of 5 L / minute can reduce polluting levels with a % decrease in BOD 80.41%, COD 76.23%, and TDS 50.51%

Keywords: anaerobic biofilter - aerobic, gondorukem waste, aerated air, residence time

1. PENDAHULUAN

Industri gondorukem merupakan salah satu industri yang mengolah bahan baku getah pinus menjadi produk gondorukem (gum rosin) dan menghasilkan limbah cair pada proses produksinya terutama pada proses pengendapan. Air limbah industri gondorukem mengandung sejumlah kecil getah dan terpenin serta zat lain yang terlarut dalam air, termasuk asam oksalat. Oleh karena itu, jika limbah cair tersebut langsung dibuang ke perairan (sungai) tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Industri gondorukem mengolah limbah cair yang dihasilkan dalam suatu instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dengan menggunakan proses netralisasi dan dilanjutkan proses aerasi yang berfungsi untuk melakukan perawatan air dengan memberikan udara dengan menggunakan aerator agar air tidak menimbulkan bau, pada bak ini terdapat bakteri aerob yang berguna untuk mengolah lumpur agar tidak menimbulkan bau, tetapi limbah luaran IPAL masih belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan di peraturan gubernur Jawa Timur nomor 72 Tahun 2013 [1]. Salah satu bahan pencemar yang terdapat di dalam limbah industri gondorukem ini adalah kandungan TDS (Total Dissolved Solid). Keberadaan TDS dalam konsentrasi tinggi di badan air dapat menyebabkan terjadinya pencemaran dan kematian terhadap organisme air. TDS yang tinggi mengurangi kemampuan badan air untuk mempertahankan ekosistem perairan [2]. Analisis TDS diperlukan untuk menentukan beban pencemaran dan untuk merancang sistem penanganan air limbah secara biologis. Oleh sebab itu, dilakukan suatu usaha untuk mengolah TDS tersebut agar didapatkan kandungan TDS (Total Dissolved Solid) yang sesuai dengan baku mutu. Air limbah industri gondorukem juga memiliki nilai BOD dan COD yang masih melebihi nilai dari baku mutu. Hal ini disebabkan kurangnya bak pengolahan biologis pada IPAL sehingga, kinerja untuk pengolahan biologis kurang maksimal beban yang masuk ke dalam pengolahan biologis terlalu tinggi sehingga kurang efektif. Pada unit proses aerasi memiliki kinerja yang kurang baik dalam menurunkan bahan pencemar, bisa dikarenakan kinerja mikroorganisme dalam bak aerasi yang kurang optimal dalam mendegradasi bahan pencemar.

Dalam metode pengolahan limbah umumnya dilakukan dengan cara secara kimia untuk penghilangan senyawa anorganik, sedangkan untuk penghilangan bahan pencemar organik biasanya dilakukan proses biologis atau biokimia [3]. Proses biologis umumnya memanfaatkan mikroorganisme sebagai zat pengurai, aktivitas tersebut biasa disebut dengan proses biologis [4]. Proses pengolahan air limbah secara biologis tersebut dapat dilakukan dalam kondisi aerob (dengan udara), kondisi anaerob (tanpa udara), atau kondisi anaerob dan aerob. Hambatan terbesar untuk pengolahan biologis adalah lambatnya proses degradasi mikroba pencemar organik. Salah satu usaha untuk mengatasi kendala tersebut adalah dengan memasukkan bahan isian biofilter dari bahan plastik berbentuk sarang tawon sebagai tempat dan berkembang biak mikroba [5]. Media biofilter ditempatkan di dalam ruang bioreaktor anaerobik dan juga pada ruang aerob, sehingga system ini biasa disebut teknologi 'anaerob-aerob biofilter'. Dengan menggunakan proses anaerob-aerob biofilter

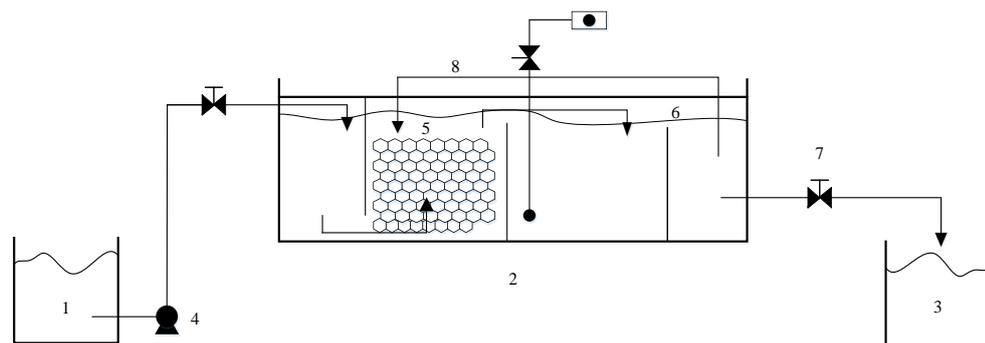
maka akan dapat dihasilkan air olahan dengan kualitas yang baik dengan menggunakan konsumsi energi yang lebih rendah [6]. Proses biofilter aerobik dilakukan dengan menambahkan udara kedalam reaktor air limbah dan untuk proses biofilter anaerobik dilakukan tanpa pemberian udara atau oksigen [7]. Pengolahan air limbah dengan proses biofilter dilakukan dengan mengarahkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang diisi dengan media penyangga, sedangkan fungsi media penyangga adalah tempat tumbuh dan berkembangnya bakteri yang menutupi permukaan media. membentuk lapisan massa tipis (*biofilm*) [8].

Fitriani (2016) dalam penelitian uji efektifitas pengolahan air limbah rumah sakit pertamedika menggunakan sistem biofilter aerob-anaerob menyatakan bahwa pengolahan dengan biofilter anaerob-aerob didapatkan hasil pengamatan yang menunjukkan bahwa efisiensi pendegradasian kadar TDS sebesar 11% [9]. Selain menurut penelitian Said dan Firly (2018) dalam pengolahan air limbah rumah potong ayam dengan proses biofilter anaerob-aerob menggunakan media plastik sarang tawon menghasilkan efisiensi penyisihan BOD dan COD dengan waktu tinggal 4 hari didapatkan persen penurunan 90% dan 90% [10]. Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju alir udara aerasi dan waktu tinggal pengolahan air limbah industri gondorukem-terpentin dari proses biofilter aerob-anaerob terhadap penurunan konsentrasi bahan pencemar (BOD, COD, dan TDS) limbah cair industri gondorukem.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat dan bahan

Alat yang digunakan pada penelitian, antara lain: reaktor anaerob-aerob biofilter (A2B), peralatan analisis BOD, peralatan analisis COD, TDS meter. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah industri gondorukem-terpentin, nutrisi, dan starter bakteri.



Gambar 1. Sketsa peralatan percobaan

Keterangan :

1. Tangki penampungan awal
2. Reaktor biofilter anaerob-aerob
3. Tangki penampungan atau tangki sampling
4. Pompa
5. Media sarang tawon
6. Media Penyangga

7. Valve
8. Recycle

2.2 Prosedur Penelitian

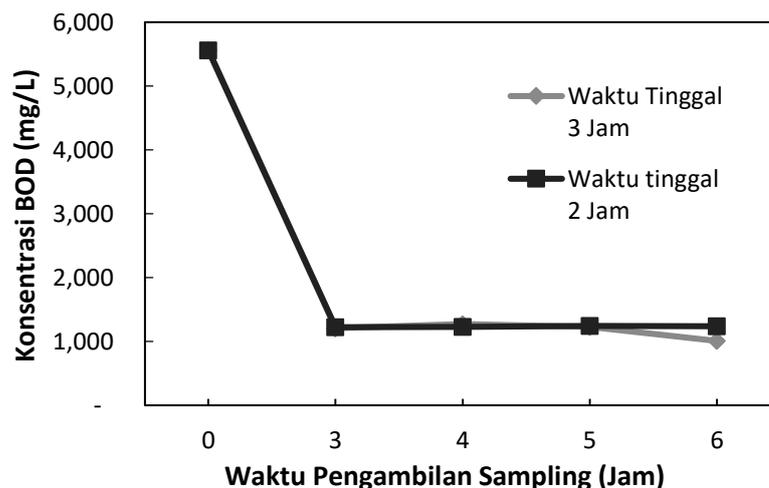
Penelitian ini menggunakan air limbah hasil proses pengedapan industri gondorukem yang telah dipisahkan dengan jonjot. Dilakukan *seeding* dan aklimalisasi untuk menumbuhkan bakteri dan dimasukkan kedalam reaktor A2B dengan kapasitas 160 L. pada reaktor A2B terdapat media filter berbentuk sarang tawon, dimana mikroorganisme tumbuh dan berkembang menempel pada permukaan media tersebut.

Pada penelitian ini menggunakan skala laboratorium dan dilakukan secara kontinyu, variabel yang digunakan pada proses anaerob-aerob biofilter (A2B) yaitu laju alir udara aerasi 2,5 L/menit dan 5 /menit dengan waktu tinggal 2,5 jam dan 3 jam. Sampel diambil sebelum dan sesudah proses anaerob-aerob biofilter (A2B) yaitu dengan selang waktu tertentu dan selanjutnya sampel akan disimpan di kulkas dengan suhu ruang, agar konsentrasi air limbah gondorukem tetap konstan. Sampel air limbah industri gondorukem-terpentin akan dilakukan analisa yang meliputi analisa COD, BOD, dan TDS yang dilakukan di laboratorium Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang. Untuk analisa BOD dilakukan menggunakan metode botol winkler, Sedangkan untuk analisa COD dilakukan dengan metode reflux terbuka dengan waktu 2 jam. Analisa TDS dilakukan menggunakan TDS meter.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh waktu tinggal dan laju alir udara aerasi terhadap penurunan kadar BOD

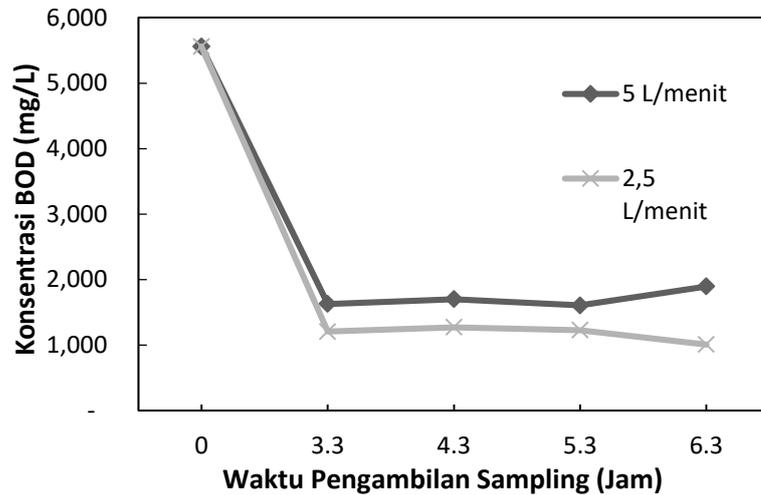
Hasil analisis pengaruh waktu tinggal dengan variabel 3 jam dan 2,5 jam dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit terhadap penurunan konsentrasi BOD ditunjukkan pada Gambar 2.



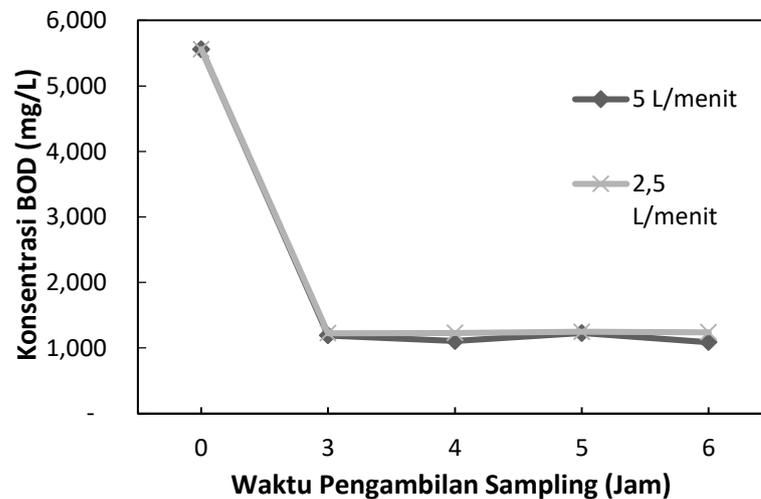
Gambar 2. Pengaruh waktu tinggal terhadap penurunan konsentrasi BOD pada reaktor A2B dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit

Pada Gambar 2 menunjukkan hasil penurunan kadar BOD terhadap waktu tinggal dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit. Pada waktu tinggal 3 jam dapat menurunkan

kadar BOD 5559 mg/L turun menjadi 1010 mg/L dengan % penurunan (81,83%), sedangkan untuk waktu tinggal 2,5 jam dapat menurunkan kadar BOD menjadi 1225 mg/L dengan % penurunan (77,96%). Adapun pengaruh laju alir udara aerasi terhadap penurunan konsentrasi BOD untuk waktu tinggal 3 jam dan 2,5 jam ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 3. Kosentrasi BOD pada reaktor A2B untuk waktu tinggal 3 jam



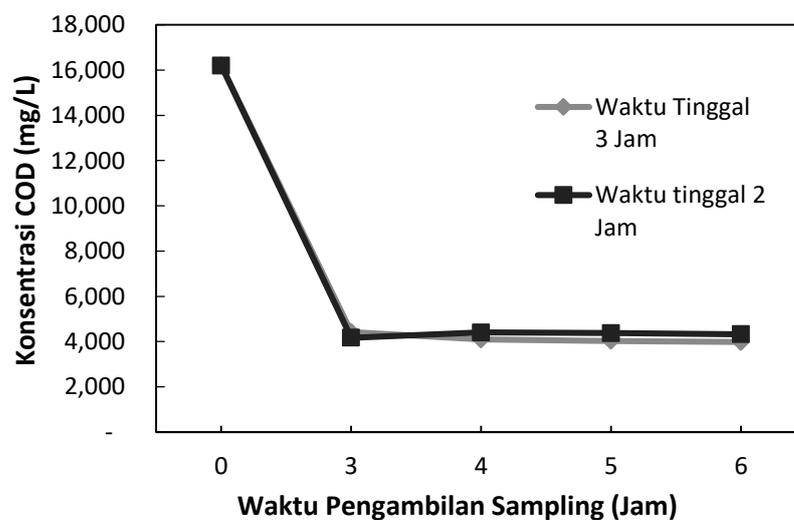
Gambar 4. Kosentrasi BOD pada reaktor A2B untuk waktu tinggal 2,5 jam

Pada Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan hasil penurunan kadar BOD terhadap waktu tinggal 3 jam dan 2,5 jam dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit dan 5 L/menit. Dimana waktu tinggal 3 jam dengan laju alir udara aerasi 5 L/menit dapat menurunkan kadar BOD 5559 mg/L menjadi 1606 mg/L dengan % penurunan (71,11%), sedangkan waktu tinggal 3 jam dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit turun menjadi 1010 mg/L dengan % penurunan (81,83%). Nilai BOD dengan waktu tinggal 2,5 jam dengan laju alir udara aerasi 5 L/menit dapat menurunkan kadar BOD 5559 mg/L menjadi 1089 mg/L dengan % penurunan (80,41%), sedangkan waktu tinggal 2,5 jam dengan laju alir udara

aerasi 2,5 L/menit dapat menurunkan menjadi 1225 mg/L dengan % penurunan (77,96%). Dari data dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju alir udara aerasi maka semakin banyak pula udara yang dikonsumsi oleh bakteri pencemar menyebabkan pertumbuhan bakteri lebih cepat. Artinya semakin tinggi penurunan konsentrasi polutan BOD dalam limbah cair [11]

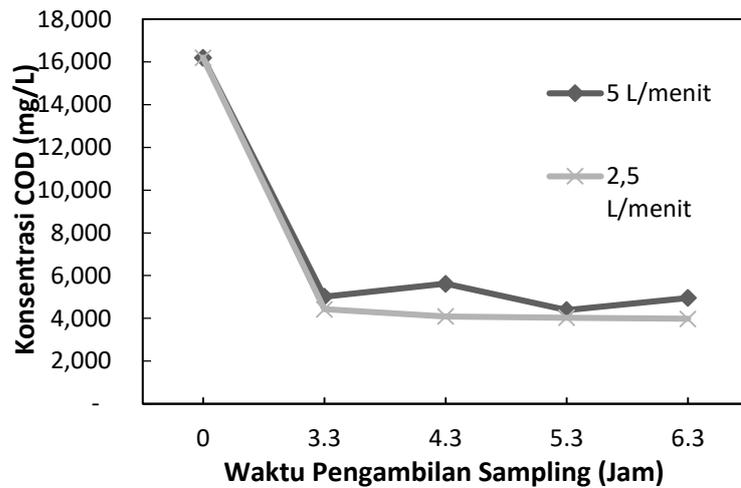
3.2 Pengaruh waktu tinggal dan laju alir udara aerasi terhadap penurunan kadar COD

Hasil analisis pengaruh waktu tinggal dengan variabel 3 jam dan 2,5 jam dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit terhadap penurunan konsentrasi COD ditunjukkan pada gambar 5.

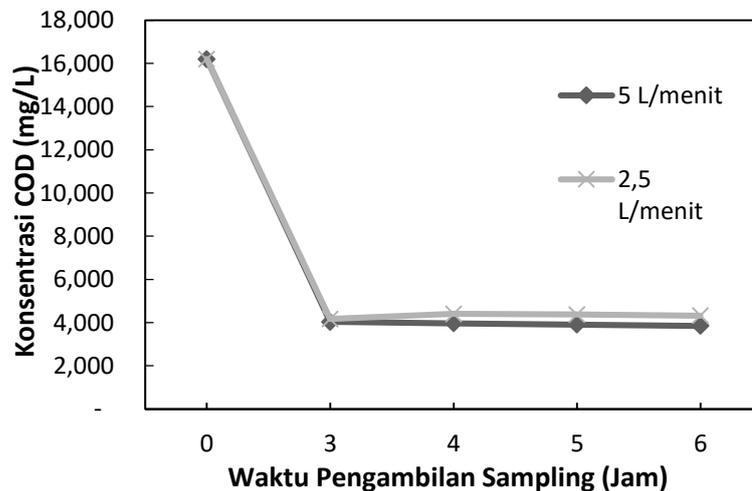


Gambar 5. Pengaruh waktu tinggal terhadap penurunan konsentrasi COD pada reaktor A2B dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit

Pada Gambar 5 menunjukkan hasil penurunan kadar COD terhadap waktu tinggal dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit. Pada waktu tinggal 3 jam dapat menurunkan kadar COD 16200 mg/L turun menjadi 3978 mg/L dengan % penurunan (75,44%), sedangkan untuk waktu tinggal 2,5 jam dapat menurunkan kadar COD menjadi 4171 mg/L dengan % penurunan (74,25%). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Said dan Firly (2018) dalam pengolahan air limbah rumah potong ayam dengan proses biofilter anaerob-aerob menggunakan media plastik sarang tawon menghasilkan efisiensi penyisihan BOD dan COD dengan waktu tinggal 4 hari didapatkan persen penurunan 90% dan 90% [10]. Konsentrasi BOD dan COD mengalami penurunan disebabkan oleh bakteri yang berada dalam reaktor anaerob-aerob, menurut Mangkoedihardjo S. dan Samudro (2012) bakteri akan mengubah bahan organik menjadi bahan anorganik dan bahan lainnya serta energi untuk sintesis bakteri tersebut [12]. Penurunan konsentrasi COD sejalan dengan penurunan konsentrasi BOD secara bertahap mengindikasikan bahwa bahan organik yang terkandung dalam air limbah sebagian besar merupakan bahan organik yang bersifat biodegradable (dapat terdegradasi secara biologis) [13]. Adapun pengaruh laju alir udara aerasi terhadap penurunan konsentrasi COD untuk waktu tinggal 3 jam dan 2,5 jam ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7 dibawah ini.



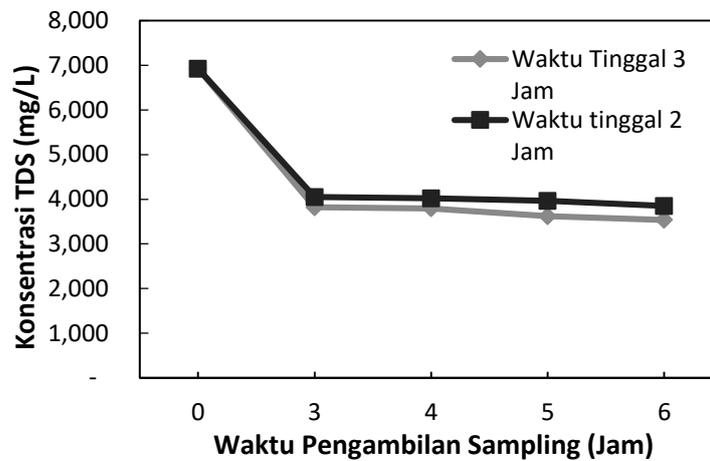
Gambar 6. Kosentrasi COD pada reaktor A2B untuk waktu tinggal 3 jam



Gambar 7. Kosentrasi COD pada reaktor A2B untuk waktu tinggal 2,5 jam

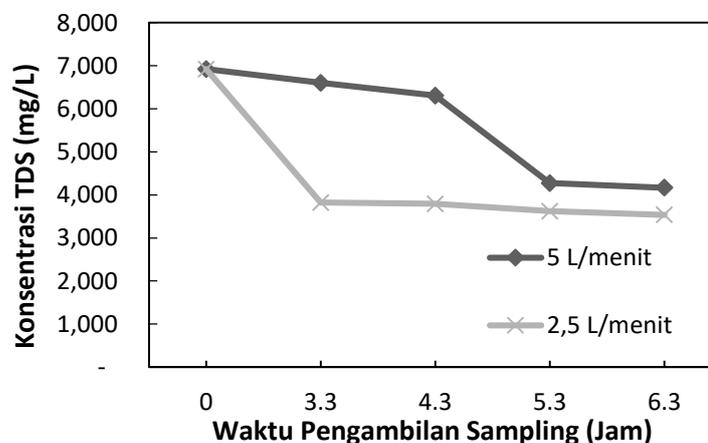
Pada Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan hasil penurunan kadar COD terhadap waktu tinggal 3 jam dan 2,5 jam dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit dan 5 L/menit. Dimana waktu tinggal 3 jam dengan laju alir udara aerasi 5 L/menit dapat menurunkan kadar COD 16200 mg/L menjadi 4390 mg/L dengan % penurunan (72,90%), sedangkan waktu tinggal 3 jam dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit turun menjadi 3978 mg/L dengan % penurunan (75,44%). Nilai COD dengan waktu tinggal 2,5 jam dengan laju alir udara aerasi 5 L/menit dapat menurunkan kadar COD 16200 mg/L menjadi turun menjadi 3850 mg/L dengan % penurunan (76,23 %), sedangkan waktu tinggal 2,5 jam dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit dapat menurunkan menjadi 4324 mg/L dengan % penurunan (73,31%). Dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju alir udara aerasi maka semakin besar penurunan konsentrasi COD dimana dapat diartikan pemberian aerasi yang cukup menyebabkan mikroorganisme dalam sistem pengolahan limbah ini berkembang dengan baik dalam mendegradasi bahan buangan organik yang ada dalam air limbah dengan memanfaatkan oksigen dari pemberian aerasi tersebut [14].

3.3 Pengaruh waktu tinggal dan laju alir udara aerasi terhadap penurunan kadar TDS

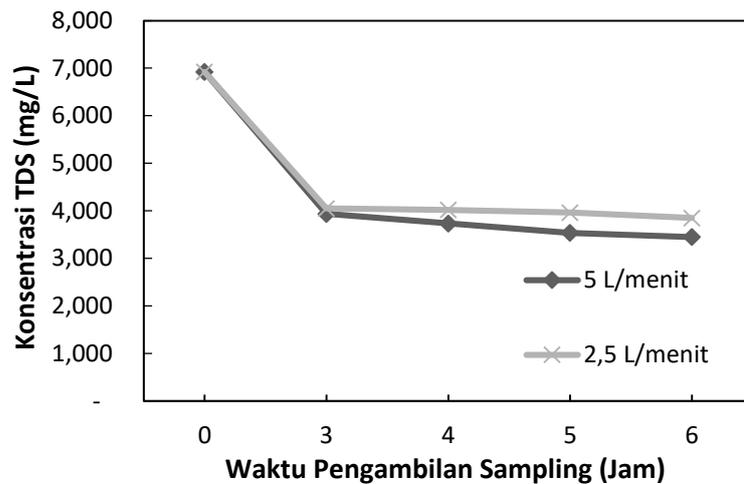


Gambar 8. Pengaruh waktu tinggal terhadap penurunan kosentrasi TDS pada reaktor A2B dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit

Pada gambar 8 menunjukkan hasil penurunan kadar TDS terhadap waktu tinggal dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit. Dimana pada waktu tinggal 3 jam dapat menurunkan kadar TDS 6921 ppm turun menjadi 3536 ppm dengan % penurunan (48,91%), sedangkan untuk waktu tinggal 2,5 jam dapat menurunkan kadar TDS menjadi 3850 ppm dengan % penurunan (44,37%). Penurunan kadar TDS dikarenakan pada reaktor biofilter mampu menguraikan senyawa organik serta anorganik dalam air limbah [15]. Penguraian TDS tersebut dilakukan oleh mikroorganismenya autotrof serta heterotrof untuk mensintesa sel [16]. Dapat dilihat juga dimana semakin besar waktu tinggal yang digunakan maka akan semakin besar juga % penurunan kadar TDS hal tersebut dikarenakan semakin lama air limbah berkontak dengan bakteri yang ada didalam biofilter, maka semakin efektif pengolahannya untuk mendapatkan air limbah yang baik [17]. Adapun pengaruh laju alir udara aerasi terhadap penurunan konsentrasi TDS untuk waktu tinggal 3 jam dan 2,5 jam ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10 dibawah ini.



Gambar 9. Kosentrasi TDS pada reaktor A2B untuk waktu tinggal 3 jam



Gambar 10. Kosentrasi TDS pada reaktor A2B untuk waktu tinggal 2,5 jam

Pada Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan hasil penurunan kadar TDS terhadap waktu tinggal 3 jam dan 2,5 jam dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit dan 5 L/menit. Dimana waktu tinggal 3 jam dengan laju alir udara aerasi 5 L/menit dapat menurunkan kadar TDS dari nilai 6921 ppm turun menjadi 4167 ppm dengan % penurunan (39,79%), sedangkan waktu tinggal 3 jam dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit dapat menurunkan kadar TDS menjadi 3536 ppm dengan % penurunan (48,91%). Nilai TDS dengan waktu tinggal 2,5 jam dengan laju alir udara aerasi 5 L/menit dapat menurunkan kadar TDS dari nilai 6921 ppm turun menjadi 3450 ppm dengan % penurunan (50,15%), sedangkan waktu tinggal 2,5 jam dengan laju alir udara aerasi 2,5 L/menit dapat menurunkan kadar TDS menjadi 3850 ppm dengan % penurunan (44,37%). Dapat dilihat dimana dengan laju alir udara aerasi yang tinggi dapat menurunkan % penurunan lebih banyak. Hubungan antara laju aliran udara dan penurunan kandungan TDS dapat dijelaskan dengan menambahkan O_2 ke dalam air limbah dapat menghancurkan endapan yang menggumpal sehingga memudahkan penyerapan O_2 , menumbuhkan bakteri aerob yang bertindak sebagai dekomposer limbah dan apabila semakin banyak bakteri dan dekomposer yang mengurai sedimen yang terkumpul menyebabkan nilai TDS turun [18].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan dari hasil penelitian dan analisis data pengolahan limbah industri gondorukem menggunakan proses anaerob- aerob biofilter (A2B) menggunakan variabel waktu tinggal 3 jam dan 2,5 jam dengan waktu tinggal 5 L/menit dan 2,5 L/menit yang dilakukan dapat menurunkan kadar BOD, COD, dan TDS. Penurunan kadar BOD, COD, dan TDS yang paling efektif yaitu pengolahan air limbah industri gondorukem dengan waktu tinggal 2,5 jam dan laju alir udara aerasi 5 L/menit dapat menurunkan kadar pencemar dengan % penurunan BOD 80,41%, COD 76,23%, dan TDS 50,51%. Laju alir udara aerasi memiliki kontribusi lebih besar daripada waktu tinggal dalam menurunkan bahan pencemar.

Saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya yaitu dalam setiap percobaan sebaiknya dilakukan analisa sampel pada umpan atau *influent* pada setiap

perlakuan. Dan untuk mendapatkan persen penurunan bahan pencemar yang lebih besar disarankan menggunakan laju alir udara aerasi yang lebih dari 5 L/menit.

REFERENSI

- [1] Gubernur Jawa Timur, "Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya," Perubahan Atas Peratur. Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Ind. Dan/Atau Kegiat. Usaha Lainnya, hal. 15, 2014.
- [2] N. I. Ilyas, W. D. Nugraha, dan S. Sumiyati, "Penurunan Kadar TDS Pada Limbah Tahu Dengan Teknologi Biofilm Menggunakan Media Biofilter Kerikil Hasil Letusan Gunung Merapi Dalam Bentuk Random," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 2, no. 3, hal. 1–10, 2013.
- [3] G. Tchobanoglous, F. L. Burton, dan D. H. Stensel, "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (Book)," *Chemical engineering*, no. 7. hal. 421, 2014.
- [4] J. P. Sains dan M. Said, "Pengolahan Air Limbah Laboratorium dengan Menggunakan Koagulan Alum Sulfat dan Poli Aluminium Klorida (PAC)," *New York*, vol. 2009, hal. 38–43, 2009.
- [5] R. H. Indriatmoko, Ikbal, R. Nugroho, dan Setiyono, "Aplikasi Ipal Biofilter Pada Pengolahan Air Limbah Application of Biofilter Wwtp for Treatment of Food Industry Waste Water (Capacity , 75 M³ / Day)," *J. Air Indones.*, vol. 10, no. 2, hal. 79–89, 2018.
- [6] Ronny, "Kemampuan Biofilter Sarang Tawon Dalam Menurunkan Kadar Bod Dan Cod Pada Limbah Cair Rumah Sakit Pendidikan," no. 5, hal. 360–366, 2017.
- [7] N. I. Said. 2017. *Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi*. Jakarta:Erlangga.
- [8] A. Herlambang dan R. Marsidi, "Proses Denitrifikasi dengan Sistem Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Nitrat," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 4, no. 1, hal. 46–55, 2003.
- [9] L. Fitriani dan E. Weliyadi, "Uji Efektifitas Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Pertamedika Menggunakan Sistem Biofilter Aerob-Anaerob," *Harpodon Borneo*, vol. 9, no. 2, hal. 111–122, 2016.
- [10] N. I. Said dan F. Firly, "Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam," *J. Air Indones.*, vol. 1, no. 3, hal. 289–303, 2018.
- [11] P. Prayitno, H. Saroso, S. Rulianah, dan M. Prastika, "the Influence of Starter Volume and Air Flowrate in Hospital Waste Water Treatment Using Aerobic Fixed Film Biofilter Batch (Af2B) Reactor," *J. Bahan Alam Terbarukan*, vol. 6, no. 1, hal. 6–13, 2017.
- [12] G. Mangkoedihardjo S. dan Samudro, *Evaluasi dan Perencanaan. Kebutuhan Air Minum*. Surabaya: Guna Widya, 2012.
- [13] M. S. Muhajir, "Penurunan Limbah Cair Bod Dan Cod Pada Industri Tahu Menggunakan Tanaman Cattail (Typha Angustifolia) Dengan Sistem Constructed Wetland," 2013.
- [14] F. A. P. Susilo, B. Suharto, dan L. D. Susanawati, "Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Kadar BOD dan COD Limbah Tapioka dengan Metode Rotating Biological Contactor," *J. Sumberd. Alam dan Lingkung.*, vol. 2, no. 1, hal. 21–26, 2016.

- [15] Mulyadi dan S. H. Ajid, "Efektivitas Bonggol Jagung sebagai Media Biofiltrasi dalam Menurunkan Beban Pencemar Limbah Domestik," *Higeia*, vol. 4, no. 2, hal. 323–332, 2020.
- [16] T. Dan dan N. Sopiah, "Teknologi Biofilter Untuk Pengolahan Limbah Ammonia," *J. Tek. Ling. PTL-BPPT*, vol. 7, no. 2, hal. 173–179, 2006.
- [17] B. N. Parasmita, W. Oktiawan, dan M. Hadiwidodo, "Studi Pengaruh Waktu Tinggal terhadap Penyisihan Parameter BOD5, COD dan TSS Lindi Menggunakan Biofilter secara Anaerob-Aerob (Studi Kasus: TPA Ngronggo, Kota Salatiga, Jawa Tengah)," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 2, no. 1, hal. 1–16, 2013.
- [18] M. Arsawan, I. W. B. Suyasa, dan W. Suarna, "Pemanfaatan Metode Aerasi Dalam Pengolahan Limbah Berminyak," *Pengolahan, Dalam Berminyak, Limbah*, vol. 2, no. 2, hal. 1–9, 2007.