

Pengaruh Resirkulasi dan Aerasi Terhadap Penurunan Konsentrasi BOD dan COD dari Air Limbah Grey Water dengan Media Honeycom

Aryo Sasmita^{1,1}, Jecky Asmura¹, Febri Maharani¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293, Indonesia

Manuscript History

Received

26-09-2023

Revised

16-02-2024

Accepted

26-02-2024

Available online

19-04-2024

Keywords

Aeration;

BOD;

COD;

Recirculation;

Wastewater

Abstract. Domestic wastewater contributes as a major polluter in rivers in Indonesia, of which 53.28% has been heavily polluted. The existence of river pollution will disrupt the health, environment, social and economy of the community. Domestic wastewater treatment systems are generally subjected to aeration and recirculation processes, either separately or simultaneously. **Objectives:** The purpose of this research was to study the effect of recirculation and aeration on reducing BOD and COD concentrations in domestic wastewater. **Method and results:** This research was conducted experimentally by treating domestic wastewater using an aerobic biofilter system with honeycomb plastic media. In this research, 4 reactors were used, namely the recirculation and aeration system in reactor A, aeration system in reactor B, recirculation system in reactor C, and without using recirculation and aeration systems in reactor D. The conditioning and growth of microorganisms in the reactor were carried out for 14 days until the biofilm is formed. The BOD and COD concentration tests were carried out every 6 hours for 24 hours. **Conclusion:** The results showed that the aeration process and residence time have an influence on increasing the efficiency of reducing BOD and COD organic pollutants. Reactor A could reduce the concentration of BOD by 93.65% and COD by 94.68%, in reactor B by 94.84% and 91.13%, in reactor C by 89.29% and 91.13%, while in reactor D only 78.17% and 86.57%. The optimum conditions occurred in residence time of only 12 hours.

¹ Corresponding author: aryosasmita@lecturer.unri.ac.id

1 Pendahuluan

Aktivitas manusia akan menghasilkan air limbah domestik dari aktivitas rumah tangga seperti mandi, cuci, dan kakus (MCK). Limbah cair ini berupa *grey water* dari air bekas cucian piring, mandi dan mencuci pakain. Sumber *blackwater* berasal dari toilet dan *septic tank*. Kandungan utama dalam grey water adalah TSS, BOD, COD, NH₄-N, total P dan *coliform* [1]. Air limbah yang dihasilkan meningkat seiring dengan populasi kota yang lebih padat [2]. Air limbah domestik ini jika dibuang akan bermuara ke sungai, apabila tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu, dapat mengakibatkan tercemarnya sungai tersebut [3]. Berdasarkan laporan [4] sebesar 94.9% sungai di Indonesia telah tercemar, dengan rincian sekitar 53.28% sungai telah tercemar berat, 31.09 tercemar sedang, 10.51% tercemar ringan dan hanya 5.1% yang memenuhi kualitas air permukaan. Sumber utama dari pencemaran sungai-sungai tersebut umumnya adalah air limbah domestik / rumah tangga. Karena air sungai adalah sumber air utama, maka jika air sungai tercemar, akan menyebabkan gangguan pada kesehatan, lingkungan, sosial dan ekonomi masyarakat [5]. Di beberapa kawasan permukiman perkotaan, penyediaan IPAL komunal belum mencapai standar mutu efluen, persyaratan teknis yang tidak sesuai, ketidakmampuan untuk memperhatikan unit penunjang dan prosedur operasi IPAL, dan partisipasi masyarakat yang rendah dalam pemeliharaan dan penggunaan yang melebihi kapasitas IPAL. Hal ini dapat berdampak pada kinerja sistem pengolahan air limbah, penurunan lamanya waktu tinggal air limbah, dan peningkatan kualitas air limbah yang dibuang. [6]. Berdasarkan permenLHK no 68 tahun 2016, baku mutu air limbah domestik dengan parameter untuk BOD 30 mg/L dan COD 100 mg/L. Oleh karena itu, untuk memenuhi baku mutu air limbah domestik tersebut, diperlukan teknologi pengolahan air limbah domestik di daerah perkotaan [7].

Memanfaatkan biofilter adalah salah satu cara untuk menangani limbah rumah tangga [8]. Biofilter adalah reaktor yang dibuat agar mikroba berkembang dan tumbuh pada media filter dan membentuk lapisan biofilm. Metode ini adalah pengolahan limbah cair secara biologis yang memanfaatkan siklus hidup mikroorganisme untuk menguraikan polutan [9]. Dengan tingkat efisiensi 95%, teknologi biofilter dapat menyisihkan kandungan bahan organik, menghasilkan sedikit lumpur, dan tahan terhadap perubahan jumlah air limbah dan konsentrasi. [10]. Media *biofilm* yang sering digunakan adalah yang sering digunakan adalah *honeycomb* (sarang tawon) [11]. Biofilter sarang tawon menyaring limbah cair dengan menggunakan kelompok mikroba, yang membentuk lapisan lendir yang melekat pada media dengan permukaan yang lebih luas, sehingga dapat mengurangi terjadinya penyumbatan [12].

Resirkulasi dan aerasi biasanya dilakukan secara terpisah atau sekaligus dalam sistem pengolahan air limbah rumah tangga. Aerasi adalah proses menciptakan kontak antara air dan udara untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air. Proses ini dapat mengurangi kadar BOD sebesar 50% dan COD sebesar 62% [13]. Sistem resirkulasi menggunakan air pada suatu tempat lebih dari satu kali melalui pengolahan limbah dan perputaran air. Resirkulasi atau perputaran air membantu keseimbangan biologis dalam air, menjaga

suhu stabil, dan membantu distribusi oksigen. Kemampuan resirkulasi untuk mengurangi BOD sebesar 87,50% dan COD sebesar 59,57% [14].

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh metode resirkulasi, aerasi, kombinasi metode resirkulasi dan aerasi, serta tanpa resirkulasi dan aerasi terhadap penurunan konsentrasi BOD dan COD dari air limbah *greywater* dengan menggunakan media *honeycomb*.

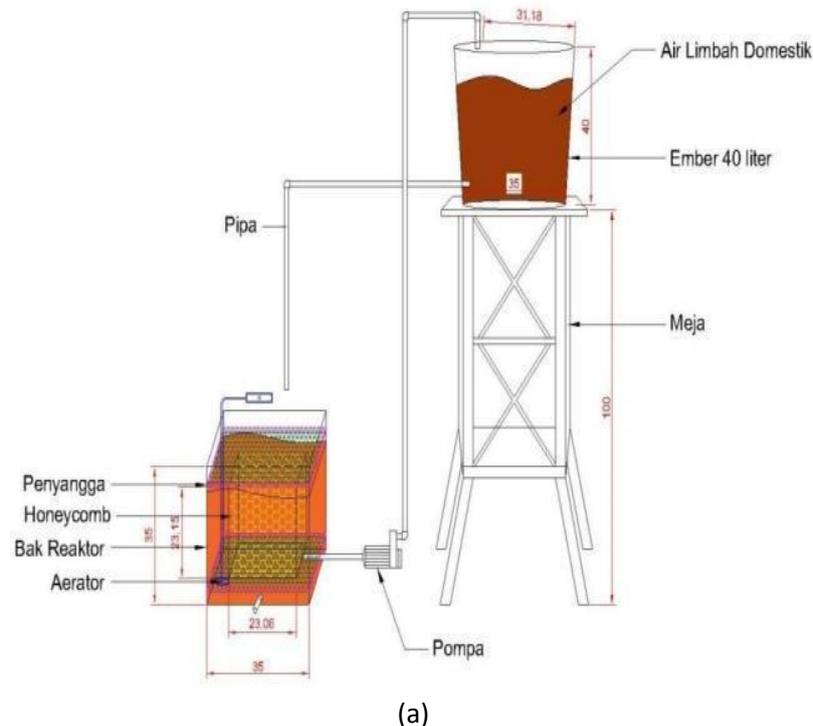
2 Metodologi Penelitian

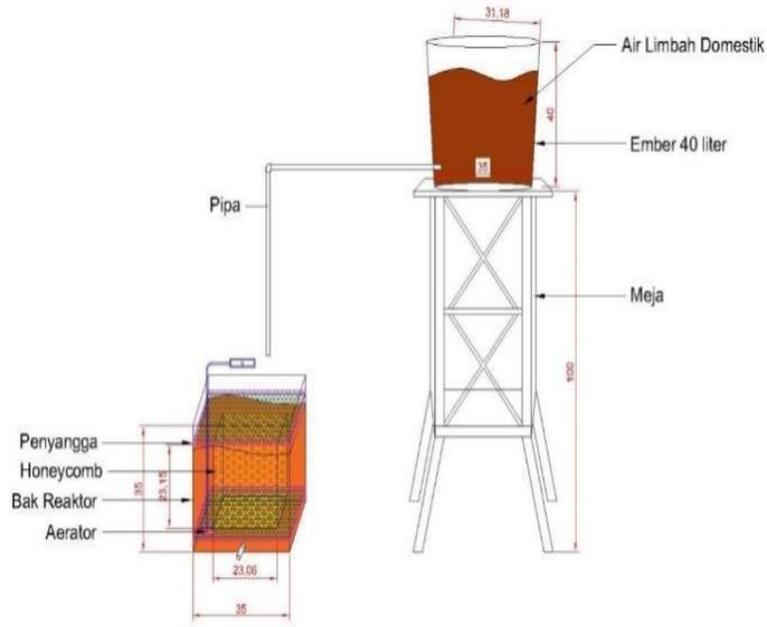
2.1. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah domestik *greywater*, H_2SO_4 , dan akuades. Greywater diperoleh dari IPAL komunal di perumahan WadyaGraha 2, Kelurahan Delima, Kota Pekanbaru. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah botol BOD, COD, *beaker glass* 100 ml, gelas ukur 10 ml, pipet tetes, bak reaktor, dan media sarang tawon (*honeycomb*), pompa *aquarium*, aerator, selang, kertas saring, stop kran, ember, pH meter, oven, timbangan analitik, *furnace*, dan desikator.

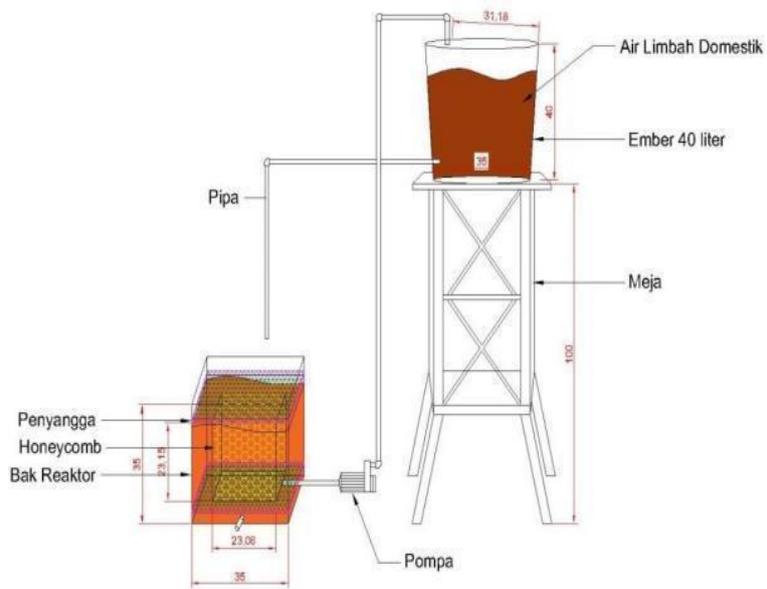
2.2. Jenis dan Desain Penelitian

Studi deskriptif ekperimental ini menggunakan rancangan satu grup pretest-postest tanpa pengulangan. Pada penelitian ini digunakan 4 reaktor, yaitu sistem resirkulasi dan aerasi (reaktor A), sistem aerasi (reaktor B), sistem resirkulasi (reaktor C) dan tanpa sistem resirkulasi dan aerasi (reaktor D)

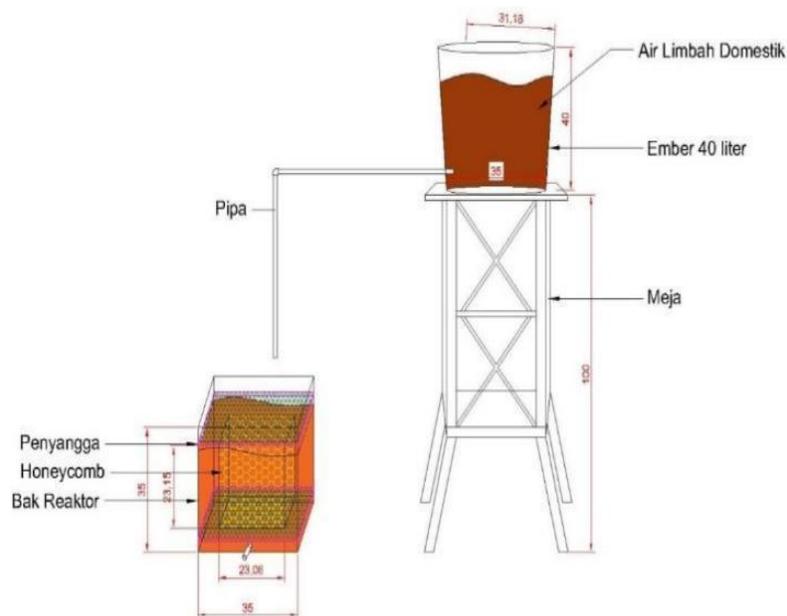




(b)



(c)



(d)

Gambar 1. Reaktor A resirkulasi dan aerasi, reaktor B aerasi, reaktor C resirkulasi, reaktor D tanpa resirkulasi dan aerasi (kontrol)

2.3. Pengkondisian Reaktor dan Pertumbuhan Mikroorganisme pada Media *Honeycomb*

Proses biofilm, di mana mikroorganisme melekat pada media, digunakan dalam penelitian ini. Pertama, sampel limbah air hitam domestik diambil sesuai SNI 6989.57-2008 di IPAL komunal perumahan permadi sebanyak 500 ml untuk dilakukan uji karakteristik awal yaitu nilai BOD dan COD. Limbah *greywater* diambil sebanyak 40 liter dan dilakukan pengkondisian reaktor selama 14 hari. Air limbah rumah tangga dialirkan secara terus menerus ke dalam reaktor biofilter dengan media honeycomb sampai lapisan biofilm terbentuk pada media [3]. Lapisan lendir berwarna hitam kecoklatan yang tidak dapat dilepas dari media menunjukkan bahwa mikroorganisme telah tumbuh di dalamnya. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa bakteri perlu menyesuaikan diri dengan lingkungan baru pada awal *seeding*, yang memakan waktu beberapa hari hingga minggu untuk membentuk biofilm. [15]. Dalam sistem yang mengalir, biofilm tumbuh dengan cepat dan memiliki sumber nutrisi yang tersedia secara teratur bagi bakteri. Oleh karena itu, sangat penting untuk menyediakan nutrisi kepada bakteri salah satunya dengan memastikan kondisi oksigen yang cukup, pH, dan suhu yang sesuai dengan kondisi bakteri. Berdasarkan literatur, jenis bakteri yang ada di *greywater* umumnya adalah bakteri Nitromonas. Bakteri Nitromonas idealnya memiliki pH antara 6,0 dan 9,0 dan suhu antara 20 dan 30 derajat Celcius. Sebaliknya, bakteri Nitrobacter akan tumbuh dengan baik pada suhu 28 derajat Celcius dengan pH antara 7,3 dan 7,5, dan akan mati dengan baik pada suhu di atas 49 derajat Celcius atau di bawah 0 derajat Celcius [16]. pH diamati pada penelitian ini pada saat pengkondisian berkisar antara 7,0-8,5 dan pada temperature antara 27°C-30°C.

2.4. Percobaan Utama

Penelitian ini menggunakan 4 reaktor yang berukuran 20 cm x 20 cm x 30 cm dan media *honeycomb* berukuran 10 cm x 10 cm x 15 cm. Dilakukan Pengecekan pH pada setiap reaktor pada saat *running* setiap 6 jam selama 24 jam [16]. Proses aerasi dengan pemberian udara sebesar 3 L/ menit untuk reaktor A dan B [15]. Untuk proses resirkulasi dengan debit 3,36 L/menit untuk debit reaktor A dan C yang disesuaikan dengan ketersediaan pompa resirkulasi yang ada [17].

2.5. Analisis dan Pengolahan Data

Pengolahan dan penyajian data dilakukan secara deskriptif dari hasil pengamatan yang didapatkan pada saat pelaksanaan penelitian dan digambarkan dalam bentuk grafik hasil penelitian. Data yang diperoleh merupakan analisis sampel limbah cair domestik (*greywater*) sebelum dan sesudah proses pengolahan di dalam reaktor. Untuk menentukan efisiensi penyisihan berdasarkan parameter BOD dan COD, digunakan persamaan berikut

$$Efisiensi (\%) = \frac{c_{ef}}{c_{in}-c_{ef}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan

Cin : Konsentrasi awal (mg/l)

Cef : Konsentrasi akhir (mg/l)

3 Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Limbah Cair Domestik

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal yang terletak di Kelurahan Delima, Kecamatan Tampan, Pekanbaru, menyediakan limbah cair domestik untuk penelitian ini. Tabel 1 berikut menunjukkan hasil uji karakteristik awal limbah cair domestik sebelum dilakukan pengolahan.

Tabel 1. Karakteristik awal limbah cair domestik

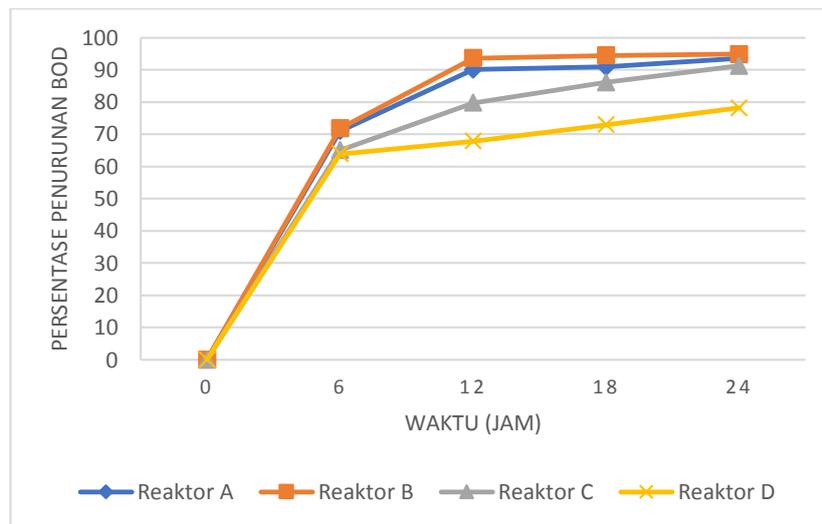
Nilai Konsentrasi uji pendahuluan (mg/l)	Baku mutu Air Limbah Domestik* (mg/l)
252	30
789	100

*sumber : [7]

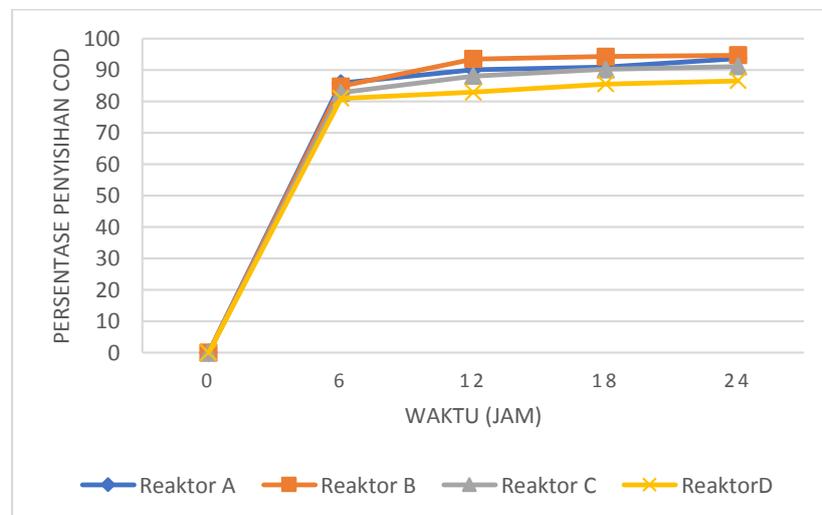
Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai BOD dan COD pada sampel air limbah telah melewati standar mutu dan harus diproses sebelum dibuang ke badan air. Ini karena air limbah yang digunakan adalah air limbah segar yang diambil dari pipa pembuangan *greywater* rumah masyarakat sebelum dibuang ke saluran drainase. Air limbah berwarna bening bening dengan sedikit keruh dan terdapat buih.

3.2 Nilai BOD dan COD pada Penelitian ini

Untuk melihat pengaruh resirkulasi dan aerasi terhadap penurunan nilai BOD dan COD, dilakukan pengujian nilai BOD pada masing-masing reaktor. Pengujian dilakukan setiap 6 jam sekali selama 24 jam. Penurunan nilai BOD dan COD air limbah di pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada gambar 2 dan 3 berikut. Gambar 2 menunjukkan efisiensi penurunan BOD pada masing-masing reaktor yang digunakan dalam penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah 24 jam, pada reaktor A dapat menurunkan konsentrasi BOD sebesar 93.65%, pada reaktor B sebesar 94.84%, pada reaktor C sebesar 89.29%, sedangkan pada reaktor D hanya 78.17%. Berdasarkan gambar 2 penelitian ini mendapatkan efisiensi terbesar pada reaktor B, dengan efisiensi penyisihan terbesar pada 24 jam sebesar 94.84%, namun waktu tinggal optimum terjadi saat 12 jam dengan penyisihan sebesar 93.65%.



Gambar 2 Grafik persentase penurunan nilai BOD



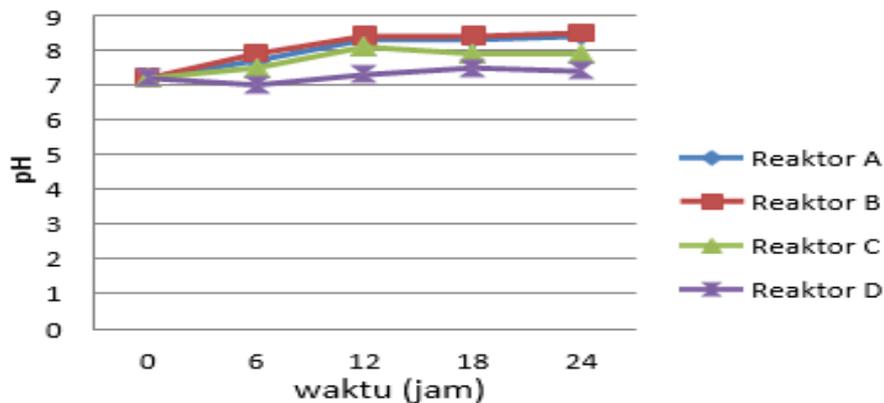
Gambar 3. Grafik persentase penurunan nilai COD

Gambar 3 menunjukkan efisiensi penurunan COD pada masing-masing reaktor yang digunakan dalam penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah 24 jam, pada reaktor A dapat menurunkan konsentrasi COD sebesar 93.66 %, pada reaktor B sebesar 94.68%, pada reaktor C sebesar 91.13%, sedangkan

pada reaktor D hanya 86.57%. Hasil ini menunjukkan efisiensi terbesar adalah reaktor B dengan efisiensi penyisihan sebesar 94.68%, namun efisien optimum terjadi di reaktor B pada waktu tinggal 12 jam sebesar 93,5%.

3.3 Nilai pH pada Penelitian ini

Hasil pengujian pH pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Hasil pengukuran pH masing-masing reaktor

Data yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai pH untuk setiap reaktor mengalami kenaikan, tetapi dibandingkan dengan reaktor A, C, dan D reaktor B lebih besar, hasil pengukuran pH pada penelitian ini adalah 7,2-8,5 dan masih pada range baku mutu yang dipersyaratkan.

3.4 Aerasi pada Reaktor Terhadap Penurunan Nilai BOD dan COD dengan Media Honeycomb

Adanya perbedaan nilai efisiensi, dimana reaktor B memiliki nilai penyisihan terbaik dibanding reaktor lain, ini menunjukkan bagaimana aerasi mempengaruhi BOD dan COD pada air limbah domestik, menunjukkan bahwa mikroorganisme berada pada fase eksponensial, di mana bakteri tumbuh lebih cepat ketika sistem aerasi bekerja. Hasil ini sejalan dengan beberapa penelitian [3], [15], dan [19] yang mengatakan adanya penambahan aerasi pada proses pengolahan air limbah domestik, akan meningkatkan efisiensi penyisihan bahan organik dengan cara mengurai bahan organik menjadi bentuk-bentuk yang lebih sederhana. Pada penelitian [15] penggunaan aerasi mampu menyisihkan BOD hingga 84.06%. Pada penelitian [19] ada peningkatan efisiensi penyisihan BOD sebesar 7% dari 82% tanpa aerasi menjadi 89% dengan aerasi. Pada penelitian [3] Biofilter aerob dapat menurunkan pencemar hingga 68.98%. Penyisihan nilai COD pada sampel air limbah sejalan dengan penyisihan BOD. Hal ini karena nilai BOD adalah bagian dari nilai COD, sehingga apabila nilai BOD turun, begitu juga dengan COD.

Pada penelitian ini ada perbedaan dengan penelitian [3], [15], dan [19] yaitu waktu tinggal yang lebih singkat, hanya 24 jam. Pada dasarnya, waktu tinggal yang lebih lama berarti lebih banyak kontak limbah dengan bakteri biofilm, namun jika terlalu juga tidak baik karena media akan mengalami kejenuhan. Media sarang tawon memiliki kemampuan untuk menyisihkan parameter BOD COD, dengan cara sebagai tempat

Mikroorganisme yang melekat pada air olahan kemudian berkembang biak dan tumbuh [19]. Penelitian ini menunjukkan bahwa waktu tinggal terbaik terjadi pada waktu 12 jam, yang sesuai dengan [10] yang mengatakan waktu kontak pada proses pengolahan biologis adalah dalam selang waktu antara 8 – 12 jam. Hal ini diperkuat dari penelitian [12] yang waktu tinggalnya hanya 5 jam, sehingga efisiensi penurunan nilai BOD dan COD hanya 50,93% dan 62,95%, yang artinya waktu tinggal pada penelitian tersebut masih kurang. Namun walaupun begitu masih ada kekosongan data antara jam waktu tinggal 0 jam dan 6 jam, yang terjadi peningkatan efisiensi secara signifikan, berkisar antara 65%-72% pada tiap reaktor. Oleh karenanya perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk melihat besarnya penyisihan dengan pengujian setiap 3 jam, antara jam ke 3 dan jam ke 9.

Dengan penambahan aerasi, reaktor B mengalami proses aerobik di mana penyisihan organik terutama berasal dari aktivitas respirasi. Tujuan aerasi adalah untuk meningkatkan konsentrasi oksigen dalam reaktor biofilter sehingga mikroorganisme dapat mengurai bahan organik yang terkandung dalam air limbah secara aerob. Adanya proses aerasi akan membentuk lapisan biofilm yang mengandung mikroorganisme [18]. Dengan oksigen yang cukup dalam air limbah, mikroorganisme dapat lebih baik menghancurkan bahan organik yang ada [19].

Penambahan aliran resirkulasi pada reaktor A dan C memiliki persentase penyisihan masih di bawah reaktor B. Proses pengolahan sistem resirkulasi dapat menyebabkan penghilangan limbah yang cukup banyak melalui produksi gas karbon dan senyawa nitrogen oleh proses pembusukan biologis hingga lebih 60%. Tingkat pembusukan ini terutama dikarenakan mikroorganisme yang sangat tergantung pada susunan sistem yang spesifik. Secara khusus faktor utama yang mendasari aktivitas mikroorganisme antara lain, waktu retensi air dan padatan pada pengolahan yang dihasilkan, serta metode yang digunakan untuk pengolahan air dalam rangkaian resirkulasi. Kekurangan sistem resirkulasi ialah tidak dilengkapi dengan langkah pengolahan khusus untuk menghancurkan lumpur [14].

Reaktor D dengan waktu optimum 6 jam dengan nilai penyisihan BOD 63.89% merupakan penyisihan terendah pada ke empat reaktor, reaktor D tidak memiliki sistem resirkulasi dan aerasi (kontrol). Adapun yang mempengaruhi sehingga hasil yang diperoleh paling rendah mungkin karena tidak ada oksigen yang terlarut dalam air limbah, sehingga bakteri yang bertugas mengurangi zat organik dalam limbah cair tidak bekerja dengan baik [12]. Hasil penelitian ini diperkuat dengan hasil penelitian dari [2] dan [6] yang melakukan pengolahan air limbah domestik dengan biofilter namun pada kondisi anaerobic (*tanpa penambahan udara*). Pada penelitian [2] penurunan BOD sebesar 69.72% dan COD sebesar 77,84%. Pada penelitian [6] penurunan BOD hanya sebesar 64% dan COD sebesar 31%. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa proses aerasi dan waktu tinggal memiliki pengaruh untuk meningkatkan efisiensi penurunan pencemar organik BOD dan COD.

3.5 Pengaruh pH Selama Proses Pengolahan

Batas yang bisa ditolerir sesuai baku mutu adalah pH 6 - 9, hasil pengukuran pH pada penelitian ini adalah 7,2 - 8,5 dan masih pada range baku mutu yang dipersyaratkan. Nilai pH ini juga terjadi pada penelitian [20] yang nilainya adalah 6,8. Kehidupan makhluk hidup di perairan dapat dipengaruhi oleh air basa atau asam. pH tertinggi terjadi pada reactor B, hal ini dapat terjadi karena adanya penambahan oksigen pada reactor B. Reaksi biologis, yaitu proses penguraian mikroorganisme terhadap nutrient seperti glukosa, urea, dan NH_4Cl , menyebabkan kenaikan pH ini. Namun, kondisi pH sumber mikroorganisme harus tetap antara 7,45 dan 8,10 selama proses pembentukan biofilm, yang dapat membantu pertumbuhan mikroorganisme dan membantu proses pembentukan biofilm. Selama respirasi sel secara aerob menghasilkan amoniak yang dapat menaikkan nilai pH. Dengan menambah aerasi ke sistem, kadar oksigen terlarut dalam air limbah meningkat. Setelah mikroorganisme menggunakan oksigen terlarut untuk bernapas, mereka menghasilkan CO_2 , yang kemudian dihasilkan melalui reaksi kesetimbangan yang menghasilkan ion OH^- , yang menyebabkan nilai pH meningkat [21].

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diketahui proses aerasi dan waktu tinggal memiliki pengaruh untuk meningkatkan efisiensi penurunan pencemar organik BOD dan COD. Reaktor A dapat menurunkan BOD dan COD hingga 93,65% dan 94,68%, Reaktor B sebesar 94,84% dan 91,13%, Reaktor C sebesar 89,29% dan 91,13%, dan Reaktor D hanya 78,17% dan 86,57%. Kondisi ideal terlihat pada Reaktor B yang mencapai hasil terbaik dengan penurunan konsentrasi BOD dan COD masing-masing sebesar 93,7% dan 93,5% dalam waktu 12 jam.

5 Daftar Pustaka

- [1] Arlini Dyah Radityaningrum, Maritha Nilam Kusuma. (2017). Perbandingan Kinerja Media Biofilter Anaerobic Biofilter dalam Penurunan TSS, BOD, COD pada *Grey Water*. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 3(2):25-34.
- [2] Donal Nababan, Mido Ester Juniati Sitorus, Ivan Elisabeth Purba, Netti Etalia Br. Brahmana, Evawani Martalena Silitonga. (2019). Kemampuan Biofilter Anaerob Berdasarkan Jenis Media dalam Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal Riset Hesti Medan Akper Kesdam I/BB Medan*, 4(2): 105-112.
- [3] Mega Filliazati, Isna Apriani, Titin Anita Zahara. (2013). Pengolahan Limbah Cair Domestik Dengan Biofilter Aerob Menggunakan Media Bioball Dan Tanaman Kiambang. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 1(1): 1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.26418/jtllb.v1i1.4028>
- [4] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2020). *Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan (Ditjen PPKL) Tahun 2019*. Jakarta.
- [5] Nilam Shindi, Dinasti Ummi, Lely Syiddatul Akliyah. (2017). Kajian Dampak Pencemaran Air Limbah Industri Terhadap Kondisi Fisik Lingkungan, Sosial-Ekonomi Masyarakat Kecamatan Rancaekek Kabupaten Bandung. *Prosiding Perencanaan Wilayah dan Kota*, 3(1): 167-175

- [6] Elis Hastuti, Reni Nuraeni, Sri Darwati. (2017). Pengembangan Proses Pada Sistem *Anaerobic Baffled Reactor* Untuk Memenuhi Baku Mutu Air Limbah Domestik. *Jurnal Permukiman*, 12(2): 70 - 79.
- [7] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia no 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
- [8] Muhamad Yusup Hidayat, Ridwan Fauzi, Alfrida Esther Suoth. (2019). Efektivitas Multimedia Dalam *Biofilter* Pada Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 3(2):111-126.
- [9] Muhammad Al Kholif, Joko Sutrisno, dan Ilham Dwi Prasetyo. (2018). Penurunan Beban Pencemar Pada Limbah Domestik Dengan Menggunakan Moving Bed Biofilter Reaktor (MBBR). *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(1): 1-9.
- [10] Metcalf & Eddy, 2004, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, Fourth Edition, McGraw- Hill Inc. New York.
- [11] Nusa Idaman Said. (2017) *Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [12] Ronny. (2017). Kemampuan Biofilter Sarang Tawon Dalam Menurunkan Kadar BOD dan COD Pada Limbah Cair Rumah Sakit Pendidikan Universitas Hasanuddin. *Prosiding Seminar Nasional Tahun 2017*. Manado, 29 Juli 2017. Vol 1 No 2. ISBN : 2549-0931
- [13] Afiya Asadiya dan Nieke Karnaningroem. (2018). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Proses Aerasi, Pengendapan, dan Filtrasi Media Zeolit-Arang Aktif. *JURNAL TEKNIK ITS*, 7(1): D18-D22. ISSN: 2337-3539
- [14] Jaap van Rijn. (2013). Wastewater treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 53:49–56.
- [15] Khalidah Nurul Azmi, Irma Gusniani Danumihardja, Nusa Idaman Said. (2018). Aplikasi Teknologi Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Kombinasi Biofilter Aerobik Media Plastik Sarang Tawon Dan Biofilter Media Kerikil Dengan Aliran Ke Atas. *Jurnal Air Indonesia*, 10(2): 42 – 51.
- [16] Gea Paramudhita Sali, Anggi Suprabawati, Yuli Purwanto. (2018). Efektivitas Teknik Biofiltrasi dengan Media Sarang Tawon Terhadap Penurunan Kadar Nitrogen Total Limbah Cair. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*. 15(1): 1-6.
- [17] Rizky F Heryanto, Badrus Zaman, Zaenul Muhlisin. (2015). Studi Penurunan Cod Dan Warna Dengan Teknologi Plasma Pada Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Variasi Tegangan Dan Banyaknya Sirkulasi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(1): 1-8.
- [18] Fatul Mubin, Alex Binilang dan Fuad Halim. (2016). Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Di Kelurahan Istiqlal Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 4(3):222-223.
- [19] Euis Nurul Hidayah, Andrysa Djalalembah, Gina Aprilliana Asmar dan Okik Hendriyanto Cahyonugroho. (2018). Pengaruh Aerasi Dalam *Constructed Wetland* Pada Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(2):155-161, doi:10.14710/jil.16.2.155-161
- [20] Ariani Dwi Astuti, Muhammad Lindu, Ramadhani Yanidar, Maria Manda Kleden. (2016). Kinerja Subsurface Constructed Wetland Multylayer Filtration Tipe Aliran Vertikal dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (*Vetivera Zozanoides*) dalam Penyisihan BOD dan COD dalam Air Limbah Kantin. *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah*, 1(2): 91-108
- [21] Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius:Yogyakarta.