



## Dekontaminasi Parameter Biologi dan Pathogen Menggunakan Biofilm Konsorsium Bergerak Dilanjutkan dengan Integrasi Pengolahan Fisik (Pengendapan-Sterilisasi) Secara Simultan

Rizka Novembrianto<sup>1\*</sup>, Restu Hikmah Ayu Murti<sup>2</sup>, Muslikha Nourma Rhomadhoni<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

<sup>3</sup> Universitas Nahdlatul Ulama Surabaya, Surabaya, Indonesia

\*[rizka.tl@upnjatim.ac.id](mailto:rizka.tl@upnjatim.ac.id)

---

### Abstract

Domestic wastewater discharged into water bodies without adequate management can reduce the quality of water bodies. This reduction in rate is one of the causes of high total coliform. In this study, reducing the total coliform content was the main goal as a water pollutant parameter that had to be reduced. In the aerobic process, organic processing uses an air supply of 20 L/minute in suspended and attached processing for embedded media using Kaldnes K5 media and spiked bio-balls; each 30% of the reactor volume is preceded by seeding and acclimatization processes. Variations in the processing time were suspended for 2 hours and attached for 6 hours and vice versa. Furthermore, it is processed by physical processing simultaneously, namely the process of deposition and sterilization with an exposure and deposition time of 2 to 6 hours. The seeding and acclimatization process was carried out for 21 days. The best processing was obtained using suspension for 2 hours, attached for 6 hours on Kaldnes K5 media, and precipitation and exposure to ultraviolet light for 6 hours showed a decrease in COD of 92.85% and for Total coliform of 98.67%.

Keywords: domestic, organic, media, ultraviolet

### Abstrak

Air limbah domestik yang dibuang ke air badan air tanpa pengelolaan yang memadai dapat menurunkan kualitas badan air, penurunan kualitas ini salah satunya disebabkan oleh tingginya *total coliform*. Pada penelitian ini penurunan kandungan *total coliform* menjadi tujuan utama sebagai parameter pencemar air yang harus diturunkan. Pada proses aerob, pengolahan organik menggunakan *air supply* sebesar 20 L/menit pada pengolahan secara tersuspensi dan terlekat, untuk media terlekat menggunakan media kaldnes K5 dan bioball berduri masing-masing 30% dari volume reaktor yang didahului proses *seeding* dan aklimatisasi. Variasi waktu pengolahan yang digunakan adalah tersuspensi 2 jam dan terlekat selama 6 jam serta sebaliknya. Selanjutnya diolah dengan pengolahan secara fisik secara simultan yakni proses pengendapan dan sterilisasi dengan waktu paparan dan pengendapan yakni 2 hingga 6 jam. Proses *seeding* dan aklimatisasi dilakukan selama 21 hari. Didapatkan pengolahan terbaik menggunakan tersuspensi 2 jam, terlekat 6 jam pada media kaldnes K5 dan pengendapan sekaligus paparan sinar ultraviolet selama 6 jam menunjukkan hasil penurunan COD sebesar 92,85 % dan untuk *Total coliform* sebesar 98,67 %.

Kata Kunci: domestik, organik, media, ultraviolet

---

## 1. PENDAHULUAN

Umumnya air limbah didaerah perkotaan masih melakukan pembuangan ke sungai berasal dari kegiatan masyarakat domestik (Nurhayati dkk., 2019). Akan tetapi karakteristik air limbah yang dihasilkan jauh dari kualitas untuk menunjang kenyamanan hidup. Widyarani dkk. (2022) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa air *grey*

*water* di Indonesia dapat menjadi sumber pencemaran air yang signifikan karena jumlahnya yang besar dan kurangnya pengolahan. Selain itu, pengolahan *black water* yang sebagian besar bergantung pada pengolahan di tempat seringkali tidak memadai karena kurangnya kontrol kualitas untuk infrastruktur, pengoperasian dan pemeliharaan.

Negara berkembang seperti Indonesia membutuhkan infrastruktur dalam pengolahan air limbah domestik yang efektif dan efisien. Penduduk yang berasal dari pedesaan saat ini populasi telah bertumbuh dengan pesat dan meningkat. Permasalahan ini lebih parah karena pembangunan di perkotaan lebih pesat dan langkah-langkah pembuangan air limbah harus sesuai dengan peraturan yang berlaku dan wajib melakukan kontrol dari pengolahan air limbah tersebut.

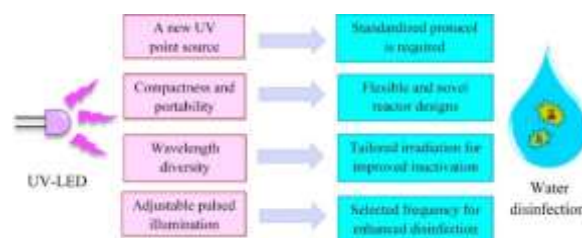
Dalam pengolahan konvensional membutuhkan oksigen untuk mikroorganisme aerobik mereduksi bahan organik. Dalam pengolahan air limbah aerobik, aerasi adalah elemen paling kritis dari sistem pengolahan. Sistem ini memasok mikroorganisme dengan oksigen terlarut yang dibutuhkan, serta mempertahankan padatan dalam suspensi dan, dalam bioreaktor membrane (Skouteris, 2020). Oleh karena itu badan air penerima umumnya banyak kandungan nutrisi (nitrogen dan fosfor) sehingga sungai mengalami eutrofikasi dan menjadi zona mati yang pada akhirnya mencemari perairan air tawar (Nandini dkk., 2021). Ekosistem akan mengalami penurunan kualitas lingkungan seperti air dan tanah. Selain itu pula menimbulkan efek bau (Ratnawati dan Ulfah, 2020)

Dampak negatif ini juga akan berdampak bagi kesehatan manusia, oleh karena itu dilakukan upaya-upaya dalam penanganan pengolahan air limbah. Salah satu cara pengolahan juga dapat menggunakan pengolahan secara biologi dengan memanfaatkan lumpur aktif (Said dan Syabani, 2014) dan pengolahan seperti *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan memanfaatkan biofilm yang dalam media yang bergerak dalam tanki aerasi (Kholif, dkk., 2018; Chairani, dkk., 2021).

Media atau tempat melekat *biocarrier* seperti kaldnes dan bioball sering digunakan dalam pengolahan air. Kaldnes (polyethylene media) merupakan media yang sangatlah penting untuk membuat ekosistem yang stabil dengan memberikan tempat yang sangat cocok untuk bakteri baik berkembang biak. Keberadaan media Kaldnes memiliki efek stimulasi pada pertumbuhan komponen organik (Justyna, 2018). Kaldnes tipe K5 merupakan kaldnes yang mempunyai luas permukaan untuk mikroorganisme berkolonisasi sampai dengan 800 m<sup>2</sup>/L. Sedangkan untuk bioball duri mempunyai diameter 3,8 cm. Kedua media ini mempunyai luas permukaan

cukup besar sehingga saat turbulensi substrat bisa menyalurkan ke biofilm (Said dan Syabani, 2014). Penelitian ini menggunakan debit udara sebesar 20 L/min yang lebih besar dari Novembrianto dkk., (2021) hanya 8 L/min.

Pembentukan biofilm pada permukaan biotik atau abiotik disebabkan oleh sel mikroba dari spesies tunggal atau heterogen. Biofilm melindungi mikroba dari kondisi lingkungan yang penuh tekanan, aksi toksik bahan kimia, dan zat antimikroba (Chattopadhyay, 2022). Bentuk dan pori-pori pembawa biofilm memainkan peran utama dalam menentukan efisiensi fluidisasi, imobilisasi biomassa, dan efisiensi penyisihan. Namun, sedikit yang diketahui tentang dampaknya terhadap efisiensi bioremediasi. Pada penelitian Amshawee dkk., (2020) menyoroti fungsi geometri pembawa (yaitu, pori-pori dan bentuk) pada produktivitas bioremediasi, di mana pemilihan geometri pembawa yang salah dapat mencegah mikroba yang menempel pada inti dari mengakses nutrisi.



Gambar 1. Desinfeksi LED UV (Song dkk., 2016)

Gambar 1 menjelaskan proses penggunaan sinar UV-LED terhadap desinfeksi pengolahan air limbah. Terdapat empat factor yang mempengaruhi efektifitas penggunaan sinar UV diantaranya; *UV point source*, kemudahannya untuk dibawa, keragaman panjang gelombang, penerangan yang dapat disesuaikan. Banyaknya bahan organik alami atau *Natural Organic Matter* (NOM) dalam sumber air meningkatkan kadar produk sampingan beracun selama desinfeksi, termasuk trihalomethanes (THMs) yang terbentuk ketika NOM diklorinasi. Hajderes dkk (2019) mengeksplorasi kemanjuran dalam menggunakan UVC-LED sebagai desinfektan utama. Hasil studi tersebut menjelaskan bahwa penambahan UV-LED pada water treatment dapat menurunkan dosis klorinasi. Desinfeksi ultraviolet (UV) adalah salah satu teknologi paling umum dan paling efektif untuk desinfeksi air dan air limbah. Meskipun teknologi desinfeksi konvensional lainnya telah banyak digunakan seperti ozon, klorin

oksida, klorin, dan asam perasetat; semuanya mengandung bahan kimia dan menghasilkan produk sisa (Nguyen, 2019).

UV dengan klorinasi rendah dihasilkan sekitar 4,6 kali lebih sedikit THM dibandingkan dengan klorinasi konvensional. Studi lain yang dilakukan oleh Liang dkk juga menyatakan bahwa UV-LED dapat menurunkan *Tetracycline Resistant Bacteria* (TRB) dari *Bacillus species* dan *tetracycline resistant gene* (TRG) secara efektif dengan cara yang cepat, hemat energi, dan mengurangi resistensi (Liang dkk., 2020).

Proses sedimentasi pada penelitian ini dilakukan proses sterilisasi secara simultan dengan tujuan untuk mengurangi mikroorganisme patogen (Sulfikar dkk., 2018). Salah satu mikroorganisme patogen yang menyebar melalui air adalah bakteri *coliform* sehingga perlu adanya pengendalian kualitas air agar tidak terjadi pencemaran. Salah satu upayanya adalah dengan menggunakan sterilisasi untuk membunuh atau menonaktifkan bakteri dengan cara memberikan sinar ultraviolet (Winarti, 2020).

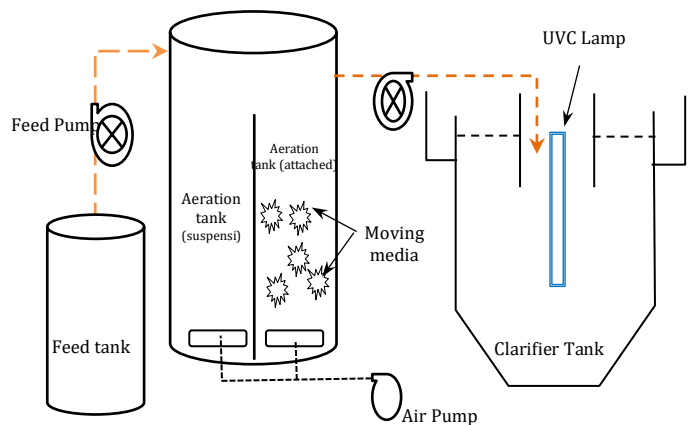
## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan air limbah domestik pada aktivitas pembangunan salah satu gedung kampus UPN "Veteran" Jawa Timur di kecamatan Gunung Anyar kota Surabaya dengan titik koordinat 7°20'1.68"S dan 112°47'19.59"E sebagai sampel. Teknologi untuk mengolah air limbah menggunakan beberapa metode kombinasi pengolahan secara biologi yakni melalui pengolahan secara tersuspensi dan dilanjutkan dengan pengolahan secara melekat. Hal ini bertujuan untuk mengurangi terbentuknya *foam* dan *bulking* yang terbentuk akibat aktivitas bakteri filamen pada proses di tanki aerasi (Raditeas dkk., 2019; Ningtyas, 2015).

Perlakuan *seeding* dan aklimatisasi dilakukan hingga mencapai *steady state* dengan pengamatan pada parameter COD. Proses *seeding* dalam reaktor anaerobik dengan tujuan membiakkan bakteri dengan metode kultur tersuspensi yaitu bertujuan menurunkan COD (Herlina N dkk, 2020). Proses *seeding* pada volume 30 liter dilakukan selama 14 hari hingga permukaan media berubah warna menjadi kecokelatan dan terlihat lapisan biofilm pada permukaan media. *Seeding* dilakukan dengan melakukan penambahan (*difuse*) udara ke dalam reaktor (Didgdoyo dan Cahyonugroho, 2021).

Selanjutnya dilakukan aklimatisasi hingga *steady state* selama  $\pm 7$  hari dengan tujuan mikroorganisme mampu menyesuaikan terhadap air limbah.

Variabel penelitian ini yaitu lama waktu aerasi secara tersuspensi 2 jam dan melekat selama 6 jam dibandingkan dengan tersuspensi 6 jam dan melekat selama 2 jam. total aerasi tersebut dengan waktu 8 jam. Perbandingan media melekat yang digunakan adalah Kaldnes dan Bioball duri. Selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak sedimentasi untuk pengendapan partikel sekaligus diberikan paparan sinar UVC tipe C (Elkhatat dkk., 2022; Fikri dkk., 2022; Kreitenberg 2022) dengan panjang gelombang 254 nm yang berfungsi untuk mereduksi *Total coliform*. Untuk rangkaian reaktor dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 2. Reaktor penelitian  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2022)

Reaktor yang telah termodifikasi yang dirancang skala laboratorium terbuat dari bahan fiber. Aerasi Pada proses tahap 1 yakni pengolahan secara aerob yang didahului oleh proses aerasi secara tersuspensi kemudian dilanjutkan dengan aerasi secara melekat dengan media kaldnes sebagai variasi 1 dan media bioball duri sebagai variasi 2. Integrasi sistem aerasi (Eslami dkk., 2018) dalam satu reaktor.

Namun pada penelitian ini dilakukan secara terpisah dengan menggunakan perlakuan aerasi pada masing-masing ruang sebesar 10 L/min. Waktu aerasi diberikan dengan waktu selama 8 jam (Nakhli dkk., 2014). Kemudian dilakukan pengendapan dan paparan sinar UVC 11 watt selama 2, 3, 4, 5 dan 6 jam secara simultan.

Hasil penelitian berupa sample mikroorganismen yang telah hidup pada media kaldnes dilakukan uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat permukaan pada media. SEM yang digunakan untuk spesimen biologis telah terbukti berhasil digunakan untuk pencitraan partikel inhalasi berdimensi mikrometer yang dipelajari sebelum munculnya bahan nano (Ann dkk., 2013).

Pengolahan dilakukan secara *batch* dalam setiap unit pengolahan. Hal ini untuk mengetahui kinerja setiap unit pengolahan air limbah domestik (Atnafu and Leta, 2021).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa awal air limbah domestik yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

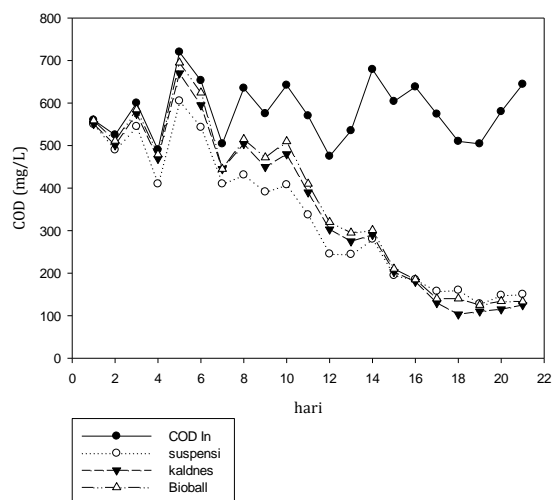
Tabel 1. Sampel Awal

Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Permen LHK No. 68 Tahun 2016
COD	mg/L	560	100
Total coliform	MPN/100 mL	3600	3000
pH	-	7	6-9
Suhu	°C	28	Deviasi

(Sumber: hasil penelitian, 2022)

Pada Tabel 1 memperlihatkan hasil analisa uji kualitas air limbah domestik yakni didapatkan pH awal berkisar  $7.4 \pm 0.1$ , nilai COD sebesar 560 mg/L dan *Total coliform* sebesar 3600 jumlah/100 mL. Parameter COD dan *Total coliform* ini belum memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016.

Pada penelitian ini diawali dengan proses *seeding* dilakukan secara natural yakni dengan menggunakan air limbah domestik tersebut. Proses tersebut dilakukan kontrol sebagaimana untuk keberlangsungan hidup mikroorganismen konsorsium (Kholif dkk., 2020).



Gambar 3. Reduksi COD pada Proses Seeding dan Aklimatisasi

(Sumber: Hasil Analisa, 2022)

Gambar 3 menunjukkan pada proses *seeding* dan aklimatisasi yang dilakukan selama 21 hari. Saat proses *seeding* terdapat perbedaan dengan pengolahan tersuspensi dan pengolahan secara melekat. Untuk *seeding* secara tersuspensi lebih banyak menghasilkan *foam* daripada *seeding* secara melekat. Hal ini dikarenakan adanya media berupa kaldnes dan bioball sebagai tempat melekatnya mikroorganismen dapat mengendalikan terjadinya *foam* yang berlebih yang terbentuk pada proses aerasi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Collivignarelli bahwa *foam* yang terjadi secara biologis sulit dikendalikan pada fase pengembangan yang intensif, strategi pengendalian pada fase awal berguna untuk mengintervensi pembentukan buih dengan memblokir proliferasi mikroorganismen pembentuk buih dari awal dan menghindari ekspansi yang lebih besar (Collivignarelli, 2020). Dalam penelitian ini penggunaan media berupa kaldnes dan bioball berguna untuk mengintervensi pembentukan *foam*.

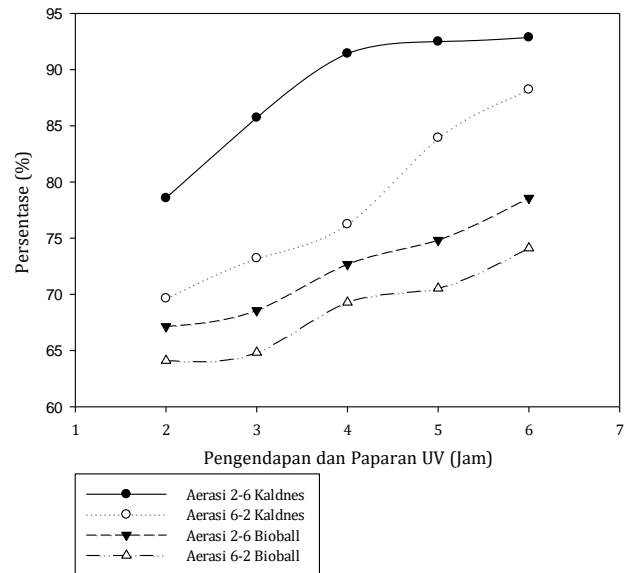
Pada hari ke 13 menunjukkan bahwa performa mikroorganismen pada media terlekat memberikan kemampuan mendekati media tersuspensi dan dilampaui pada hari ke 15 hingga pada hari ke 21. Kaldnes K5 dan bioball telah diselimuti biofilm dengan menandakan warna lapisan berwarna merah gelap (Lazarova, 1995). Selain itu pula pH berkisar antara  $7.2 \pm 0.1$ . Sehingga dapat diketahui bahwa mikroorganismen konsorsium tumbuh dengan baik di dalam reaktor serta mampu mendegradasi pencemar organik di dalam air limbah tersebut (Dhuhan dkk., 2021).

Proses *seeding* dan aklimatisasi mikroorganisme media terlekat lebih baik daripada tersuspensi. Pada hari ke 18 sampai dengan hari ke 21 tampak sudah steady state hal ini dapat ditunjukkan hasil reduksi COD berkisar antara 103-168 mg/L pada ketiga variasi.

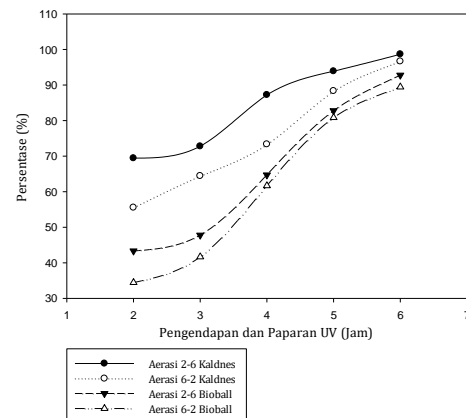
Tabel 2. Hasil Pengolahan Air Limbah

Variasi	Tersuspensi 2 jam dan melekat 6 jam Kaldnes K5		Tersuspensi 6 jam dan melekat 2 jam Kaldnes K5		Tersuspensi 2 jam dan melekat 6 jam Bioball Duri		Tersuspensi 6 jam dan melekat 2 jam Bioball Duri	
	COD 2-6	E coli 2-6	COD 6-2	E coli 6-2	COD 2-6	E coli 2-6	COD 6-2	E coli 6-2
Pengendapan dan Paparan UV 2 jam	120	1100	170	1600	184	2040	201	2360
Pengendapan dan Paparan UV 3 jam	80	980	150	1200	176	1800	197	2100
Pengendapan dan Paparan UV 4 jam	46	460	133	960	153	1270	172	1380
Pengendapan dan Paparan UV 5 jam	42	220	90	420	141	620	165	690
Pengendapan dan Paparan UV 6 jam	40	48	66	120	120	260	145	380

Hasil penelitian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pengolahan COD mampu turun minimum menjadi 201 mg/L dengan perlakuan menggunakan aerasi tersuspensi 6 jam dan aerasi melekat selama 2 jam dengan media bioball berduri pada proses pengendapan dan radiasi UVC selama 2 jam dan parameter patogen lainnya seperti *Total coliform* mampu berkisar 2360 MPN/100 mL. Sebaliknya kemampuan maksimum pada perlakuan aerasi 2 jam tersuspensi dan melekat selama 6 jam dan dilanjutkan pada pengendapan dan paparan selama 6 jam dengan hasil penurunan COD menjadi 40 mg/L dan *Total coliform* menjadi 48 MPN/100 mL. Penurunan variasi lainnya masih berada pada jumlah 120, 260 dan 380 MPN/100 mL. Nilai kesemuanya berada di bawah baku mutu yang dipersyaratkan. Kemampuan penurunan parameter tersebut kemungkinan dikarenakan peningkatan nilai amoniak yang terjadi karena aktifitas mikroorganisme konsorsium dalam reaktor untuk mengurai kandungan organik yang ditandai dengan peningkatan nilai pH dalam air limbah tersebut (Subagyo dkk., 2022). Aktivitas mikroorganisme di dalam air limbah menghasilkan amoniak sebagai produk samping metabolisme yang dihasilkan, hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Avalos yang menjelaskan bahwa peningkatan aktivitas mikroorganisme berhubungan erat dengan kadar amoniak yang dapat meningkatkan nilai pH karena ammonia memiliki sifat basa (Avalos, 2019).

Gambar 4. Persentase Penurunan COD  
(Sumber: Hasil Analisa, 2022)

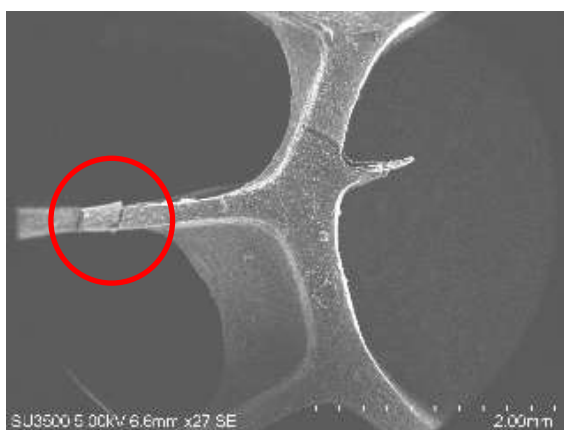
Gambar 4 menunjukkan outlet dan efisiensi removal COD yang dilakukan pada saat penelitian dengan kemampuan terbaik sebesar 92,88 % dengan variasi tersuspensi selama 2 jam dan melalui media kaldnes selama 6 jam (aerasi 2-6 Kaldnes) dan hasil diikuti pada variasi aerasi 6-2 kaldnes, 2-6 bioball dan aerasi 6-2 bioball berturut-turut sebesar 88,21 %, 78,57% dan 74,11 %. Penurunan konsentrasi dipengaruhi oleh luas permukaan *biofilm* media karena Kaldnes K5 lebih luas dibandingkan dengan Bioball (Subagyo dkk., 2022; Kholif dkk., 2018). Pada media kaldnes K5 memiliki permukaan *biofilm* yang lebih luas hal ini berkaitan dengan area untuk perkembangan bakteri pengurai, dengan kata lain semakin luas permukaan *biofilm* maka semakin efektif untuk perkembangbiakan organisme (Feng, 2015).

Gambar 5. Persentase Penurunan *Total coliform*  
(Sumber: Hasil Analisa, 2022)

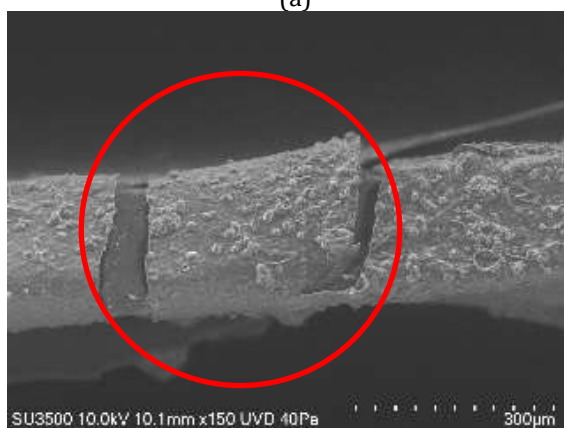
Pada Gambar 5 dengan menggunakan proses aerasi 2-6 kaldnes media menunjukkan bahwa hasil pada rentang pengendapan dan

paparan selama 3 jam hingga 4 jam mengalami peningkatan persentasi penurunan *Total coliform*. Hal ini mengindikasikan pada waktu tersebut sinar ultraviolet mampu bekerja dengan baik secara signifikan. Hasil maksimal pada penelitian ini menunjukkan outlet dan efisiensi removal *Total coliform* yang dilakukan selama dengan kemampuan terbaik sebesar 98,67 % dengan variasi tersuspensi selama 2 jam dan melalui media kaldnes selama 6 jam dan dilanjutkan pengendapan secara simultan dengan paparan penyinaran UVC selama 6 jam yakni menjadi 48 MPN/100 mL.

Pada paparan waktu selama 4 jam untuk variasi aerasi 2-6 kaldnes, 2-6 bioball dan 6-2 bioball telah mengalami reduksi yang signifikan dalam reduksi *Total coliform*. Sinar UVC melakukan penetrasi hingga mencapai titik inti sel termasuk DNA dan RNA (Karo, 2019). Sel patogen tersebut dicegah untuk melakukan replikasi. Kerusakan sel dapat menyebabkan kandungan organik dan sel menjadi mati (Winarti, 2020).



(a)



(b)

Gambar 6. Lapisan Biofilm pada Kaldnes setelah terbentuk (a) perbesaran 27x dan (b) 150 UVD p  
(Sumber: Hasil Analisa, 2022)

Pengambilan sampel pada Gambar 6 diambil pada media yang variasi pengolahan tertinggi yakni pada media Kaldnes dengan

menggunakan SEM dengan ukuran perbesaran sebesar 27x pada Gambar 5a dan 150 UVD pada Gambar 5b. Tampak pada Gambar 5a menunjukkan bahwa *biofilm* telah terbentuk pada media kaldnes pada hari ke-6 dan Gambar 5b menunjukkan bahwa mikroorganisme mengalami patahan atau *sloughing*.

Pada gambar tersebut juga mengindikasikan mikroorganisme hidup secara berkoloni membentuk biofilm yang terbentuk dari nutrient. Mikroorganism mampu melekat pada media terlekat ciri-ciri seperti ini termasuk mikroorganisme (fungi, algae, bakteri dan protozoa) yang hidup untuk menguraikan senyawa organik dalam simbiosisnya (Dhuan, 2021). Simbiosis yang terjadi pada proses tersebut adalah simbiosis mutualisme, fungi memperoleh makanan dari alga, alga mendapatkan perlindungan dari fungi karena bersifat heterotrof sedangkan alga yang memiliki sifat autotrof atau dapat memproduksi makanannya sendiri melalui foto sintesis (Morillas, 2022). Keberadaan interaksi antar mikroorganisme dalam penelitian ini penting untuk menguraikan senyawa organik yang terkandung di dalam limbah cair.

Ditemukan bahwa pembawa biofilm berpori yang ideal berbentuk bulat, dengan tonjolan pada permukaannya, dan ditandai dengan bukaan ukuran pori yang tidak beraturan lebih dari 1 mm. Bukaan pori yang tidak teratur menyediakan berbagai lingkungan untuk membiakkan berbagai sel, mengembangkan biofilm yang tidak rata, dan mempertahankan ukuran sel dan biomassa yang berbeda.

#### 4. KESIMPULAN

Pengembangbiakan dan aklimatisasi mikroorganisme pada pengolahan air limbah domestik dalam penelitian ini memerlukan waktu selama 21 hari. Dalam proses tersebut dilakukan kontrol pH dan temperatur. Pada tahap uji variasi pengolahan air limbah domestik didapatkan hasil terbaik pada pengolahan dengan variasi aerasi tersuspensi selama 2 jam dan dilanjutkan selama 6 jam aerasi dengan pemberian media bergerak dilanjutkan pengendapan dan paparan sinar ultraviolet selama 6 jam yakni parameter COD sebesar 92,85 % dan *Total coliform* sebesar 98,67 %.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

Amshawe, J., Yunus M. Y. 2021. Geometry of biofilm carriers: A systematic review

- deciding the best shape and pore size, *Groundwater for Sustainable Development*, Volume 12, ISSN 2352-801X, <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100520>.
- Ann Hubbs, Dale W. Porter, Robert Mercer, Vincent Castranova, Linda Sargent, Krishnan Sriram. 2013. Chapter 43 - Nanoparticulates, Editor(s): Wanda M. Haschek, Colin G. Rousseaux, Matthew A. Wallig, Haschek and Rousseaux's Handbook of Toxicologic Pathology (Third Edition), Academic Press, Pages 1373-1419, ISBN 9780124157590, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415759-0.00043-1>.
- Atnafu, T., Leta, S. 2021. A novel fragmented anode biofilm microbial fuel cell (FAB-MFC) integrated system for domestic wastewater treatment and bioelectricity generation. *Bioresour. Bioprocess.* 8, 112 <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00442-x>
- Avalos, Mariana & Garbeva, Paolina & Raaijmakers, Jos & Wezel, Gilles. (2019). Production of ammonia as a low-cost and long-distance antibiotic strategy by *Streptomyces* species. *The ISME Journal*. 14. 1-15. Doi: 10.1038/s41396-019-0537-2.
- Chattopadhyay I, J RB, Usman TMM, Varjani S. 2022. Exploring the role of microbial biofilm for industrial effluents treatment. *Bioengineered*. Mar;13(3):6420-6440. doi: 10.1080/21655979.2022.2044250. PMID: 35227160; PMCID: PMC8974063.
- Chairani, Mustika., Elystia, Shinta., Muria, Sri Rezeki. 2021. Penyisihan Nitrogen Total dalam Limbah Cair Hotel dengan Sistem Moving Bed Biofilm Reactor Menggunakan *Chlorella Sp.* *Jurnal Sains dan Teknologi* Vol. 10 No.1. P-ISSN : 2303-3142
- Collivignarelli MC, Baldi M, Abbà A, Caccamo FM, Carnevale Miino M, Rada EC, Torretta V. 2020. Foams in Wastewater Treatment Plants: From Causes to Control Methods. *Applied Sciences*; 10(8):2716. <https://doi.org/10.3390/app10082716>
- Dickdoyo, A., & Cahyonugroho, O. 2021. Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbbr). *Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 13(1), 33-36. DOI: <https://doi.org/10.33005/envirotek.v13i1.116>
- Dhuhan, Fitria, F., Kadaria, U. 2021. Efisiensi Pengolahan Limbah Cair Hotel Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, Vol. 09, No. 2 : 051 - 061. DOI : [10.26418/jtlb.v9i2.47491](https://doi.org/10.26418/jtlb.v9i2.47491)
- Eslami, H., Ehrampoush, M.H., Falahzadeh, H. dkk., 2018. Biodegradation and nutrients removal from greywater by an integrated fixed-film activated sludge (IFAS) in different organic loadings rates. *AMB Expr* 8, 3 <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0532-9>
- Elkhatat, A.M. 2022. Recent trends of microbial decontamination for occupational, industrial and domestic applications. *Bull Natl Res Cent* 46, 75 <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00761-9>
- Feng, G., Cheng, Y., Wang, SY. et al. 2015. Bacterial attachment and biofilm formation on surfaces are reduced by small-diameter nanoscale pores: how small is small enough?. *npj Biofilms Microbiomes* 1, 15022. <https://doi.org/10.1038/npjbiofilms.2015.2>
- Hadjeres, H., Pradhanang S, Boving, T., Meadows, M., Benzerrouk, S. 2019. The Case for LED-UVC as a Primary Disinfectant for Small Sustainable Drinking Water Systems. *MATEC Web of Conferences* 280. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20192800501>
- Herlina N, dkk. 2020. Studies on decreasing Chemical Oxygen Demand (COD) and Phosphate on laundry wastewater using anaerobic and phytoremediation with algae plants (*Hydrillaverticillata*). *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. DOI 10.1088/1742-6596/1542/1/012027.
- Justyna Koc-Jurczyk, Lukasz Jurczyk.,2018.

- Biological Removal of Ammonia from Municipal Landfill Leachate (Kozodrza, Poland) at Limited Oxygen Access and Presence of Kaldnes Media. *J. Ecol. Eng.* 2018; 19(2):131–139.  
<https://doi.org/10.12911/22998993/81818>
- Karo Michaelian, Norberto Santillán Padilla. 2019. UVC photon-induced denaturing of DNA: A possible dissipative route to Archean enzyme-less replication, *Heliyon*, Volume 5, Issue 6, e01902, ISSN 2405-8440,  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01902>.
- Kholif, Muhammad Al, Sutrisno, J., Prasetyo, Ilham Dwi. 2018. Penurunan Beban Pencemar Pada Limbah Domestik dengan Menggunakan Moving Bed Biofilter Reaktor (MBBR). *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol.4 No.1 DOI:[10.29080/alard.v4i1.365](https://doi.org/10.29080/alard.v4i1.365)
- Kholif, M. A., Alifia, A. R., Pungut, Sugito, dan Sutrisno, J. 2020. Kombinasi Teknologi Filtrasi Dan Anaerobik Buffled Reaktor (ABR) Untuk Mengolah Air Limbah Domestik. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*. Volume 15, Nomor 2, DOI: [10.26714/jkmi.15.2.2020.19-24](https://doi.org/10.26714/jkmi.15.2.2020.19-24)
- Kreitenberg, A. 2022. Leejay Polacci BA , Would it be Helpful to Infection Control Professionals to Have the FDA Regulate Whole-Room UVC Devices?, *AJIC: American Journal of Infection Control* doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2022.08.021>
- Lazarova, V. 1995. Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment. *Water Research*, 29(10), 2227–2245. doi:10.1016/0043-1354(95)00054-o
- Liang Shen, Tiffany Maria Griffith, Paul Onkundi Nyangaresi, Yi Qin, Xin Pang, Guolong Chen, Minglun Li, Yinghua Lu, Baoping Zhang. 2020. Efficacy of UVC-LED in water disinfection on *Bacillus* species with consideration of antibiotic resistance issue, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 386, 2020, 121968, ISSN 0304-3894,  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121968>.
- Morillas, L., Roales, J., Cruz, C., & Munzi, S. 2022. Lichen as Multipartner Symbiotic Relationships. *Encyclopedia*, 2(3), 1421–1431. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/encyclopedia2030096>
- Nandini Moondra, Namrata D Jariwala, Robin A Christian. 2021. Role of Phycoremediation in Domestic Wastewater Treatment. *Water Conservation and Management*, 5(2): 66-70. DOI: <https://doi.org/10.26480/wcm.02.2021.66.70>
- Nguyen TMH, Suwan P, Koottatep T, Beck SE. Application of a novel, continuous-feeding ultraviolet light emitting diode (UV-LED) system to disinfect domestic wastewater for discharge or agricultural reuse. *Water Res.* 2019 Apr 15;153:53-62. doi: 10.1016/j.watres.2019.01.006. Epub 2019 Jan 16. PMID: 30690218; PMCID: PMC6382465.
- Novembrianto, R. , Hikmah Ayu M, R. , & Rosariawari, F. 2021. Tofu Wastewater Treatment with the Growth Suspended Microorganism Using Different Air Flowrate. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(1), 01–08. DOI: <https://doi.org/10.29080/alard.v7i1.1299>
- Nurhayati, I., Ratnawati, R., dan Sugito. 2019. Effect of potassium and carbon addition on bacterial algae bioremediation of boezem water, *Environmental Engineering Research*, 24(3): 495-500. DOI: <https://doi.org/10.4491/eer.2018.270>
- Fikri, E., Putri N, Y., Djuhriah, N., Hanurawaty, N, Y., Khair, A. S. E. 2022. The Effectiveness of Melt-Blown Filter Cartridge and UV-C Rays on the Reduction of Total Coliform and Water Hardness in Production Process Water. *Journal of Ecological Engineering* 23(4), 181–190. <https://doi.org/10.12911/22998993/146677> ISSN 2299–8993, License CC-BY 4.0
- Raditias, Maulana, R., Ruhmawati, T.,



- Ardiani, Y., Teguh Budi. 2019. Perbedaan Waktu Operasional Aerator Lumpur Aktif Terhadap Kadar BOD, DD, SVI Limbah Cair Industri Susu. Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung Volume 11 No 2.
- Ratnawati, R., Ulfah S, L. 2020. Pengolahan Air Limbah Domestik menggunakan Biosand Filter. Jurnal Ilmu Lingkungan. DOI: [10.14710/jil.18.1.8-14](https://doi.org/10.14710/jil.18.1.8-14)
- Skouteris, G. Rodriguez-Garcia, S.F. Reinecke, U. 2020. Hampel, The use of pure oxygen for aeration in aerobic wastewater treatment: A review of its potential and limitations, Bioresource Technology, Volume 312, 2020, 123595, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123595>.
- Nakhli, S.A.A., Ahmadizadeh, K., Fereshtehnejad. 2014. Biological removal of phenol from saline wastewater using a moving bed biofilm reactor containing acclimated mixed consortia. SpringerPlus 3, 112. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-112>
- Ningtyas, R. 2015. Pengolahan Air Limbah dengan Proses Lumpur Aktif. Thesis. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
- Said, Nusa Idaman dan Syabani, Muhammad Rizki. 2014. Penghilangan Amoniak di Dalam Air Limbah Domestik dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). Jurnal Air Indonesia Vol. 7 no.1 DOI: <https://doi.org/10.29122/jai.v7i1.2399>
- Subagyo, A., Arifin., Kadaria, U. 2022. Perbandingan Jenis Media Kaldness terhadap Effisiensi Limbah Rumah Makan dengan Metode MBBR. Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, Vol. 10, No. 2 : 239 - 246. DOI:<http://dx.doi.org/10.26418/jtlb.v10i2.56415>
- Sulfikar, Ryo Honda, Mana Noguchi Ryoko Yamamoto-Ikemoto, Toru Watanabe. 2018. Effect of Sedimentation and Aeration on Antibiotic Resistance Induction in the Activated Sludge Process Journal of Water and Environment Technology, Vol. 16, No. 2: 94–105. <https://doi.org/10.2965/jwet.17-046>
- Widyarani, Wulan, D.R., Hamidah, U. et al. 2022. Domestic wastewater in Indonesia: generation, characteristics and treatment. Environ Sci Pollut Res 29, 32397–32414. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19057-6>
- Winarti, Cuti. 2020. Penurunan Bakteri *Total coliform* pada Air Limbah Rumah Sakit Terhadap Pengaruh Lama Waktu Penyinaran Dengan Sinar Ultra Violet. Jurnal Rekayasa Lingkungan. Vol. 20 No. 1. <https://doi.org/10.37412/jrl.v20i1.42>