

Efektivitas Konsorsium Mikroalga *Chlorella sp.* dan Mikroba *Indigenous* Dalam Menurunkan BOD, COD, dan TN Air Limbah Industri Kecap Menggunakan MBBR

Zuhria Oktaviani, Novirina Hendrasarie*

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Surabaya

*Koresponden email: novirina@upnjatim.ac.id

Diterima: 16 Agustus 2024

Disetujui: 22 Agustus 2024

Abstract

The treatment of soy sauce effluent poses a significant environmental challenge due to its high levels of contaminants. Several studies have shown that the use of *Chlorella sp.* microalgae can contribute to the degradation of BOD, COD and TN using a moving bed biofilm reactor (MBBR). Therefore, this study aims to determine the effectiveness of a consortium of *Chlorella sp.* microalgae and indigenous microbes in treating soy sauce wastewater using an MBBR with an anoxic-oxic process. This research uses a continuous system with variations in the volume of alkaline media (20%, 40%, 60%) and sampling times (14, 26, 38 hours). The best variation for the reduction of organic content in soy sauce wastewater using the *Chlorella sp.* microalgae consortium achieved a BOD reduction of 71.54%, COD reduction of 74% and TN reduction of 71.89%, all at a sampling time of 38 hours. Meanwhile, the organic reduction using indigenous microbes showed a BOD reduction of 86.76%, COD reduction of 88.24% and TN reduction of 82.76%, all at a sampling time of 38 hours.

Keywords: *soy sauce wastewater, Chlorella sp, indigenous, consortium, MBBR*

Abstrak

Pengolahan air limbah kecap merupakan salah satu tantangan bagi lingkungan karena mengandung kadar pencemar yang tinggi di dalamnya. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan mikroalga *Chlorella sp.* dapat membantu mendegradasi kandungan BOD, COD, dan TN menggunakan *moving bed biofilm reactor* (MBBR). Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas konsorsium mikroalga *Chlorella sp.* dan mikroba *indigenous* dalam mengolah air limbah kecap menggunakan MBBR dengan proses *anoxic-oxic*. Pada penelitian ini menerapkan sistem kontinyu dengan variasi volume media kaldness 1 (20%, 40%, 60%) dan waktu sampling (14, 26, 38 Jam). Didapatkan variasi terbaik dalam penurunan kandungan organik air limbah kecap menggunakan konsorsium mikroalga *Chlorella sp* dengan persentase BOD sebesar 71,54%, COD sebesar 74% 38, dan TN sebesar 71,89% masing-masing pada waktu sampling 38 jam. Sedangkan penurunan kandungan organik air limbah kecap dengan mikroba *indigenous* didapatkan persentase BOD sebesar 86,76%, COD sebesar 88,24%, dan TN sebesar 82,76% masing-masing pada waktu sampling 38 jam.

Kata Kunci: *air limbah kecap, Chlorella sp., indigenous, konsorsium, MBBR*

1. Pendahuluan

Industri kecap merupakan salah satu sektor manufaktur yang menghasilkan limbah padat dan limbah cair pada saat berlangsungnya proses produksi kecap [1]. Limbah cair organik dari industri kecap mengandung konsentrasi tinggi protein, karbohidrat, dan lemak, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika dibuang langsung ke badan air [2]. Pengolahan air limbah yang mengandung senyawa organik sebagai polutan kerap menggunakan teknologi yang melibatkan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik atau dikenal dengan proses biologis. Proses ini dapat diterapkan dalam kondisi aerobik/*oxic* (memakai udara), anaerobik (tanpa udara), *anoxic* (sedikit udara), atau kombinasi [3].

Pengolahan biologis berbasis biofilm meliputi *granular media biofilters, rotating biological contactors, trickling filter, dan moving bed biofilm reactor* (MBBR). MBBR merupakan salah satu teknologi terbaik karena mudah dalam perawatan, tidak memerlukan lahan luas, dan tidak membutuhkan backwash dalam proses pengolahannya [4]. MBBR salah satu teknologi pengolahan air limbah yang memanfaatkan prinsip pertumbuhan mikroorganisme terlekat (*attached growth*) dan tersuspensi (*suspended growth*). Mikroorganisme tumbuh pada media yang bergerak dalam aliran air limbah yang akan membentuk biofilm pada permukaan media [5].

Konsorsium mikroalga pada pengolahan MBBR dapat meningkatkan kandungan oksigen yang diproduksi melalui proses fotosintesis oleh mikroalga [6]. Berdasarkan penelitian terdahulu didapatkan bahwa konsorsium mikroalga *Chlorella sp.* dapat menghasilkan oksigen molekuler yang dapat mereduksi BOD hingga 97,2% pada air limbah domestik [7]. Berdasarkan penelitian terdahulu, penambahan *Chlorella sp.* dapat meningkatkan efisiensi pengurangan total nitrogen pada MBBR sebesar 91,96% pada air limbah domestik [4]. Berdasarkan penelitian terdahulu, pengolahan MBBR menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* mampu menyisihkan COD sebesar 83,53% [8]. Oleh karena itu, peneliti ingin menganalisis penyisihan kandungan organik menggunakan konsorsium mikroalga *Chlorella sp.* dengan pengolahan biologis *moving bed biofilm reactor* (MBBR) secara *anoxic-oxic*.

2. Metode Penelitian

Kultivasi Mikroalga *Chlorella sp.*

Kultivasi mikroalga *Chlorella sp.* bertujuan memperbanyak sel pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* Kultivasi menggunakan air laut steril sebagai media dengan perbandingan bibit mikroalga *Chlorella sp.* dan air laut sebanyak 1:3. Proses kultivasi berlangsung selama 7 hari pada bak bertutup plastik dengan aerasi 24 jam dan penambahan nutrisi berupa F2 Guillard sebanyak 1 mL/Liter setiap hari. Pengamatan dilakukan melalui perubahan warna dan perhitungan kerapatan sel mikroalga menggunakan haemocytometer pada mikroskop. Kerapatan mikroalga *Chlorella sp.* Pada hari ke-7 mencapai $3,66 \times 10^6$ sel/mL.

Seeding

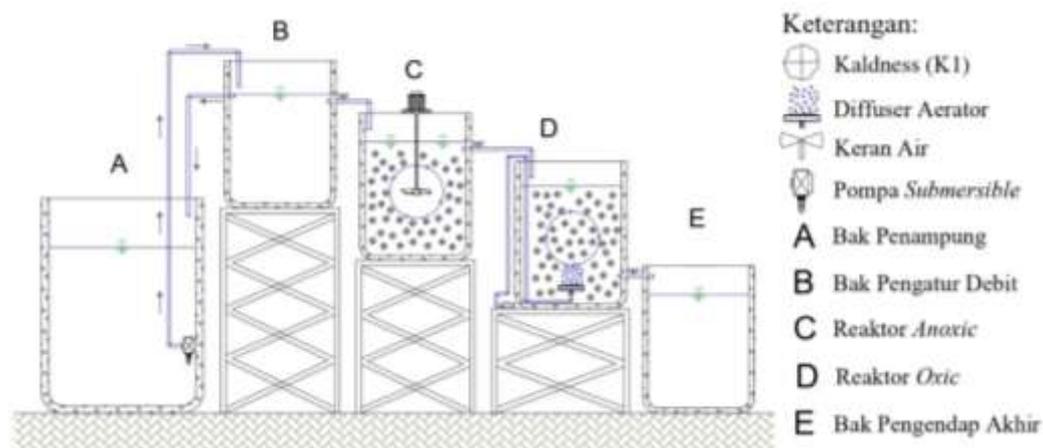
Seeding bertujuan untuk menumbuhkan mikroorganisme *indigenous* pada air limbah dan pembentukan biofilm pada media. *Seeding* pada penelitian ini berlangsung secara *batch* selama 21 hari dengan media kaldness 1 (K1). Penambahan nutrient untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme memperhatikan rasio COD:N:P sebesar 100:5:1 [9]. *Seeding* dilakukan dalam 2 kondisi yaitu *anoxic* dan *oxic*. Pada kondisi *oxic* ditambahkan suspensi mikroalga *Chlorella sp.* dan air limbah kecap dengan perbandingan 50:50. Parameter yang diamati selama *seeding* adalah pH, suhu, MLSS, dan MLVSS.

Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah proses penyesuaian mikroorganisme agar dapat bertahan dan berlangsung hidup pada lingkungan yang baru. Aklimatisasi berlangsung secara *batch* dan bertahap dengan konsentrasi limbah sebesar 30%, 60%, dan 90% dengan tujuan agar mikroorganisme tidak terkena *shock loading* yang menyebabkan kematian pada mikroorganisme [10].

Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan dengan sistem kontinyu secara *anoxic-oxic* dengan volume reaktor sebanyak 5 liter. Reaktor MBBR berjumlah 6 yang terdiri dari 3 bak kondisi *anoxic* dan 3 bak kondisi *oxic*. Reaktor *anoxic* dilengkapi oleh pengaduk dengan kecepatan 30 rpm yang digunakan untuk menggerakkan media K1. Pada reaktor *oxic* dilengkapi aerator dengan debit sebesar 6 L/menit sebagai suplai oksigen dan membantu dalam pergerakan media K1. Pada penelitian ini terdapat variasi volume isian media sebesar 20%, 40%, 60, dan variasi waktu sampling pengolahan selama 14 jam, 26 jam, 38 jam. Rangkaian pengolahan meliputi penampungan awal, pengatur debit, reaktor MBBR *anoxic*, reaktor MBBR *oxic*, dan bak pengendap akhir. Parameter kontrol yang diperhatikan selama proses *running* berlangsung yaitu pH, suhu, dan DO. Sedangkan parameter utama terdiri dari parameter BOD, COD, dan TN. Reaktor pengolahan air limbah kecap yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Reaktor Penelitian MBBR

Sumber: Penelitian (2024)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Awal Air Limbah Kecap

Analisis karakteristik awal air limbah kecap bertujuan untuk mengetahui kadar pencemar yang terkandung pada air limbah kecap sebelum dilakukan pengolahan. Pengambilan sampel air limbah kecap berasal dari bak penampung awal pada salah satu industri kecap di Kota Surabaya. Hasil analisis karakteristik awal dijabarkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik Awal Air Limbah Kecap

No	Parameter	Hasil Uji	Baku Mutu Permen LH No. 5 Tahun 2014	Satuan
1	pH	4	6,5-8,5	-
2	Suhu	27	-	°C
3	DO	0,78	-	mg/L
4	COD	2371,2	300	mg/L
5	BOD ₅	948,48	150	mg/L
6	TN	70	-	mg/L

Hasil analisis karakteristik awal diketahui bahwa parameter BOD, COD, dan TN cukup tinggi, sehingga perlunya dilakukan pengolahan dalam menurunkan kadar BOD, COD, dan TN. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan biologis menggunakan MBBR sistem kontinu pada kondisi *anoxic-oxic*. Sebelum dilakukan *running* penelitian utama, terdapat tahapan kultivasi mikroalga *Chlorella sp.*, *seeding*, dan aklimatisasi.

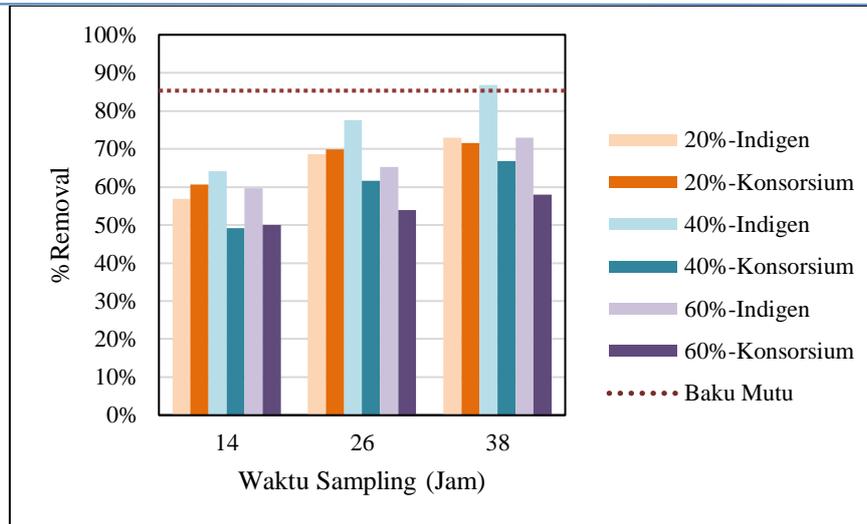
Tahap kultivasi mikroalga *Chlorella sp.* dilakukan selama 7 hari, kerapatan sel mikroalga *Chlorella sp.* mencapai 336×10^4 sel/mL pada hari ketujuh. Sedangkan tahap *seeding* berlangsung selama 21 hari. Selama tahap *seeding* dilakukan pengecekan pH, Suhu, DO, MLSS, dan MLVSS. MLSS adalah total padatan tersuspensi yang terdiri dari material organik dan mineral, termasuk mikroorganisme. MLVSS mewakili MLSS sebagai indikator biomassa aktif dalam sistem pengolahan air limbah untuk menentukan jumlah mikroorganisme yang berperan dalam dekomposisi bahan organik [11]. Kriteria nilai MLSS berkisar 3500-4500 mg/L [12]. Proses lumpur aktif dikatakan baik apabila nilai MLVSS mendekati 65-75% nilai MLSS [11].

Tahap Aklimatisasi dibagi menjadi 3 tahap. Tahap 1 dengan konsentrasi air limbah sebanyak 30% mampu meremoval COD berkisar 35,29-67,65% pada kondisi *anoxic* dan *oxic*. Tahap 2 dengan konsentrasi air limbah sebanyak 60% mampu meremoval COD berkisar 60,98-80,49% pada kondisi *anoxic* dan *oxic*. Tahap 3 dengan konsentrasi air limbah sebanyak 90% mampu meremoval COD berkisar 64,52%-81,57%. Penyisihan COD pada setiap tahapan menandakan bahwa mikroorganisme telah bekerja dengan baik pada lingkungan yang baru, sehingga dapat dilanjutkan pada proses *running* penelitian utama. Aklimatisasi dilakukan hingga penyisihan COD mencapai 50% dari konsentrasi awal air limbah [13]. Air limbah berada kondisi *steady state* dengan fluktuasi penyisihan COD tidak melebihi dari 10% [14].

3.2 Pengaruh Waktu Sampling dan Volume Isian Media Terhadap Penyisihan Parameter BOD₅

BOD (*Biological Oxygen Demand*) merupakan indikator dalam mengetahui jumlah bahan organik yang mudah terurai oleh mikroorganisme di dalam air. Waktu sampling dan volume isian media sebagai variabel penelitian saling mempengaruhi terhadap penyisihan BOD₅. Hasil Penyisihan BOD₅ dijabarkan pada **Gambar 2**.

Removal BOD₅ tertinggi pada mikroba *indigenous* air limbah kecap sebesar 86,76% dengan kadar BOD₅ sebesar 109,44 mg/L pada waktu sampling 38 jam menggunakan 40% volume isian media kaldness 1 (K1). Sedangkan penggunaan konsorsium mikroalga *Chlorella sp.* mampu menyisihkan BOD₅ sebesar 71,54% dengan kadar BOD₅ sebesar 235,3 mg/L pada waktu sampling 38 jam menggunakan 20% volume isian media. Waktu sampling 38 jam merupakan waktu optimal pada penyisihan kadar BOD₅ pada penelitian ini yang terdiri dari 24 jam pengolahan pada kondisi *anoxic*, 12 jam pengolahan pada kondisi *oxic*, dan 2 jam pengendapan. Hal ini disebabkan semakin lama waktu kontak air limbah pada reaktor, maka mikroorganisme akan semakin baik dalam mendegradasi senyawa organik pada air limbah. Namun, pada penelitian ini penyisihan BOD₅ dengan konsorsium mikroalga *Chlorella sp.* lebih kecil dibandingkan penggunaan mikroba *indigenous*.



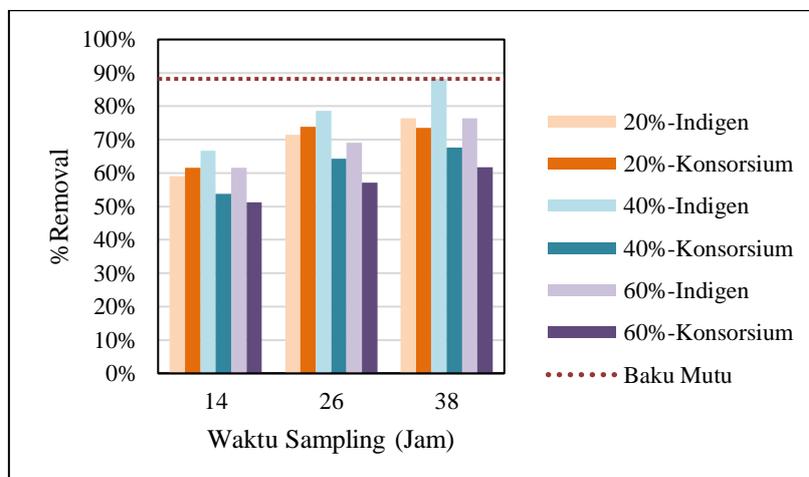
Gambar 2 Grafik Hubungan Waktu Sampling dan Volume Isian Media Terhadap Removal BOD₅ Konsorsium Mikroalga *Chlorella sp.* dan Mikroba *Indigenus*
Sumber: Data Primer (2024)

Hal ini dikarenakan kurang optimalnya pencahayaan yang masuk menyinari mikroalga sehingga pertumbuhan mikroalga menjadi terhambat. Air limbah yang memiliki warna gelap akan sulit ditembus oleh cahaya [15]. Sejalan dengan penelitian ini, air limbah kecap memiliki karakteristik warna yang gelap yaitu kuning kecoklatan sehingga dapat mengakibatkan mikroalga sulit beradaptasi karena minimnya cahaya yang membantu pertumbuhan sel mikroalga *Chlorella sp.*

Konsorsium mikroalga *Chlorella sp.* mampu melakukan penyisihan BOD₅ terbaik dengan volume isian media sebanyak 20%. Hal ini dikarenakan pertumbuhan mikroalga dengan volume isian media 20% lebih optimal dalam penyerapan cahaya dan proses fotosintesis dibandingkan pada volume isian media 40% dan 60%. Penggunaan volume isian media yang lebih sedikit memungkinkan dapat mengurangi kompetisi antar sel dalam penggunaan nutrisi. Sedangkan penggunaan mikroba *indigenus* air limbah kecap mampu melakukan penyisihan BOD₅ terbaik dengan volume isian media sebanyak 40%. Hal ini disebabkan karena mikroorganisme yang tumbuh berasal dari satu sumber yang sama yaitu air limbah kecap, sehingga memungkinkan penggunaan nutrisi dan ruang yang cukup bagi mikroorganisme untuk berkembang dan menguraikan senyawa organik pada air limbah dengan volume isian media sebanyak 40%.

3.3 Pengaruh Waktu Sampling dan Volume Isian Media Terhadap Penyisihan Parameter COD

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah ukuran untuk mengetahui jumlah total bahan organik dalam air yang mudah terurai maupun sulit terurai. Penggunaan waktu sampling dan volume isian media sebagai variabel penelitian saling mempengaruhi terhadap penyisihan COD. Hasil Penyisihan COD dijabarkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Grafik Hubungan Waktu Sampling dan Volume Isian Media Terhadap Removal COD Konsorsium Mikroalga *Chlorella sp.* dan Mikroba *Indigenus*
Sumber: Data Primer (2024)

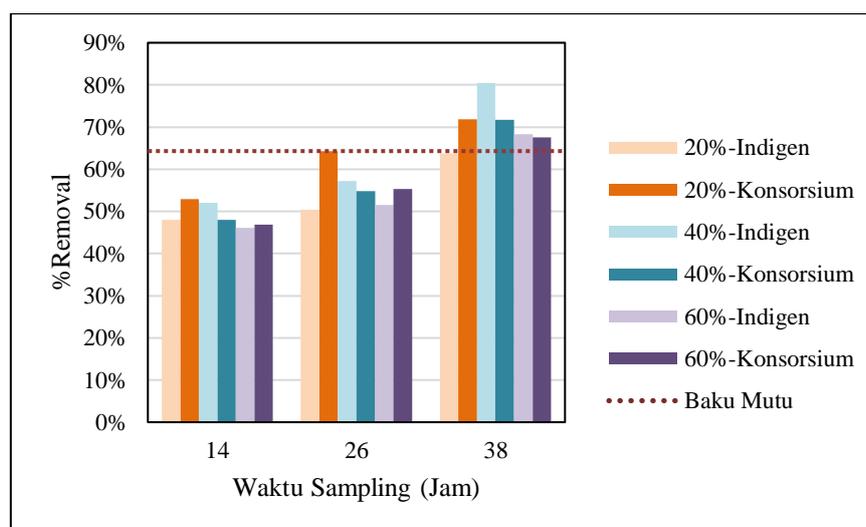
Penyisihan COD pada mikroba *indigenus* air limbah kecap sebesar 88,24% dengan kadar COD sebesar 243,2 mg/L pada waktu sampling 38 jam menggunakan 40% volume isian media kaldness 1 (K1). Sedangkan penyisihan COD dengan konsorsium mikroalga *Chlorella sp.* sebesar 74% dengan kadar sebesar 547,2 mg/L pada waktu sampling 38 jam menggunakan 20% volume isian media. Waktu sampling 38 jam merupakan waktu optimal pada penyisihan kadar COD. Sama halnya dalam penyisihan BOD₅, penurunan kadar COD pada penelitian ini disebabkan oleh semakin lama waktu yang diberikan untuk mikroorganisme mendegradasi senyawa organik dalam air limbah, maka akan semakin besar pula penyisihan senyawa organik yang dihasilkan. Namun, penyisihan COD dengan konsorsium mikroalga *Chlorella sp.* lebih kecil dibandingkan penggunaan mikroba *indigenus*.

Selain disebabkan oleh kurang optimalnya pencahayaan yang menyinari mikroalga, perlu diketahui meskipun mikroalga *Chlorella sp.* dapat menghasilkan oksigen yang dapat membantu mikroba *indigenus* dalam mendegradasi senyawa organik, akan tetapi mikroba *indigenus* dan mikroalga *Chlorella sp.* merupakan jenis mikroorganisme yang berasal dari sumber berbeda sehingga memungkinkan keduanya memiliki kondisi optimal yang berbeda dalam aktivitas biologisnya. Hal ini dapat ditinjau berdasarkan adaptasi lingkungannya, mikroalga berasal dari perairan alami yang tidak secara khusus beradaptasi dengan air limbah, jika dibandingkan dengan mikroba *indigenus* yang bersumber dari air limbah kecap akan lebih mudah beradaptasi pada lingkungannya sendiri. Mikroalga *Chlorella sp.* juga dapat tumbuh dengan baik apabila berada pada kondisi pH netral hingga sedikit basa, memungkinkan terjadinya kondisi *shock* pada mikroalga ketika berada pada kondisi air limbah dengan pH awal bersifat asam [16].

Penggunaan konsorsium mikroalga *Chlorella sp.* mampu menyisihkan COD terbaik dengan volume isian media sebanyak 20%. Sama halnya seperti penyisihan BOD₅, hal ini dikarenakan pertumbuhan mikroalga dengan volume isian media 20% lebih optimal dalam penyerapan cahaya dan proses fotosintesis dibandingkan pada volume isian media 40% dan 60%. Penggunaan volume isian media yang lebih sedikit memungkinkan dapat mengurangi kompetisi antar sel dalam penggunaan nutrisi. Sedangkan penggunaan mikroba *indigenus* air limbah kecap mampu melakukan penyisihan COD terbaik dengan volume isian media sebanyak 40% karena mikroorganisme berasal dari satu sumber lingkungan yang sama. Hal ini memungkinkan mikroorganisme mampu memanfaatkan nutrisi dan ruang secara optimal, sehingga dapat menguraikan senyawa organik pada air limbah dengan baik pada volume isian media sebanyak 40%.

3.4 Pengaruh Waktu Sampling dan Volume Isian Media Terhadap Penyisihan Parameter TN

TN (Total Nitrogen) adalah jumlah keseluruhan nitrogen yang terkandung di dalam air. Nitrogen dapat dijadikan sebagai nutrient bagi air limbah dalam proses pengolahannya, namun apabila konsentrasi nitrogen terlalu tinggi akan bersifat *toxic* bagi lingkungan, sehingga perlunya dilakukan pengolahan dalam menyisihkan kandungan nitrogen pada air limbah. Penggunaan waktu sampling dan volume isian media sebagai variabel penelitian saling mempengaruhi terhadap penyisihan TN. Hasil Penyisihan Total N dijabarkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Grafik Hubungan Waktu Sampling dan Volume Isian Media Terhadap Removal Total N Konsorsium Mikroalga *Chlorella sp.* dan Mikroba *Indigenus*

Sumber: Data Primer (2024)

Penyisihan TN terbaik dalam penggunaan mikroba *indigenus* sebesar 83,85% dengan kadar sebesar 10,4 mg/L pada waktu sampling 38 jam menggunakan volume isian media sebanyak 40%. Sedangkan penyisihan TN dalam penggunaan konsorsium mikroalga *Chlorella sp.* sebesar 71,89% dengan kadar sebesar 18,1 mg/L pada waktu sampling 38 jam menggunakan volume isian media sebanyak 20%. Waktu sampling optimal dalam penyisihan TN pada penelitian ini selama 38 jam. Hal ini disebabkan oleh semakin lama waktu kontak dalam proses pengolahan air limbah, maka akan semakin tinggi efisiensi penyisihan nitrogen karena semakin banyak waktu yang dimiliki oleh mikroorganisme dalam melakukan proses biokimia yang diperlukan untuk proses denitrifikasi-nitrifikasi [17]. Denitrifikasi proses perubahan nitrat menjadi nitrit lalu diubah menjadi gas nitrogen, sedangkan nitrifikasi merupakan proses perubahan amonia menjadi nitrat lalu diubah menjadi nitrat. Sehingga proses tersebut akan menyisihkan TN secara signifikan [18].

Pada konsorsium mikroalga *Chlorella sp.* penyisihan TN terbaik pada volume isian media sebanyak 20% yang artinya volume isian media sebanyak 20% lebih efisien dalam melakukan proses fotosintesis dan penyerapan cahaya pada mikroalga. Sedangkan pada mikroba *indigenus* air limbah kecap mampu menyisihkan TN terbaik dengan volume isian media sebanyak 40% karena pada volume isian media 40% mikroorganisme mendapatkan nutrisi dan ruang yang memadai sehingga penyisihan nitrogen pun dapat berlangsung secara optimal.

4. Kesimpulan

Efisiensi pada penggunaan mikroba *indigenus* didapatkan hasil penyisihan lebih baik dibandingkan dengan konsorsium mikroalga *Chlorella sp.* yang disebabkan oleh kurangnya pencahayaan pada mikroalga *Chlorella sp.* dan adaptasi lingkungan yang kurang optimal bagi perkembangan hidup mikroalga *Chlorella sp.* Didapatkan hasil penyisihan BOD, COD, dan TN pada mikroba *indigenus* berturut-turut sebesar 86,76%, 88,24%, dan 83,85%. Sedangkan pada penggunaan konsorsium *Chlorella sp.* didapatkan hasil penyisihan BOD, COD, dan TN berturut-turut sebesar 71,54%, 74%, dan 71,89%.

5. Referensi

- [1] F. A. Setyawan, D. R. Widiani, and A. V. Sophia, "Analisis akar penyebab kegagalan instalasi pengolahan air limbah industri kecap menggunakan metode root cause analysis," *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 186–190, 2022
- [2] A. Y. G. Dirgantoro, "Perbaikan kualitas limbah cair industri kecap dan saos PT. Lombok Gandaria dengan variasi bakteri indigenus," Program Studi Biologi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta, 2017.
- [3] N. I. Said and T. I. Santoso, "Penghilangan polutan organik dan padatan tersuspensi di dalam air limbah domestik dengan proses moving bed biofilm reactor (MBBR)," *Jurnal Air Indonesia*, vol. 8, no. 1, pp. 33–46, 2015.
- [4] M. Chairani, S. Elystia, and S. R. Muria, "Penyisihan nitrogen total dalam limbah cair hotel dengan sistem moving bed biofilm reactor menggunakan *Chlorella sp.*," *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, vol. 10, no. 1, pp. 16–27, 2021.
- [5] B. C. Ningtias, S. S. Moersidik, C. R. Priadi, and N. I. Said, "Pengolahan air limbah domestik dengan anoksik-aerobik moving bed biofilm reactor (studi kasus: Penyisihan amonia dan karbon dalam air limbah domestik)," *Jurnal Air Indonesia*, vol. 8, no. 2, pp. 177–188, 2018.
- [6] A. Fallahi, F. Rezvani, H. Asgharnejad, E. Khorshidi, N. Hajinajaf, and B. Higgins, "Interactions of microalgae-bacteria consortia for nutrient removal from wastewater: A review," *Chemosphere*, vol. 272, no. 129878, 2021.
- [7] D. Kang and K. Kim, "Real wastewater treatment using a moving bed and wastewater-borne algal-bacterial consortia with a short hydraulic retention time," *Processes*, vol. 9, no. 1, pp. 1–15, 2021.
- [8] A. Masta, S. Elystia, and S. R. Muria, "Pengaruh variasi debit udara terhadap efisiensi penyisihan COD dalam limbah cair hotel pada sistem moving bed biofilm reactor (MBBR) menggunakan *Chlorella sp.*," *JOM FTEKNIK*, vol. 7, 2020.
- [9] N. Hendrasarie and I. I. Yadaturrahmah, "Pengaruh penambahan impeller pada fase aerobik terhadap efisiensi kinerja sequencing batch reactor pada limbah cair industri tahu," *Jurnal Envirotek*, vol. 13, no. 1, pp. 7–13, 2021.
- [10] N. Hendrasarie, "Buah Siwalan sebagai adsorben dan media lekat biofilm pada pengolahan limbah domestik menggunakan sequencing batch reactor," *Jurnal Envirous Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur*, vol. 1, pp. 98–105, 2022.
- [11] N. I. Said, *Teknologi Pengolahan Air Limbah, Teori dan Aplikasi*. Erlangga, 2017.

- [12] Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th ed., McGraw-Hill Companies, Inc., 2003.
- [13] N. Hendrasarie and M. N. Trilta, "Removal of nitrogen-phosphorus in food wastewater treatment by the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) and Rotating Biological Contactor (RBC)," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 245, no. 1, 2019.
- [14] E. Wahyu and N. Hendrasarie, "Penurunan kandungan zat pencemar organik pada air limbah rumah potong ayam dengan biofilter aerob menggunakan media kulit kerang," *Jurnal Envirous Teknik Lingkungan*, vol. 3, no. 1, pp. 19–25, 2022.
- [15] S. Elystia, V. M. Rizani, and S. R. Muria, "Penyisihan polutan pada palm oil mill effluent (POME) menggunakan konsorsium mikroalga-bakteri dengan sistem high rate algae reactor (HRAR)," *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, vol. 7, no. 1, pp. 146–159, 2021.
- [16] S. R. Muria, F. M. Shiddiq, I. Damayanti, and I. Purnama, "Kultivasi mikroalga *Chlorella* sp. secara fed-batch menggunakan limbah cair tahu untuk produksi lipid," *JChEES*, vol. 4, no. 1, pp. 37–56, 2023.
- [17] N. Hendrasarie and F. I. Zarfandi, "Integrated anoxic-oxic sequencing batch reactor combined with coconut fiber waste as biofilm and adsorbent media," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 24, no. 11, pp. 176–189, 2023.
- [18] N. Hendrasarie and B. A. Santosa, "Pengolahan limbah cair rumah potong hewan menggunakan rotating biological contactor modifikasi sludge zone," *Journal of Research and Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 168–177, 2019.