

Pengaruh Variasi Waktu Oksik-Anoksik Terhadap Laju Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dan Efisiensi Penyisihan Fosfat dalam Sistem *Intermittent Moving Bed Biofilm Reactor*

Marwa Ardiyanti Safa Widyaningtyas¹, Tuhu Agung Rachmanto²

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

Koresponden email: ¹22034010017@student.upnjatim.ac.id, ²tuhu.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 17 Juni 2026

Disetujui: 23 Juni 2026

Abstract

Greywater from Rusunawa Gunung Anyar, Surabaya, contains phosphate at 43 mg/L, exceeding the quality standard of 0.2 mg/L set by Government Regulation No. 22 of 2021. This study analyzed the effect of oxic-anoxic time variation on the growth rate of *Chlorella vulgaris* and phosphate removal efficiency in an Intermittent Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) system. A batch reactor with Kaldnes K5 media (20% filling ratio) and an 8-hour retention time was used, with three time variations: C1 (4h oxic–1h anoxic–3h oxic), C2 (3h oxic–2h anoxic–3h oxic), and C3 (2h oxic–3h anoxic–3h oxic). The highest specific growth rate was obtained under C1, reaching 0.0887 h⁻¹ (suspended phase, doubling time 7.81 h) and 0.0964 h⁻¹ (attached phase). C1 also achieved the highest phosphate removal efficiency (73%), reducing phosphate from 43 mg/L to 11.634 mg/L. This was attributed to the longer oxic phase, which extended photosynthesis time, increased biomass formation, and enhanced phosphate uptake for nucleic acid, phospholipid, and ATP synthesis. C1 was thus the optimum condition for *Chlorella vulgaris* growth and phosphate removal in the Intermittent MBBR system.

Keyword: *chlorella vulgaris*, growth rate, intermittent mbb, oxic-anoxic time variation, phosphate

Abstrak

Limbah cair *greywater* Rusunawa Gunung Anyar Surabaya mengandung fosfat sebesar 43 mg/L, melebihi baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 sebesar 0,2 mg/L. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi waktu oksik-anoksik terhadap laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dan efisiensi penyisihan fosfat dalam sistem *Intermittent Moving Bed Biofilm Reactor*. Penelitian menggunakan reaktor *batch* dengan media *Kaldnes K5* (*filling ratio* 20%), waktu tinggal 8 jam, dan tiga variasi waktu proses: C1 (4 jam oksik–1 jam anoksik–3 jam oksik), C2 (3 jam oksik–2 jam anoksik–3 jam oksik), dan C3 (2 jam oksik–3 jam anoksik–3 jam oksik). Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pertumbuhan spesifik *Chlorella vulgaris* tertinggi pada fase tersuspensi dicapai pada variasi C1 sebesar 0,0887 jam⁻¹ dengan *doubling time* 7,81 jam, dan pada fase terlekat sebesar 0,0964 jam⁻¹. Efisiensi penyisihan fosfat tertinggi juga dicapai pada variasi C1 sebesar 73% dengan konsentrasi akhir 11,634 mg/L dari inlet 43 mg/L. Tingginya laju pertumbuhan dan penyisihan fosfat pada C1 disebabkan oleh durasi fase oksik yang lebih panjang, yang memberikan lebih banyak waktu fotosintesis sehingga biomassa yang terbentuk lebih tinggi dan serapan fosfat untuk sintesis asam nukleat, fosfolipid, dan ATP menjadi lebih besar. Variasi C1 merupakan kondisi paling optimum untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dan penyisihan fosfat dalam sistem *Intermittent MBBR* pada pengolahan limbah cair domestik.

Kata Kunci: *chlorella vulgaris*, fosfat, intermittent mbb, laju pertumbuhan, variasi waktu oksik-anoksik

1. Pendahuluan

Limbah cair *greywater* dari Rusunawa Gunung Anyar Gedung B Surabaya dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan dengan konsentrasi fosfat sebesar 43 mg/L. Nilai tersebut jauh melampaui baku mutu yang ditetapkan oleh PP No. 22 Tahun 2021 untuk fosfat sebesar 0,2 mg/L. Akumulasi fosfat dalam badan air dapat memicu eutrofikasi yang berdampak pada penurunan kualitas ekosistem perairan [1]. *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) merupakan salah satu metode pengolahan biologis yang efektif karena tidak memerlukan proses *backwash*, membutuhkan lahan yang relatif kecil, serta mudah dalam pengoperasian [2]. Sistem MBBR yang dioperasikan secara *intermittent* memungkinkan terjadinya proses nitrifikasi dan denitrifikasi secara bergantian dalam satu reaktor melalui siklus aerasi oksik dan anoksik, sehingga mampu meningkatkan efisiensi penyisihan nutrisi [3]. Penambahan mikroalga pada sistem MBBR dapat menghasilkan oksigen melalui fotosintesis yang mendukung aktivitas bakteri dalam mendegradasi senyawa organik serta menyisihkan nutrisi secara biologis [4].

Chlorella vulgaris merupakan mikroalga hijau bersel tunggal yang efektif dalam menyerap nitrogen dan fosfat dari limbah domestik serta memiliki laju pertumbuhan yang cepat [5]. Kemampuan asimilasi fosfat oleh *Chlorella vulgaris* terjadi melalui penyerapan langsung fosfat sebagai nutrisi esensial untuk sintesis asam nukleat, fosfolipid membran sel, dan ATP [6]. Berdasarkan penelitian [1] sistem MBBR dengan penambahan *Chlorella vulgaris* mampu menyisihkan nitrogen total sebesar 91,96%, yang mengindikasikan potensi tinggi dalam penyisihan nutrisi termasuk fosfat.

Variasi waktu oksik-anoksik dalam sistem *intermittent* MBBR berpengaruh terhadap laju pertumbuhan mikroalga dan kemampuan penyisihan fosfat. Durasi fase oksik menentukan lamanya waktu fotosintesis berlangsung, yang secara langsung memengaruhi akumulasi biomassa dan serapan fosfat oleh mikroalga. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi waktu oksik-anoksik terhadap laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dan efisiensi penyisihan fosfat dalam sistem *Intermittent* MBBR pada pengolahan limbah cair domestik Rusunawa Gunung Anyar Surabaya.

2. Metode Penelitian

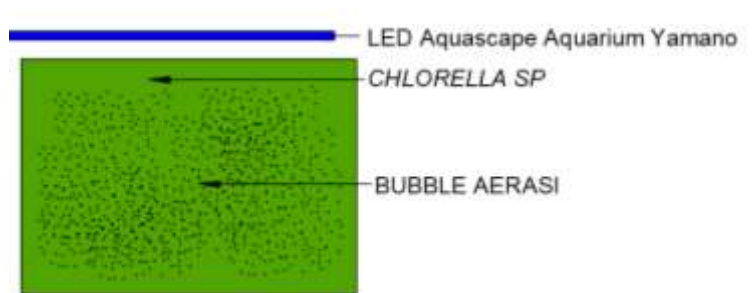
Penelitian menggunakan skala laboratorium dengan sampel air limbah domestik yang diperoleh dari Rusunawa Gunung Anyar Gedung B Kota Surabaya. Sumber air limbah domestik tersebut dipilih sebagai objek penelitian karena berdekatan dengan aktivitas mandi, cuci, kakus dan belum melalui pengolahan sehingga berpotensi mengandung kadar fosfat yang tinggi.

2.1 Bahan dan Peralatan

Penelitian menggunakan sampel limbah cair domestik *greywater* dari Rusunawa Gunung Anyar Gedung B Surabaya dengan karakteristik awal fosfat 43 mg/L.

2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian yang dilakukan mencakup dalam tiga tahap. Pertama, tahap kultivasi mikroalga dilakukan selama 14 hari hingga mencapai fase stasioner dengan kerapatan sel maksimum.



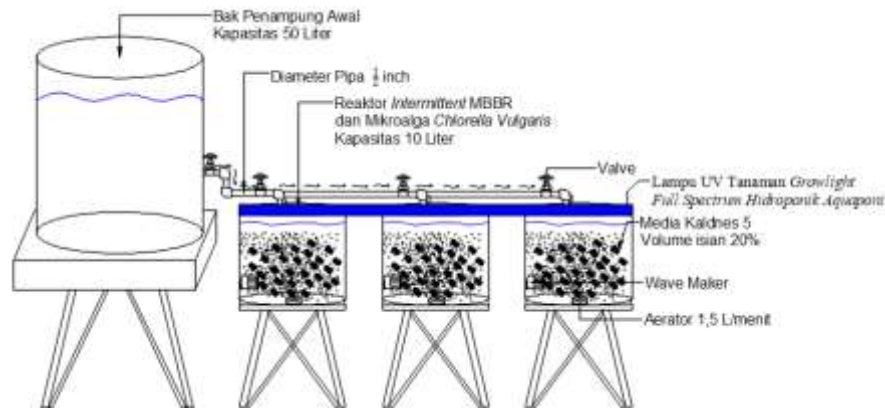
Gambar 1. Proses Kultivasi Mikroalga
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Kedua, tahap *seeding* bakteri dilakukan selama 15 hari untuk membentuk biofilm pada media K5 hingga nilai MLSS mencapai ≥ 2.000 mg/L. Ketiga, tahap aklimatisasi dilakukan selama 12 hari menggunakan dua tahap pengenceran limbah (50%:50% dan 75%:25%) untuk menyesuaikan konsorsium mikroorganisme terhadap karakteristik air limbah.

Penelitian utama dilakukan menggunakan tiga variasi waktu proses oksik-anoksik-oksik, yaitu C1 (4 jam oksik–1 jam anoksik–3 jam oksik), C2 (3 jam oksik–2 jam anoksik–3 jam oksik), dan C3 (2 jam oksik–3 jam anoksik–3 jam oksik). Waktu tinggal total pada seluruh variasi adalah 8 jam. Pengambilan sampel dilakukan pada akhir setiap fase (oksik pertama, anoksik, dan oksik kedua).

2.3 Desain Reaktor

Reaktor yang digunakan adalah reaktor *batch Intermittent* MBBR berkapasitas 10 liter dengan media *Kaldnes* K5 sebanyak 408 buah per reaktor (*filling ratio* 20%). Mikroalga *Chlorella vulgaris* dikultur digunakan sebagai inokulum pada reaktor perlakuan.



Gambar 2. Desain Reaktor *Intermittent Moving Bed Biofilm Reactor* dan Mikroalga *Chlorella Vulgaris*
Sumber: Hasil Analisis, 2026

2.4 Analisis Parameter

Laju pertumbuhan spesifik (μ) dihitung menggunakan persamaan $\mu = \frac{(\ln N_2 - \ln N_1)}{(t_2 - t_1)}$, N_1 dan N_2 adalah kadar klorofil-a pada waktu t_1 dan t_2 . *Doubling time* (T_d) dihitung menggunakan persamaan $td = \frac{\ln 2}{\mu}$. Kadar klorofil-a diukur dengan metode spektrofotometri menggunakan ekstrak aseton 90%. Konsentrasi fosfat dianalisis menggunakan metode spektrofotometri asam askorbat sesuai SNI 06-6989.31:2005 di Laboratorium Air Program Studi Teknik Lingkungan UPNVJT.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Awal Limbah Cair Rusunawa

Analisis karakteristik awal limbah cair domestik dilakukan terhadap sampel *greywater* yang diambil dari bak penampung Rusunawa Gunung Anyar Surabaya Gedung B. Hasil analisis selanjutnya dibandingkan dengan peraturan baku mutu yang berlaku untuk menilai tingkat pencemaran awal sebelum dilakukan pengolahan. Hasil analisis karakteristik awal limbah disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik Awal Limbah Cair Domestik Rusunawa Gunung Anyar

Parameter	Hasil Uji	Baku Mutu	Satuan	Sumber Baku Mutu
pH	7,54	6–9	-	PermenLHK No. 11/2025
COD	548,7	100	mg/L	PermenLHK No. 11/2025
Amonia (NH ₃ -N)	58,8	10	mg/L	PermenLHK No. 11/2025
Fosfat (PO ₄)	43	0,2	mg/L	PP No. 22/2021 Lampiran VI

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan **Tabel 1**, seluruh parameter pencemar utama dalam limbah cair domestik Rusunawa Gunung Anyar telah melampaui baku mutu yang dipersyaratkan. Konsentrasi COD sebesar 548,7 mg/L melebihi baku mutu PermenLHK No. 11 Tahun 2025 sebesar 100 mg/L, sedangkan amonia sebesar 58,8 mg/L juga melampaui baku mutu yang ditetapkan sebesar 10 mg/L. Konsentrasi fosfat sebesar 43 mg/L bahkan melampaui baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 sebesar 0,2 mg/L hingga lebih dari 200 kali lipat. Nilai pH limbah sebesar 7,54 masih berada dalam rentang baku mutu 6–9, sehingga kondisi pH awal limbah cukup mendukung untuk pertumbuhan mikroalga dan aktivitas mikroorganisme dalam proses pengolahan biologis selanjutnya.

Konsentrasi fosfat yang tinggi dalam limbah ini terutama berasal dari penggunaan deterjen dan sabun pembersih yang mengandung senyawa *Sodium Tripolyphosphate* (STPP) pada aktivitas domestik penghuni rusunawa (Metcalf & Eddy, 2014). Akumulasi fosfat dalam konsentrasi tinggi tersebut berisiko memicu eutrofikasi apabila dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan, sehingga diperlukan teknologi pengolahan biologis yang efektif seperti kombinasi sistem *Intermittent* MBBR dengan mikroalga *Chlorella vulgaris* untuk menurunkan konsentrasi fosfat tersebut.

3.2 Hubungan Waktu Proses Terhadap Laju Pertumbuhan *Chlorella Vulgaris*

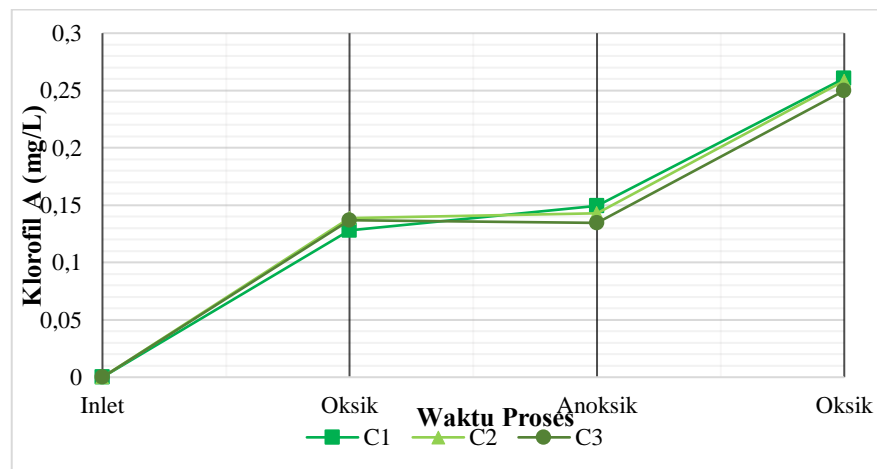
Hasil pengukuran laju pertumbuhan spesifik *Chlorella vulgaris* pada fase tersuspensi dan terlekat disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Laju Pertumbuhan Mikroalga

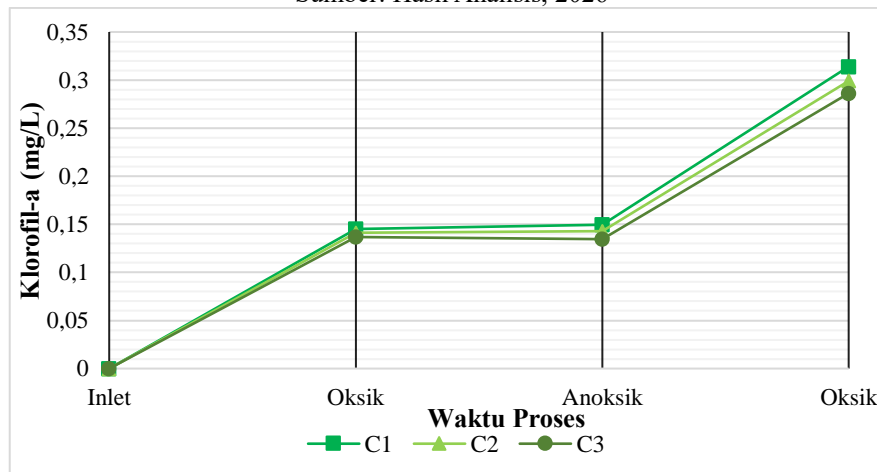
Variasi	Waktu Proses (jam)	μ Tersuspensi (jam^{-1})	Td Tersuspensi (jam)	μ Terlekat (jam^{-1})	Td Terlekat (jam)
C1	4 oksik – 1 anoksik – 3 oksik	0,0887	7,81	0,0964	7,19
C2	3 oksik – 2 anoksik – 3 oksik	0,0777	8,92	0,0940	7,37
C3	2 oksik – 3 anoksik – 3 oksik	0,0697	9,94	0,0924	7,50

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan hasil penelitian ditunjukkan bahwa laju pertumbuhan spesifik *Chlorella vulgaris* pada fase tersuspensi tertinggi dicapai pada variasi C1 sebesar $0,0887 \text{ jam}^{-1}$ dengan *doubling time* 7,81 jam, diikuti C2 sebesar $0,0777 \text{ jam}^{-1}$ dan C3 sebesar $0,0697 \text{ jam}^{-1}$. Pada fase terlekat, laju pertumbuhan tertinggi juga dicapai pada variasi C1 sebesar $0,0964 \text{ jam}^{-1}$ dengan *doubling time* 7,19 jam, diikuti C2 sebesar $0,0940 \text{ jam}^{-1}$ dan C3 sebesar $0,0924 \text{ jam}^{-1}$.



Gambar 3. Hubungan Waktu Proses Terhadap Kadar Klorofil-a Tersuspensi
Sumber: Hasil Analisis, 2026



Gambar 4. Hubungan Waktu Proses Terhadap Kadar Klorofil-a Terlekat
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Tingginya laju pertumbuhan pada variasi C1 berkaitan erat dengan durasi fase oksik yang paling panjang yaitu 7 jam dari total 8 jam waktu proses. Selama fase oksik, *Chlorella vulgaris* memanfaatkan

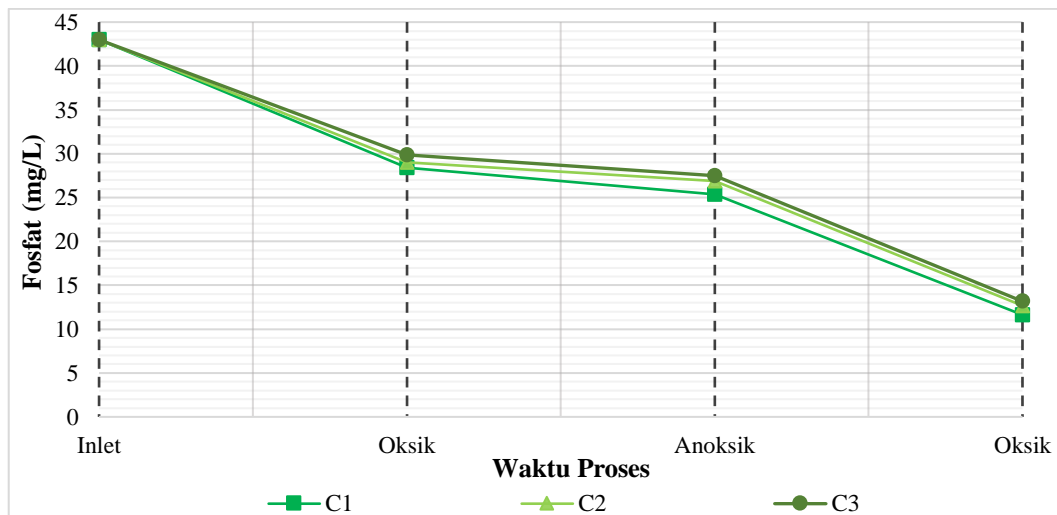
cahaya dan CO₂ untuk menghasilkan energi berupa ATP dan NADPH melalui proses fotosintesis, yang selanjutnya digunakan untuk sintesis biomassa dan pembelahan sel. Ketersediaan cahaya dan kondisi aerobik yang cukup merupakan faktor penentu utama produktivitas biomassa mikroalga, sehingga semakin lama fase oksik berlangsung, semakin besar energi yang terakumulasi untuk mendukung pertumbuhan sel [8]. Variasi C3 dengan fase anoksik terpanjang (3 jam) menghasilkan laju pertumbuhan terendah karena selama kondisi anoksik *Chlorella vulgaris* tidak dapat berfotosintesis dan menggunakan cadangan energi internal melalui respirasi untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya.

Kondisi anoksik yang berkepanjangan menyebabkan penurunan efisiensi aparatus fotosintesis, sehingga ketika fase oksik kembali aktif sel memerlukan waktu pemulihan sebelum dapat tumbuh secara optimal [9]. Hasil laju pertumbuhan ini juga sejalan dengan kandungan klorofil-a tertinggi yang diperoleh pada variasi C1 sebesar 0,261 mg/L pada fase oksik kedua, diikuti C2 sebesar 0,258 mg/L dan C3 sebesar 0,250 mg/L. Kandungan klorofil-a mencerminkan kapasitas aparatus fotosintesis sel dan berkorelasi positif dengan laju pertumbuhan, karena klorofil-a merupakan pigmen utama yang menangkap energi cahaya untuk digunakan dalam proses fotosintesis [10].

Laju pertumbuhan pada fase terlekat secara konsisten lebih tinggi dibandingkan fase tersuspensi pada seluruh variasi. Kondisi ini terjadi karena sel *Chlorella vulgaris* yang tumbuh pada media *carrier* MBBR membentuk biofilm yang menciptakan lingkungan mikro lebih stabil dengan ketersediaan nutrisi yang lebih terjaga. Mikroalga yang tumbuh dalam kondisi terlekat memiliki laju pertumbuhan lebih tinggi karena sel terlindungi dari turbulensi hidrolis dan mendapatkan suplai nutrisi yang lebih konsisten [11]. Selain itu, CO₂ yang dihasilkan oleh bakteri dalam biofilm pada media *carrier* dapat langsung dimanfaatkan oleh *Chlorella vulgaris* yang tumbuh berdekatan sebagai sumber karbon untuk fotosintesis [12].

3.3 Hubungan Waktu Proses Terhadap Penyisihan Fosfat

Penyisihan fosfat dihitung untuk mengetahui variasi proses pengolahan yang efektif dalam menyisihkan fosfat. Berdasarkan data penelitian efisiensi penyisihan pada seluruh variasi waktu proses disajikan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Grafik Hubungan Waktu Proses Terhadap Efisiensi Penyisihan Fosfat

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi penyisihan fosfat tertinggi terdapat pada variasi C1 sebesar 73% dengan konsentrasi akhir 11,634 mg/L, diikuti C2 sebesar 71% (12,677 mg/L), dan C3 sebesar 69% (13,174 mg/L) dari inlet 43 mg/L. Reaktor kontrol tanpa *Chlorella vulgaris* hanya menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 43% (24,395 mg/L), jauh lebih rendah dibandingkan seluruh variasi reaktor dengan mikroalga. Penyisihan fosfat pada reaktor *Chlorella vulgaris* berlangsung terutama melalui mekanisme asimilasi biologis secara langsung. Fosfat diserap sebagai nutrisi esensial untuk sintesis asam nukleat (DNA dan RNA), fosfolipid penyusun membran sel, dan ATP sebagai sumber energi metabolisme sel [6]. Proses asimilasi ini berjalan optimal selama fase oksik karena *Chlorella vulgaris* aktif melakukan metabolisme sel dan membutuhkan pasokan fosfat yang terus-menerus untuk mendukung pertumbuhan biomassa.

Tingginya efisiensi penyisihan fosfat pada variasi C1 berkaitan langsung dengan laju pertumbuhan dan pembentukan biomassa yang juga tertinggi pada variasi yang sama. Semakin tinggi biomassa *Chlorella*

vulgaris yang terbentuk, semakin besar kebutuhan fosfat yang harus diserap untuk mendukung sintesis komponen seluler tersebut. Kemampuan asimilasi nutrisi oleh mikroalga berbanding lurus dengan laju pertumbuhannya, sehingga variasi dengan laju pertumbuhan tertinggi secara logis menghasilkan penyisihan fosfat yang paling besar [13]. Variasi C1 dengan fase oksik terpanjang memberikan lebih banyak waktu bagi *Chlorella vulgaris* untuk melakukan fotosintesis dan pertumbuhan aktif, sehingga kebutuhan fosfat sebagai bahan baku sintesis biomassa juga lebih besar. Sebaliknya, pada variasi C3 dengan fase anoksik terpanjang, aktivitas metabolisme *Chlorella vulgaris* selama fase anoksik terhambat karena tidak adanya cahaya dan oksigen, sehingga serapan fosfat berkurang dan efisiensi penyisihan menjadi lebih rendah.

3.4 Hubungan Antara Laju Pertumbuhan Mikroalga dan Penyisihan Fosfat

Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi yang konsisten antara laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dan efisiensi penyisihan fosfat. Variasi dengan laju pertumbuhan tertinggi (C1: 0,0887 jam⁻¹) juga menghasilkan efisiensi penyisihan fosfat tertinggi (73%), sedangkan variasi dengan laju pertumbuhan terendah (C3: 0,0697 jam⁻¹) menghasilkan efisiensi penyisihan fosfat terendah (69%). Korelasi positif ini membuktikan bahwa penyisihan fosfat dalam sistem *Intermittent* MBBR dengan *Chlorella vulgaris* dikendalikan terutama oleh mekanisme asimilasi biologis yang terkait langsung dengan aktivitas pertumbuhan sel mikroalga.

Hubungan ini sejalan dengan pernyataan [14] bahwa pertumbuhan biomassa mikroalga berbanding lurus dengan efisiensi penyisihan nutrisi pada limbah domestik, karena semakin aktif pertumbuhan sel maka semakin besar kebutuhan nutrisi termasuk fosfat yang diserap dari media. Durasi fase oksik menjadi faktor kunci yang mengatur keseimbangan ini, karena fase oksik yang lebih panjang memberikan lebih banyak waktu fotosintesis yang mendorong pertumbuhan dan serapan fosfat secara bersamaan.

4. Kesimpulan

Waktu proses oksik-anoksik berpengaruh signifikan terhadap laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dan efisiensi penyisihan fosfat dalam sistem *Intermittent* MBBR. Waktu proses C1 (4 jam oksik–1 jam anoksik–3 jam oksik) menghasilkan laju pertumbuhan spesifik tertinggi pada fase tersuspensi sebesar 0,0887 jam⁻¹ (*doubling time* 7,81 jam) dan fase terlekat sebesar 0,0964 jam⁻¹ (*doubling time* 7,19 jam), sekaligus menghasilkan efisiensi penyisihan fosfat tertinggi sebesar 73% dengan konsentrasi akhir 11,634 mg/L dari inlet 43 mg/L. Durasi fase oksik yang lebih panjang memberikan lebih banyak waktu fotosintesis sehingga akumulasi biomassa lebih tinggi dan serapan fosfat untuk sintesis asam nukleat, fosfolipid, dan ATP menjadi lebih besar. Keberadaan *Chlorella vulgaris* terbukti meningkatkan efisiensi penyisihan fosfat secara signifikan. Meskipun demikian, seluruh perlakuan belum memenuhi baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 untuk fosfat (0,2 mg/L), sehingga diperlukan adanya pengolahan lanjutan.

5. Referensi

- [1] Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill.
- [2] Zuhra Mutia. (2022). *Penyisihan Kadar Amonia (Nh 3) Dengan Menggunakan Metode Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbbr) Sederhana Pada Limbah Industri Pupuk Urea*.
- [3] Bella, G. Di, & Mannina, G. (2020). Intermittent aeration in a hybrid moving bed biofilm reactor for carbon and nutrient biological removal. *Water (Switzerland)*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/w12020492>
- [4] Onyeaka, H., Miri, T., Obileke, K. C., Hart, A., Anumudu, C., & Al-Sharify, Z. T. (2021). Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture. In *Carbon Capture Science and Technology* (Vol. 1). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2021.100007>
- [5] Ma, X. N., Chen, T. P., Yang, B., Liu, J., & Chen, F. (2016). Lipid production from *Nannochloropsis*. *Marine Drugs*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/md14040061>
- [6] Henze, M., van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008). *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*.
- [7] Chairani Mustika, Shinta Elystia, & Sri Rezki Muria. (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*.
- [8] Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14.
- [9] Pires, J. C. M., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., & Simões, M. (2017). Carbon dioxide capture from flue gases using microalgae. *Engineering in Life Sciences*,

-
- [10] Masojídek, J., Torzillo, G., & Koblížek, M. (2013). *Photosynthesis in microalgae. Handbook of Microalgal Culture (2nd ed.)*.
- [11] Berner, F., Heimann, K., & Sheehan, M. (2015). Microalgal biofilms for biomass production. *Journal of Applied Phycology*, 27(5), 1793–1804. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0489-x>
- [12] Munoz, R., & Guieysse, B. (n.d.). Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. *Water Research*.
- [13] Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*.
- [14] Sofiyah, E. S., & Suryawan, I. W. K. (2021). Cultivation of *Spirulina platensis* and *Nannochloropsis oculata* for nutrient removal from municipal wastewater. *Rekayasa*, 14(1), 93–97. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i1.8882>