

Kemampuan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan Mikroalga *Spirulina Platensis* dalam menyisihkan Amonia

Lestari Ayu Septian Pamungkas, Firra Rosariawari

^{1,2} Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
E-mail: lestariayusp@gmail.com , firra.tl@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Air limbah domestik merupakan sumber utama pencemaran air sungai, dengan amonia sebagai salah satu kontaminan utama yang berasal dari penguraian bahan organik berbasis nitrogen. Adanya kandungan organik pada air limbah digunakan pengolahan biologis menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan mikroalga *Spirulina Platensis* dalam menyisihkan amonia. Penelitian ini menggunakan metode *batch* dengan variasi volume kaldnes 3 sebagai media biofilm dan waktu tinggal. Kemampuan pembentukan biofilm mikroalga *Spirulina Platensis* dan efektivitasnya pada reaktor MBBR untuk menurunkan amonia akan diamati pada penelitian ini. Mikroalga *Spirulina Platensis* akan melalui tahap seeding untuk perbanyak jumlah sel, tahap aklimatisasi untuk adaptasi dan pembentukan biofilm, dan penelitian utama untuk mengetahui eketivitas MBBR *Spirulina Platensis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Spirulina Platensis* mampu membentuk biofilm di permukaan air, namun tidak pada kaldnes 3. Reaktor S3 dengan volume kaldnes 3 sebesar 10% dan waktu tinggal 60 jam menunjukkan efisiensi penyisihan amonia tertinggi, yaitu sebesar 98,77%5. Penelitian ini memberikan wawasan baru tentang potensi mikroalga *Spirulina Platensis* dalam pengolahan biologis air limbah domestik menggunakan MBBR.

Kata Kunci: *Biofilm, Domestic Wastewater, Spirulina Platensis*

ABSTRACT

Domestic wastewater is a major source of river water pollution, with ammonia being a key contaminant originating from the decomposition of nitrogen-based organic materials. This study investigates the biological treatment of such wastewater using a Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) inoculated with Spirulina Platensis microalgae for ammonia removal. The study employs a batch method with variations in the volume of kaldnes 3 as biofilm media and retention time. The ability of Spirulina Platensis microalgae to form biofilm and its effectiveness in reducing ammonia in the MBBR reactor are observed in this study. Spirulina Platensis microalgae undergo a seeding stage for cell multiplication, an acclimatization stage for adaptation and biofilm formation, and a main research stage to determine the effectiveness of Spirulina Platensis MBBR. The results show that Spirulina Platensis can form biofilm on the water surface, but not on kaldnes 3. The S3 reactor with a kaldnes 3 volume of 10% and a retention time of 60 hours shows the highest ammonia removal efficiency, at 98.77%. This study provides new insights into the potential of Spirulina Platensis microalgae in the biological treatment of domestic wastewater using MBBR.

Keyword: *Biofilm, Domestic Wastewater, Spirulina Platensis*

PENDAHULUAN

Sebanyak 60% pencemaran air sungai berasal dari limbah domestik rumah tangga (Indaryani & Purnomo, 2021). Hal ini terjadi karena banyaknya pemukiman disekitar sungai yang membuang limbahnya langsung ke sungai tanpa melalui pengolahan. Air limbah domestik memiliki karakteristik utama berupa kadar pencemar seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), dan Amonia (Aniriani et al., 2022). Pada permukaan air limbah ditemukan kadar amonia yang tinggi, berasal dari penguraian bahan organik yang mengandung nitrogen (Kholif & Sugito, 2020). Penguraian zat organik dalam dilakukan dengan mikroorganisme seperti mikroalga (Chairani et al., 2021).

Mikroalga akan digunakan pada pengolahan biologis secara suspensi dan terlekat pada *Moving*

Bed Biofilm Reactor (MBBR). MBBR merupakan reaktor modifikasi pengolahan lumpur aktif dengan tambahan media yang terus bergerak. Pada media akan tumbuh mikroorganisme terlekat disebut biofilm. MBBR digunakan karena tidak membutuhkan *backwash* dan lahan yang luas selain itu juga mudah dalam perawatan (Chairani et al., 2021). Media yang digunakan adalah kaldnes 3 karena memiliki luas permukaan sebesar 500 m²m⁻³ dan memilki rongga/ cekungan lebih banyak dibanding kaldnes 1 untuk menangkap mikroalga dalam membentuk biofilm.

Mikroalga yang telah digunaka pada penelitian sebelumnya adalah *Chlorella sp.* dengan reaktor MBBR dan biofilm terbentuk pada kaldnes 1 meningkatkan efisiensi pengurangan Total Nitrogen pada *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) sebesar 92% (Chairani et al., 2021). Namun jumlah sel mikroalga *Chlorella sp.* yang tumbuh secara telemekat

lebih sedikit dibandingkan jumlah sel yang tumbuh tersuspensi (Ramadanti et al., 2022). Hal ini terjadi karena *Chlorella sp.* berbentuk bulat dan hidup secara uniseluler sehingga biofilm sulit terbentuk (J. H. Wang et al., 2018).

Berdasarkan penelitian J. H. Wang et al., (2018) untuk meningkatkan kemampuan MBBR membentuk biofilm digunakan mikroalga yang berbentuk filamen dan hidrofobik. Salah satu mikroalga berbentuk filamen adalah *Spirulina Platensis*, dengan menggunakan substrat membran *flash chamois synthetic* biofilm terbentuk dalam waktu 2 hari dan 7 hari (Usman et al., 2020). Oleh Berdasarkan hal tersebut, mikroalga *Spirulina Platensis* akan digunakan untuk membentuk biofilm pada MBBR dengan media kaldness 3.

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana kemampuan *Spirulina Platensis* dalam membentuk biofilm dan efektivitasnya pada MBBR dalam menurunkan kadar amonia pada air limbah. Sementara tujuan penelitian ini untuk mengkaji pembentukan biofilm dan mengetahui efektivitasnya pada MBBR. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi terkait biofilm mikroalga *Spirulina Platensis* sebagai alternatif pengolahan air limbah domestik dengan menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR).

TINJUAN PUSTAKA

Proses pembentukan biofilm dimulai dengan adhesi sel mikroalga dan permukaan media (substratum), dengan sel mikroalga akan tertahan dan terjadi reaksi biokimia. Reaksi biokimia menghasilkan *Soluble Algae Products* (SAPs) Keberadaan bakteri dalam jumlah kecil pasti ditemukan dalam biofilm mikroalga. Bakteri membantu mempercepat pembentukan biofilm dengan adanya *extracellular polymeric substances* (EPS) yang mengandung polisakarida, protein, fosfolipid. Kandungan bakteri berupa EPS dan SAPs pada mikroalga akan membantu pembentukan biofilm, mengutakan ikatan antara bakteri dan mikroalga dan penembalan biofilm (J. H. Wang et al., 2018).

Biofilm tersusun dari 90% EPS dan 10% sel alga, yang merupakan biomolekul dan padatan inert yang bergabung dengan sel dan mengikat substrat (Hutami Bangun et al., 2015). Faktor-faktor seperti media, kondisi aliran, karakteristik sel mikroalga,

frekuensi pemenuhan dan faktor lingkungan seperti cahaya, suhu, pH, aerasi, nutrisi dan salinitas mempengaruhi pembentukan biofilm (J. H. Wang et al., 2018).

Mikroalga yang bersifat hidrofobik dan berbentuk filamen lebih cepat dan mudah dalam membentuk biofilm (J. Wang et al., 2017). Selain itu, mikroalga dengan sekresi SAPs yang lebih tinggi cenderung membentuk ikatan yang lebih kuat antar sel, dan hal ini menguntungkan untuk pertumbuhan mikroalga yang melekat (Shen et al., 2016). Namun ketebalan biofilm harus dikontrol agar tidak menyebabkan pengelupasan biofilm karena kekurangan nutrisi dan kehilangan viabilitasnya.

Mikroalga menghasilkan EPS pada pembentukan biofilm yang memiliki manfaat menyerap nitrogen (nitrat) pada air limbah sebagai nutrisi. Amonia pada air limbah domestik diubah menjadi nitrat agar dapat diserap oleh mikroalga. Proses perubahan Amonia menjadi nitrat disebut nitrifikasi dengan bantuan bakteri nitrifikasi (Nurdiana et al., 2021). Oksigen yang dihasilkan pada proses fotosintesis akan digunakan oleh bakteri nitrifikasi untuk melakukan proses nitrifikasi (alami) untuk mengurangi amonia dalam limbah (Fallahi et al., 2021) dan menghasilkan nitrat yang akan diserap mikroalga sebagai sumber nutrisi dalam pertumbuhannya (Ramadanti et al., 2022).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Riset Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Jawa Timur, dengan air limbah berasal dari Rumah Susun Rusunawa Penjaringan III. Mikroalga *Spirulina Platensis* yang digunakan berasal dari Laboratorium Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Jepara. Mikroalga akan membentuk biofilm pada kaldnes 3 yang terdapat pada MBBR. Penelitian dilakukan secara batch untuk menurunkan kadar amonia pada air limbah domestik.

Peralatan yang diperlukan adalah Lampu LED; Reaktor berupa tabung (toples plastik); Aerator; Termometer; pH meter; Kaldnes 3 (K3); dan *Haemocytometer*. Peralatan ini diperlukan untuk membuat reaktor dan melakukan pengujian. Sementara itu, bahan yang diperlukan berupa: Limbah Cair Domestik; Mikroalga *Spirulina Platensis*; Nutrisi Walne, *Tracemetal*, dan Vitamin B12; dan Air Laut

Prosedur penelitian ini terdiri dari Tahap Seeding, Tahap Aklimatisasi, dan penelitian utama. Berikut adalah prosedur kerja peneliti ini:

1. Seeding

Tahap seeding merupakan proses untuk memperbanyak mikroalga *starter* sesuai dengan keperluan penelitian. Seeding dilakukan dengan mencampur air laut steril dengan *starter* mikroalga *Spirulina Platensis* dengan perbandingan 1:3. Kemudian menambahkan *trace metal*, vitamin B12, dan Walne dengan ukuran masing-masing 1 ml/L. Tahap seeding dilakukan selama 14 hari dengan penyinaran dan pengadukan/ aerasi hingga kerapatan mikroalga mencapai 10^6 sel/ml (Nurdiana et al., 2021)

2. Tahap Aklimatisasi

Pada tahap aklimatisasi mikroalga melakukan adaptasi pada lingkungan yang baru untuk menyesuaikan diri. Mikroalga yang mampu menyesuaikan diri kan membentuk biofilm. Setelah mikroalga mencapai fase eksponensial pada tahap seeding, dilanjutkan tahap aklimatisasi dengan menambah air limbah sebesar 50%:50% (500 mL dan 500 mL) pada tahap I. Aklimatisasi tahap II dilakukan dengan mencampur aklimatisasi tahap I dan air limbah dengan perbandingan 75%:25% (750 mL:250 mL) (Saragih et al., 2019). Selama aklimatisasi ditambahkan kaldnes 3 dengan variasi 10%, 20%, dan 30% dari suspensi mikroalga pada penelitian utama. Aklimatisasi dilakukan selama 14 hari untuk setiap tahap dilakukan 7 hari hingga terbentuk biofilm (Chairani et al., 2021).

3. Penelitian Utama

Biofilm yang terbentuk pada kaldnes 3 dan suspensi mikroalga hasil aklimatisasi digunakan untuk penelitian utama dengan menambahkan air limbah. Volume suspensi mikroalga dan air limbah berturut-turut adalah 250 mL dan 1000 mL yang di dalamnya terdapat media kaldnes 3 yang sudah terbentuk biofilm. Setiap reaktor diberikan pengadukan dan penyinaran selama waktu tinggal 8 jam, 24 jam, 60 jam, dan 120 jam. Kemudian dilakukan analisis parameter kerapatan dan kemampuan penurunan Amonia.

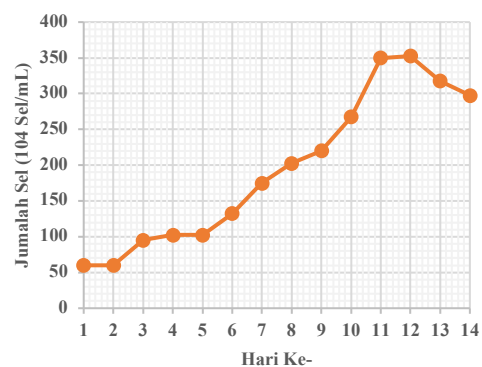
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Air limbah Domestik Rumah Susun mengandung amonia sebesar 4,14 mg/L. Kemudian dilakukan pengolahan menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan penambahan *Spirulina Platensis* untuk membentuk biofilm pada media

kaldnes 3. Penggunaan *Spirulina Platensis* karena berbentuk filamen dan bersifat hidrofobitas sehingga mudah membentuk biofilm (J. H. Wang et al., 2018).

Penelitian dilakukan secara batch dengan setiap reaktor berisi air limbah 1000 mL dan suspensi mikroalga sebesar 250 mL. Suspensi mikroalga berasal dari hasil aklimatisasi tahap II. Kemudian pada reaktor terdapt kaldnes 3 dengan variasi volume 10%, 20%, dan 30% dari suspensi mikroalga. Setiap reaktor memiliki waktu tinggal yang berbeda yaitu waktu tinggal 8 jam, 24 jam, 60 jam, dan 120 jam.

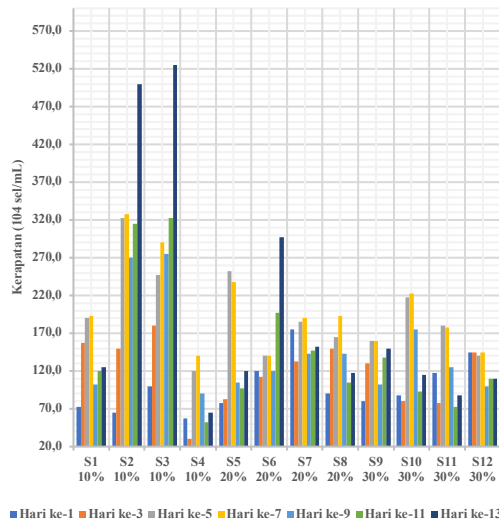
Fase eksponensial mikroalga *Spirulina Platensis* pada tahap seeding terjadi pada hari ke-12. Fase eksponensial merupakan fase dimana sel mikroalga mengalami peningkatan jumlah sel akibat meningkatnya kemampuan sel membelah diri dan melakukan fotosintesis (Fogg, G. E. dan Thake, 1987). Kerapatan sel mikroalga pada fase eksponensial adalah 353×10^4 sel/mL. Peningkatan jumlah sel hingga mencapai fase eksponensial menggunakan nutrisi pada media, sehingga nutrisi akan semakin berkurang seiring peningkatan jumlah sel (Elystia et al., 2019). Ketika nutrisi sudah berkurang terjadi penurunan jumlah sel akibat adanya persaingan untuk mendapat nutrisi. Laju pertumbuhan mikroalga *Spirulina Plaensis* ditampilkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Hubungan Waktu Tinggal dan Jumlah Sel Mikroalga *Spirulina Platensis* Terhadap Waktu Tinggal

Suspensi mikroalga hasil seeding digunakan untuk aklimatisasi selama 14 hari yang terbagi menjadi 2 tahap. Aklimatisasi dilakukan pada 12 reaktor dengan pembeda volume kaldnes 3. Aklimatisasi tahap I dilakukan dengan menambahkan air limbah

sebesar 500 mL dan suspensi mikroalga sebesar 500 mL. Kemudian hasil aklimatisasi tahap I ditambah air limbah sebesar 250 mL untuk dilakukan aklimatisasi tahap II. Hasil pengamatan jumlah sel pada suspensi mikroalga ditampilkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Hubungan Waktu Tinggal dan Jumlah Sel Mikroalga *Spirulina Platensis* Terhadap Kemampuan Adaptasi

Reaktor dengan pertumbuhan tertinggi adalah reaktor S3 dengan kerapatan pada akhir aklimatisasi tahap I (hari ke-5) sebesar $247,5 \times 10^4$ sel/mL dan mengalami peningkatan hingga akhir aklimatisasi tahap II (hari ke-13) dengan kerapatan 525×10^4 sel/mL. Peningkatan jumlah sel menunjukkan kemampuan penyesuaian diri pada lingkungan yang baru dengan penambahan limbah domestik.

Sel mikroalga pada suspensi mikroalga akan berkontak dengan media kaldnes 3 dan membentuk biofilm. Namun biofilm *Spirulina platensis* terbentuk pada permukaan air secara bebas dengan saling berikatan dan tidak menempel pada kaldnes 3. Sel mikroalga ditemukan pada kaldnes 3 tersangkut pada rongga kaldnes 3. Hasil perhitungan selama aklimatisasi menunjukkan reaktor S8 memiliki jumlah sel tertinggi yaitu 575×10^4 sel/mL dihari ke-7. Kemudian jumlah sel semakin menurun dan habis pada hari ke-13. Suhu dan pH yang mengalami perubahan secara drastis dapat mempengaruhi pertumbuhan biofilm pada media kaldnes 3. Terhambatnya produksi enzim mengakibatkan terhentinya pertumbuhan mikroalga sehingga biofilm tidak terbentuk dan tekelupas (Hutami Bangun et al., 2015).

Mikroalga *Spirulina platensis* telah melalui tahap seeding dan aklimatisasi menunjukkan kemampuan bertahan pada kondisi air limbah domestik. Penelitian dilanjutkan dengan menggunakan suspensi mikroalga dan kaldnes 3 dari hasil aklimatisasi ditambah air limbah untuk mengetahui kemampuan penurunan kadar pencemar dan pembentukan biofilm. Pengamatan dilakukan pada suspensi dan biofilm mikroalga. Peningkatan jumlah sel menunjukkan kemampuan mikroalga menyesuaikan diri. Berdasarkan Tabel 1 mikroalga *Spirulina platensis* mengalami peningkatan dengan peningkatan tertinggi terjadi pada reaktor S1.

Tabel 1. Pengaruh Waktu Sampling Terhadap Jumlah Sel Mikroalga *Spirulina Platensis* Tersuspensi

Kaldnes	Waktu	Kode	Kerapatan Awal (10^4 sel/mL)	Kerapatan Akhir (10^4 sel/mL)
10%	8 jam (0 hari)	S1	31,25	300
	24 jam (1 hari)	S2	125	247,5
	60 jam (2,5 hari)	S3	131,25	232,5
	120 jam (5 hari)	S4	16,25	90
20%	8 jam (0 hari)	S5	30	170
	24 jam (1 hari)	S6	74,375	230
	60 jam (2,5 hari)	S7	38,125	140
	120 jam (5 hari)	S8	29,375	185
30%	8 jam (0 hari)	S9	37,5	207,5
	24 jam (1 hari)	S1	28,75	157,5
	60 jam (2,5 hari)	S1	21,875	82,5
	120 jam (5 hari)	S1	27,5	175

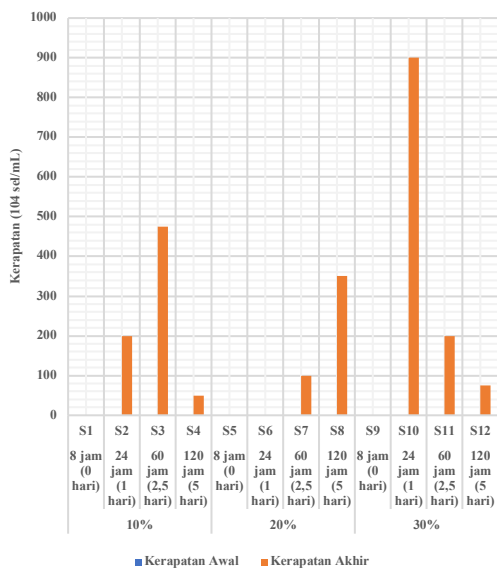
Sumber: Hasil Analisis, 2023

Pada penelitian sebelumnya biofilm *Spirulina Platensis* terbentuk pada media berupa *flash chamois synthetic* (membran sintetik). Media yang digunakan memiliki pori-pori kecil dan berada dipermukaan air, sehingga biofilm terbentuk di permukaan air (Usman et al., 2020). Perbedaan media mempengaruhi pembentukan biofilm.

Penyebab lain biofilm mikroalga *Spirulina Platensis* tidak terbentuk adalah dihasilkannya efek penghambat biofilm terhadap bakteri pathogen. Efek penghambat bakteri tidak membunuh bakteri tetapi menghambat pertumbuhan bakteri, sehingga mengurangi hidrofobitas permukaan sel *Spirulina Platensis* dan produksi zat polimer ekstraseluler

(EPS), yang berperan dalam pembentukan biofilm. Penghambatan produksi EPS akan mengakibatkan ikatan antara mikroalga dan bakteri melemah dan meningkatkan sensitivitas bakteri terhadap antibiotik dan sistem imun sehingga biofilm sulit terbentuk (LewisOscar et al., 2017).

Selama waktu tinggal 8 jam, 24 jam, 60 jam, dan 120 jam dilakukan pengamatan pembentukan biofilm dan kemampuan penyisihan amonia. Sementara itu, biofilm yang tidak terbentuk menempel pada permukaan kaldnes 3 terjadi perubahan warna kaldnes 3 yang semula putih menjadi kecoklatan. Warna kecoklatan disebabkan adanya proses pembentukan feofitin yang kehilangan ion logam Mg dan digantikan ion Hidrogen (Tambunan et al., 2022). Reaktor S10 dengan isian kaleness 3 30% dari suspensi mikroalga dan waktu tinggal 60 jam, memiliki kerapatan jumlah sel sebesar 900×10^4 sel/mL. Jumlah biofilm yang berada di permukaan air semakin berkurang hal ini terhasi karena menurunnya jumlah nutrisi dan perubahan kondisi lingkungan (Di Pippo et al., 2018). Grafik pembentukan biofilm ditampilkan pada Gambar 3.

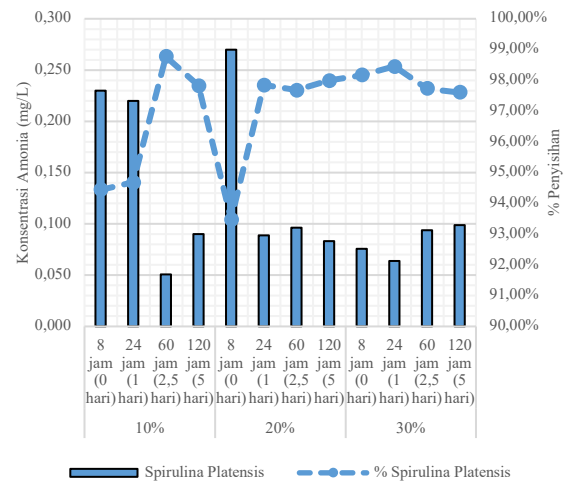


Gambar 3. Pengaruh Waktu Tinggal dan Jumlah Sel Mikroalga *Spirulina Platensis* Terhadap Kemampuan Pembentukan Biofilm pada Kaldnes 3

Kadar amonia pada air limbah domestik tidak dapat diserap secara langsung oleh mikroalga. Hal ini terjadi karena EPS yang dihasilkan mikroalga mampu menyerap nitrat, sehingga dilakukan perubahan amonia mejadi nitrat melalui proses nitrifikasi (Hendrawan et al., 2021). Penyerapan nitrat oleh mikroalga digunakan sebagai sumber

energi atau nutrisi untuk pertumbuhan (Ramadanti et al., 2022).

Penurunan kadar amonia tertinggi terjadi pada reaktor S3 yang berisi kaldnes 10% dan waktu tinggal 60 jam dan besar penyisihan sebesar 98,77% (konsentrasi sisa amonia 0,051 mg/L). Pada reaktor lain yang tidak terbentuk biofilm penyisihan dilakukan oleh suspensi mikroalaga. Kemampuan penyisihan Amonia oleh mikroalga *Spirulina Platensis* untuk setiap reaktor ditampilkan pada Gambar 4 berikut. Penyerapan amonia dilakukan dengan mengubah menjadi protein dan asam amino sebagai nutrisi pertumbuhan.



Gambar 4. Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Kemampuan Penyisihan Amonia (NH₃N)

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mikroalga *Spirulina Platensis* tidak dapat tumbuh secara terlekat pada kaldnes 3 untuk membentuk biofilm. Namun *Spirulina platensis* akan membentuk biofilm di permukaan air secara bebas dengan saling berikatan dengan sesamanya. Mikroalga mencapai fase eksponensial pada hari ke-12. Kemudian penyisihan amonia tertinggi ditunjukkan pada reaktor S3 dengan volume kaldnes 3 sebesar 10% dan waktu tinggal 60 jam mampu menurunkan amonia sebesar 98,77%. Pada penelitian selanjutnya diharapkan mengoptimalkan faktor lingkungan seperti pH, suhu, aerasi, intensitas cahaya, dan suhu ununtuk meningkatkan pertumbuhan mikroalga. Pengujian bakteri yang ada pada reaktor dapat dilakukan kedepannya untuk mengetahui jenis

bakteri dan mungkin sebagai penghambat pertumbuhan mikroalga.

DAFTAR PUSTAKA

- Aniriani, G. W., Putri, M. S. A., & Nengseh, T. (2022). Efektivitas Penambahan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Terhadap Kualitas Air Limbah di Instalasi Pengolahan Air Limbah Pondok Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Lamongan. *Jurnal Ilmiah Sains*, 22(1), 67. <https://doi.org/10.35799/jis.v22i1.35562>
- Chairani, M., Elystia, S., & Muria, S. R. (2021). Penyisihan Nitrogen Total Dalam Limbah Cair Hotel Dengan Sistem Moving Bed Biofilm Reactor Menggunakan Chlorella sp. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 10(1), 16–27. <https://doi.org/10.23887/jst-undiksha.v10i1.24131>
- Fallahi, A., Rezvani, F., Asgharnejad, H., Khorshidi, E., Hajinajaf, N., & Higgins, B. (2021). Interactions of Microalgae-Bacteria Consortia for Nutrient Removal from Wastewater: A Review. *Chemosphere*, 272, 129878. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129878>
- Hutami Bangun, H., Hutabarat, S., Program, C. A., Manajemen, S., Perairan, S., Perikanan, J., Perikanan, F., Kelautan, I., Diponegoro, U., & Soedarto, J. (2015). The Comparison Growth of Spirulina platensis at Different Temperatures on Laboratory Scale. *Diponegoro Journal of Maquares*, 4(1), 74–81. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/maquares>
- Indaryani, F., & Purnomo, A. (2021). Evaluasi dan Desain Ulang Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Rumah Susun Sederhana Sewa Randu Kota Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 64. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.54864>
- Kholif, M. Al, & Sugito, S. (2020). Penyisihan Kadar Amoniak Pada Limbah Cair Domestik Dengan Menggunakan Sistem Constructed Wetland Bio-Rack. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(1), 25–33. <https://doi.org/10.20527/jukung.v6i1.8235>
- Nurdiana, J. I., Candrahanifa, N., Kamilalita, N., & Hidayah, E. N. (2021). Perbandingan Antara Mikroalga Chlorella sp dan Spirulina plantesis dalam Penurunan Nitrat Fosfat pada Air Limbah Domestik Menggunakan Oxidation Ditch Algae Reactor (Odar). *Prosiding ESEC*, 2(1), 14–19.
- Ramadanti, K., Elystia, S., & Andrio, D. (2022). Pertumbuhan Biomassa dan Penyisihan Cod Menggunakan Sequencing Batch Biofilm Reactor (SBBR) pada Limbah Grey Water. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 26(1).
- Shen, Y., Zhu, W., Chen, C., Nie, Y., & Lin, X. (2016). Biofilm Formation in Attached Microalgal Reactors. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 39(8), 1281–1288. <https://doi.org/10.1007/s00449-016-1606-9>
- Usman, Z., Saridu, S. A., & Wahid, E. (2020). Kultur Biofilm Spirulina sp . dengan Flash chamois synthetic Sebagai Substrat The Use of Flash chamois synthetic as substrate in the biofilm culture of Spirulina sp . *Jurnal Salamata*, 2(1), 42–46.
- Wang, J. H., Zhuang, L. L., Xu, X. Q., Deantes-Espinosa, V. M., Wang, X. X., & Hu, H. Y. (2018). Microalgal Attachment and Attached Systems for Biomass Production and Wastewater Treatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92(March), 331–342. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.081>
- Wang, J., Liu, W., & Liu, T. (2017). Biofilm Based Attached Cultivation Technology for Microalgal Biorefineries—A Review. *Bioresour Technol*, 244(May), 1245–1253. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.136>