

Adaptasi Morfologi *Spirogyra porticalis* (O. F. Mueller) Cleve dalam Proses Fikoremediasi Limbah Cair Tambak Udang Vannamei BPBAP Situbondo [Morphological Adaptation of *Spirogyra porticalis* (O. F. Mueller) Cleve as Phytoremediation in Wastewater at Vannamei Shrimp Pond BPBAP Situbondo]

Natasya Meri Auliadani¹⁾ & Ludmilla Fitri Untari^{2) *}

¹⁾Departemen Biologi Tropika, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Jalan Teknik Selatan Sekip Utara, Yogyakarta

²⁾Laboratorium Sistematika Tumbuhan, Departemen Biologi Tropika, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Jalan Teknik Selatan Sekip Utara, Yogyakarta, **Email:** ludmilla.untari@ugm.ac.id

ABSTRACT

Plant taxonomy is the science of identifying, describing, classifying, and naming plants. The different classifications have fundamental differences in the phylogenetic, ecological, molecular, or morphological data of each taxon. The morphology of algae is influenced by environmental conditions. Algal cells can modulate their physiology and metabolism by changing their morphology, including their shape and size, in response to environmental stresses such as nutrient limitations. Liquid waste in shrimp ponds has a high content of essential compounds, one of which is nitrogen. Nitrogen content that is too high will cause algae blooms that block the entry of light into the waters. Algae blooming can be reduced by using bioremediation with autotrophic organisms such as *Spirogyra porticalis*. These microorganisms are easily found in aquatic ecosystems in the form of filaments. Thus, in this study, the morphology of *S. porticalis* as phytoremediation was carried out in the effluent of vannamei shrimp ponds at BPBAP Situbondo. This activity was carried out for three months at the Laboratory of Growth Systematics, Faculty of Biology UGM. The results showed that there were morphological differences due to differences in salinity from the remediation process. In addition, the results of this research can contribute to the field of science, especially in the fields of taxonomy, systematics and the environment, and the results of the data can be used as a reference source needed for further research.

Keywords: phytoremediation, *Spirogyra porticalis*, morphological adaptation, waste water

ABSTRAK

Taksonomi tumbuhan merupakan ilmu yang mengidentifikasi, mendeskripsikan, mengklasifikasikan, dan memberi nama suatu tumbuhan. Klasifikasi yang berbeda memiliki perbedaan mendasar dalam data filogenetik, ekologi, molekuler, atau morfologi pada setiap taksanya. Morfologi pada alga dipengaruhi oleh keadaan lingkungan. Sel alga dapat memodulasi fisiologi dan metabolismenya dengan mengubah morfologinya, termasuk bentuk dan ukurannya, sebagai respons terhadap tekanan lingkungan seperti keterbatasan nutrisi. Limbah cair dalam tambak udang memiliki kandungan senyawa esensial yang tinggi salah satunya adalah nitrogen. Kandungan nitrogen yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya blooming alga yang menghalangi masuknya cahaya pada perairan. Blooming alga dapat dikurangi dengan menggunakan bioremediasi dengan organisme autotrof misalnya dengan *Spirogyra porticalis*. Mikrolga ini mudah ditemukan pada ekosistem perairan dalam bentuk filamen. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan morfologi *S. porticalis* sebagai fikoremediasi pada limbah cair tambak udang vannamei BPBAP Situbondo. Kegiatan ini dilakukan selama tiga bulan di Laboratorium Sistematika Tumbuhan Fakultas Biologi UGM. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan morfologi akibat perbedaan salinitas dari proses remediasi. Selain itu, hasil dari penelitian ini dapat berkontribusi dalam bidang ilmu pengetahuan terutama di bidang taksonomi, sistematika dan lingkungan, serta hasil data dapat dijadikan sebagai sumber acuan yang dibutuhkan untuk penelitian selanjutnya.

Kata Kunci: fikoremediasi, limbah cair, adaptasi morfologi, *Spirogyra porticalis*

PENDAHULUAN

Sistematika tumbuhan merupakan studi ilmiah yang mempelajari mengenai jenis dan keanekaragaman tumbuhan dengan hubungan kekerabatannya. Sistematika berkaitan dengan studi tentang keanekaragaman tumbuhan, taksonomi, klasifikasi, dan evolusinya. Dalam identifikasi suatu spesies perlu dilakukan penamaan dan pendeskripsian untuk mengetahui hubungan evolusi pada spesies tersebut (Singh 2010). Sehingga dalam sistematika terdapat taksonomi yang merupakan ilmu dalam mengidentifikasi, deskripsi, serta memberi nama tumbuhan. Taksonomi termasuk dalam kajian ilmu sistematika yaitu disiplin ilmu yang lebih luas untuk menganalisa hubungan filogenetik melalui metode eksperimental modern menggunakan anatomi komparatif, sitogenetika, ekologi, morfologi, data molekuler. Klasifikasi yang berbeda memiliki perbedaan mendasar dalam data filogenetik, ekologi, molekuler, atau morfologi yang dapat memberikan nama yang berbeda pada setiap taksanya. Konsep morfologi spesies mendefinisikan spesies sepenuhnya pada karakter morfologi atau anatomi (Spooner *et al.* 2003).

Dalam mengidentifikasi suatu tumbuhan, ilmu taksonomi menggunakan berbagai jenis literatur atau kunci identifikasi. Setelah spesimen yang tidak dapat diidentifikasi dengan kunci identifikasi, selanjutnya dapat dilakukan dengan membandingkan data genetik, biokimia, fisiologi, dan morfologi (Singh 2010). Akan tetapi, tumbuhan seperti alga yang ada di alam akan mengalami adaptasi selama pertumbuhan dan perkembangannya sehingga suatu organisme memiliki variasi morfologi dalam satu spesies yang sama. Variasi tersebut dipengaruhi oleh faktor internal maupun eksternal. Faktor internal yang berpengaruh misalnya hormon, gen, kandungan klorofil, dan lain lain. Sementara faktor eksternal seperti kelembaban, suhu, pH, cahaya, unsur hara dan nutrisi (A'yuningsih 2017).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Yan *et al.* (2021) morfologi pada alga dipengaruhi oleh keadaan lingkungan. Karakteristik fisiologis pada penyerapan nutrisi dan pemanfaatan energi oleh alga akan berpengaruh pada karakteristik morfologinya. Pemanfaatan nutrisi oleh alga

secara sistematis bervariasi dengan ukuran sel rata-rata alga. Saat ini terdapat beberapa bukti yang menunjukkan bahwa bentuk sel alga secara signifikan mempengaruhi metabolisme dan fisiologis algae di bawah kondisi keterbatasan nutrisi. Oleh karena itu, sel alga dapat memodulasi fisiologi dan metabolismenya dengan melakukan adaptasi morfologi, termasuk adaptasi bentuk dan ukurannya, sebagai respons terhadap tekanan lingkungan seperti keterbatasan nutrisi (Yan *et al.* 2021).

Alga menggunakan senyawa organik seperti nitrogen dan fosfor yang membantu dalam proses metabolisme dan pembelahan selnya. Selain itu, nitrogen (N) dan fosfor (P) merupakan elemen penting dalam sintesis asam nukleat, ATP dan protein, yang diperlukan untuk pembelahan dan pertumbuhan sel alga (Yan *et al.* 2021). Permasalahan saat ini yaitu tingginya senyawa organik tersebut yang dijumpai pada perairan air tawar akibat adanya pemasukan nutrisi organik. Tingginya nutrisi organik yang ada di perairan akan menyebabkan terjadinya blooming alga (Pratiwi dkk 2016). Blooming alga juga menyebabkan tingginya kandungan oksigen dalam air melebihi saturasi pada waktu siang hari. Akan tetapi, di malam hari kebutuhan oksigen pada alga menjadi lebih tinggi untuk respirasi sehingga menurunkan jumlah oksigen secara drastis. Selain itu, hasil respirasi akan melepaskan karbondioksida yang akan mengganggu ekosistem pada perairan. Hal ini terjadi karena dibutuhkan oksigen yang lebih tinggi untuk melakukan dekomposisi senyawa organik dan anorganik yang berlebih di lingkungan perairan. Selain itu, beberapa jenis alga akan mengeluarkan racun yang berbahaya bagi organisme yang ada di perairan yang menyebabkan tingginya kematian pada ekosistem tersebut. Peningkatan kematian plankton dan organisme perairan akan meningkatkan sedimen pada lingkungan tersebut dan menurunkan pH (Supono 2015; Ding *et al.* 2018; Pal *et al.* 2020). Nutrisi organik tersebut berasal dari aktivitas antropogenik seperti pertanian, industri, maupun perikanan. Salah satu aktivitas perikanan yang ada di Indonesia yaitu BPBAP Situbondo.

BPBAP Situbondo merupakan instalasi air payau yang memiliki komoditas unggulan seperti udang vannamei. Budidaya udang vannamei di

BPBAP Situbondo dilakukan secara indoor dan outdoor dengan media air payau. BPBAP Situbondo lebih banyak menggunakan tambak outdoor karena mampu menampung udang lebih banyak sehingga lebih efisien dalam pemanenannya. Setelah masa panen, tambak akan dikeringkan untuk persiapan budidaya selanjutnya. Limbah cair dari budidaya udang akan diolah terlebih dahulu pada IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). Akan tetapi, penggunaan IPAL kurang efektif dalam pengelolaan limbah cair. Limbah cair dalam tambak udang memiliki kandungan senyawa organik maupun anorganik yang tinggi. Pakan udang hanya akan dikonsumsi 85% dan 15% akan terbuang. Selanjutnya, 20% akan terbuang dari sisa pencernaan pada udang. Pakan udang memiliki kandungan protein yang tinggi yang tersusun atas nitrogen. Udang hanya mengkonsumsi sekitar 25% yang diasimilasi menjadi daging. Sementara 75% nitrogen dari pakan akan terbuang. Selanjutnya, sisa pakan yang terendap pada dasar tambak akan mencemari lingkungan sebagai tempat pembuangan limbah cair pada tambak udang tersebut (Supono 2015).

Kandungan nitrogen yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya blooming alga yang menghalangi masuknya cahaya pada perairan. Blooming alga dapat dikurangi dengan menggunakan bioremediasi yaitu mengurangi jumlah nitrogen yang ada pada perairan. Nitrogen yang berasal dari limbah tambak dalam bentuk amonia (NH_4^+) dan nitrat (NO_3). Nitrogen pada organisme autotrof berperan sebagai pembentuk klorofil. Organisme autotrof khususnya alga hanya dapat menyerap nitrogen dalam bentuk amonia (NH_4^+) dan nitrat (NO_3). Nitrogen terletak pada susunan inti klorofil yaitu bagian dari cincin pirol. Mikroalga juga dapat memanfaatkan asam amino yang terlarut sebagai sumber nitrogen dengan mengubahnya menjadi nitrat (NO_3^-) dengan enzim L-amino acid oxidase. Selain itu, mikroalga juga dapat menggunakan (NH_4^+) dan nitrat (NO_3) sebagai sumber nitrogen dalam penyusunan protein (McCauley 2011; Urry *et al.* 2017). Salah satu mikroalga yang dapat memanfaatkan nitrogen dalam pembentuk klorofil adalah *Spirogyra porticalis* (O. F. Mueller) Cleve.

S. porticalis merupakan alga bersel tunggal yang hidup di air tawar dan berkoloni membentuk filamen, dan merupakan alga anggota phylum

Chlorophyta. Alga ini mudah ditemukan pada ekosistem perairan. Bentuk filamen pada alga ini akan mempermudah dalam pemanfaatan nutrisi dari limbah tambak yang optimal. Selain itu, alga ini mudah ditemukan dan mudah dalam mencapai perkembangan biomasnya (Apriadi *et al.* 2014). Pada penelitian yang dilakukan Kumar *et al.* (2018), menjelaskan mengenai penurunan nutrisi pada limbah tambak udang menggunakan mikroalga hijau. Penggunaan *S. porticalis* sebagai fikoremediasi akan mempengaruhi bentuk morfologi dari filamen mikroalga. Oleh karena itu, *S. porticalis* memiliki potensi untuk dapat dipergunakan sebagai agen fitoremediasi untuk menurunkan kandungan nitrogen pada limbah cair tambak udang dengan mengamati penurunan senyawa organik yang ada dalam suatu perairan. Hal tersebut juga akan menyebabkan terjadinya adaptasi oleh *S. porticalis* sehingga dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan adanya variasi morfologi pada alga tersebut. Variasi morfologi inilah nantinya akan digunakan dalam identifikasi alga (Singh 2010).

Berdasarkan uraian diatas, pada penelitian ini akan dilakukan identifikasi alga berdasarkan variasi morfologi *S. porticalis* sebagai mekanisme adaptasi sel dalam proses fitoremediasi pada limbah cair tambak udang vannamei BPBAP Situbondo.

BAHAN DAN CARA KERJA

Penelitian dilakukan selama tiga bulan di Balai Perikanan Budidaya Air Payau Situbondo dan Laboratorium Sistematika Tumbuhan Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada pada Oktober – Desember 2022. Pengambilan sampel alga dilakukan di Kolam Masjid Al Hayat Fakultas Biologi UGM. Kolam ini seluas kurang lebih 3 - 4 m³ dengan dasar semen dan waring sebagai atap kolam. Pada kolam ini terdapat organisme berupa ikan, katak, dan juga beberapa plankton. Sampel diambil pada bagian filter kolam ikan.

Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah kultur mikroalga *S. porticalis*, medium Walne, indikator universal, Salifert Test Kit Nitrat dan Amonia, kertas saring, akuades dan limbah cair tambak udang yang diambil di BPBAP Situbondo pada masa pemanenan yang telah diendapkan pada IPAL ke-2. Pada analisis

protein diperlukan beberapa bahan yaitu SDS 10%, Reagen Bradford, Bovine Albumin Serum, dan minyak imersi.

Berikut adalah susunan cara kerja yang akan dilakukan pada penelitian ini:

Limbah cair yang digunakan diambil dari tambak udang vannamei pada pengendapan ke dua di BPBAP Situbondo. Persentase limbah yang digunakan yaitu 0% sebagai kontrol yang berisi medium wanle 100%, 25%, 50%, 75%, dan 100% sebanyak 50ml yang dicampur dengan medium Walne. Medium Walne terdiri atas larutan nutrisi, trace metals, dan vitamin (Jati *et al.* 2012). Larutan nutrisi yang terkandung pada medium tersebut yaitu $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 , Na_2EDTA , Na_2SiO_3 , $\text{MnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, FeCl_3 , H_3BO_3 , dan Akuades. Larutan trace metal yang terkandung pada medium Walne yaitu ZnCl_2 , $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_8\text{Mo}_4\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, dan Akuades. Sementara vitamin yang terkandung pada medium Walne yaitu vitamin B12, Thiamin, dan Biotin.

Medium yang akan digunakan pada kultur disterilkan dengan autoklaf untuk menghilangkan kontaminan. Selanjutnya setiap perlakuan pada setiap persentase limbah dilakukan dengan lima kali ulangan. Mikroalga dikulturkan dengan medium limbah dan medium Walne dengan pemberian cahaya pada ruang kultur selama lima hari. Selanjutnya, Pengukuran parameter fisika dan kimia dilakukan setiap hari.

Laju penurunan limbah diukur untuk menentukan kemampuan dari *S. porticalis* dalam menyerap limbah amonia dan nitrat. Pengukuran nitrat dan amonia dilakukan setiap hari pada medium kultur. Laju penurunan limbah dapat diukur dengan penurunan berikut:

Laju penyerapan:

$$\frac{\text{konsentrasi penyerapan } t_1 - \text{konsentrasi penyerapan } t_2}{t_2 - t_1}$$

t1 menunjukkan hari pertama pengukuran dan t2 menunjukkan 2 hari setelah hari pertama.

Berat segar awal dan akhir diukur untuk menentukan laju pertumbuhan spesifik (SGR). Berat segar *S. porticalis* dicatat setiap hari yang dikurangi kadar airnya menggunakan kertas saring. Selanjutnya, *S. porticalis* ditimbang dengan timbangan analitik. Tingkat pertumbuhan spesifik (SGR, % d^{-1}) ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{SGR (\%)} = \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t} \times 100\%$$

W₀ dan W_t = berat awal dan akhir biomassa (gram) t = waktu (hari).

Selain itu, juga diukur mengenai tingkat pertumbuhan, pembelahan perhari, dan *generation time*.

$$\text{Growth rate; } K' = \ln \frac{N_1 - N_2}{t_1 - t_2}$$

N₁ dan N₂ = biomassa masing-masing pada waktu₁ (t₁) dan waktu₂ (t₂).

Pembelahan per hari dan waktu generasi atau penggandaan juga dapat dihitung setelah laju pertumbuhan spesifik diketahui.

$$\text{Pembelahan per hari; } \text{Div.hari}^{-1} = \frac{K'}{\ln 2}$$

$$\text{Generation time; } \text{Kejadian } t = \frac{1}{\text{Div.hari}^{-1}}$$

Parameter fisika yang diukur yaitu pH, salinitas, dan suhu. Pengukuran pH dilakukan menggunakan indikator universal yang dimasukkan pada media kultur. Pengukuran salinitas dilakukan menggunakan refraktometer yaitu dengan meneteskan sampel pada kaca sampel kemudian skala salinitas diamati. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan termometer yaitu dengan memasukkan termometer pada medium dan mengamati perubahan skala. Pengukuran parameter fisika dilakukan selama lima hari pada masa kultur.

Parameter kimia yang diukur yaitu nitrat dan amonia. Pengukuran nitrat dan amonia dilakukan dengan menggunakan Salifert Test Kit Nitrat dan Amonia. Pada pengujian amonia, pertama sampel diambil sebanyak 2ml kemudian ditambahkan reagen amonia cair sebanyak 0,5ml dan digojog selama 30 detik. Setelah digojog, tambahkan kembali reagen amonia cair sebanyak 0,5ml dan digojok selama 10 detik. Sampel didiamkan selama 3 menit dan dapat dibandingkan dengan parameter warna. Pada pengujian nitrat, sampel diambil sebanyak 1ml kemudian ditambahkan reagen nitrat cair sebanyak 4 tetes dan reagen padat sebanyak 0,05mg. Sampel digojog selama 30 detik. Terakhir, sampel didiamkan selama tiga

menit dan dapat dibandingkan dengan parameter warna.

Uji kadar protein dilakukan dengan metode Bradford yaitu sampel sebanyak 0,05 g diinkubasi sampai kering. Selanjutnya ditambahkan 1 mL SDS 10% dan dipanaskan pada suhu 95°C selama 5 menit. Selanjutnya sampel diinkubasi pada suhu 4°C selama 5 menit. Setelah itu diambil 8 µL sampel dan dimasukkan ke dalam microwell plate dan ditambahkan 200 µL reagen Bradford. Pembacaan dilakukan dengan ELISA reader dengan panjang gelombang 595 nm. Selanjutnya dibuat kurva standar dengan mengukur absorbansi Bovine Serum Albumin (BSA) dengan variasi konsentrasi 0; 50; 100; 200; 400; dan 800 ppm. Hasil pembacaan ELISA reader dihitung berdasarkan persamaan kurva standar linier BSA (Pedrol *et al.* 2001).

Pengamatan sel dilakukan dengan mikroskop cahaya dan optilab. Pertama, *S. porticalis* dikulturkan pada media dengan variasi persentase limbah yang digunakan yaitu 0% sebagai kontrol yang berisi medium wanle 100%, 25%, 50%, 75%, dan 100% sebanyak 50ml yang dicampur dengan medium Walne. Pengamatan sel dilakukan pada hari ke-0, ke-1, ke-2, ke-3, ke-4, dan ke-5. Preparat diamati dengan mikroskop pada perbedaran 10 x 100 kali dengan penambahan minyak imersi. Karakter yang diamati adalah dinding sel dan bentuk pirenoid. diamati sebagai kunci Identifikasi dan variasi morfologi adaptasi dari *S. porticalis* pada limbah cair tambak udang. Selanjutnya, pengamatan preparat *S. porticalis* yang telah diberi perlakuan sebagai fikoremediasi selama lima hari diamati dengan cara yang sama. Identifikasi dilakukan menggunakan e-book Algae Identification field guide (2006) dan Niwa Taihoro Nukurangi Algae ID guides.

HASIL

Pengamatan morfologi pada sel dilakukan pada hari ke-0, ke-1, ke-2, ke-3, ke-4, dan ke-5 dengan perlakuan limbah kontrol, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Berikut adalah hasil pengamatan morfologi pada setiap perlakuan.

Perlakuan Kontrol

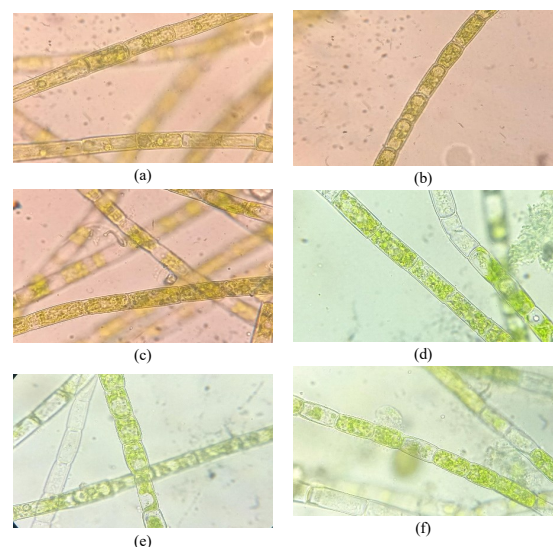
Berikut adalah pengamatan morfologi *S. porticalis* pada perlakuan kontrol selama lima hari.

Berdasarkan Gambar 1, pada hari ke-0 sel pada alga menunjukkan warna hijau dengan sel berbentuk silinder. Pada bagian tepi sel berbentuk siku. Pirenoid tersebar pada bagian dalam sel. Selanjutnya pada hari ke-1, beberapa sel sedang mengalami pembelahan sehingga pirenoid terkumpul di bagian tengah sel. Pada hari ke-2 dan ke-3, pirenoid pada sel terkumpul di bagian secara penuh. Selanjutnya, pada hari ke-4, pirenoid teramati berada dekat dengan dinding sel. Pada hari ke-5, sel menunjukkan kembali memiliki pirenoid yang memenuhi sel.

Perlakuan Limbah 25%.

Berikut adalah pengamatan morfologi *S. porticalis* pada perlakuan limbah 25% selama lima hari.

Berdasarkan Gambar 2, pada hari ke-0 sel pada alga menunjukkan warna hijau dengan sel berbentuk silinder. Pada bagian tepi sel berbentuk siku. Pirenoid tersebar pada bagian dalam sel. Selanjutnya pada hari ke-1, beberapa sel sedang mengalami pembelahan sehingga pirenoid terkumpul di bagian tengah sel. Pada hari ke-2, ke-3, dan ke-4, bagian tepi sel berbentuk siku dan pirenoid pada sel terkumpul di bagian secara penuh. Pada hari ke-5, sel menunjukkan kembali memiliki pirenoid yang memenuhi sel. Selain itu, terdapat beberapa sel yang telah mati.



Gambar 1. Morfologi *S. porticalis* pada perlakuan kontrol

Keterangan: (a) hari ke-0; (b) hari ke-1; (c) hari ke-2; (d) hari ke-3; (e) hari ke-4; (f) hari ke-5

Perlakuan Limbah 50%

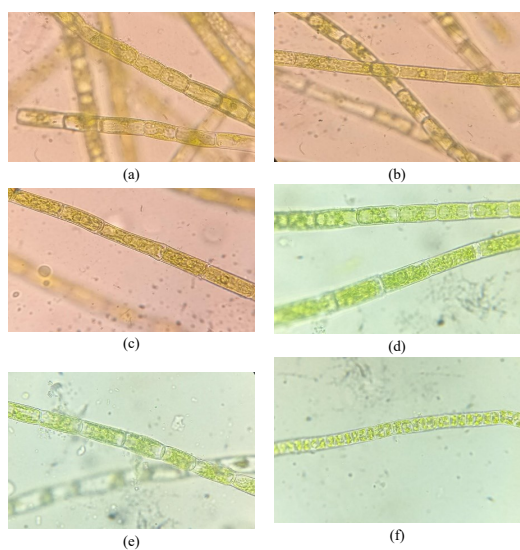
Berikut adalah pengamatan morfologi *S. porticalis* pada perlakuan limbah 50% selama lima hari.

Berdasarkan Gambar 3, pada hari ke-0 sel pada alga menunjukkan warna hijau dengan sel berbentuk silinder. Pada bagian tepi sel berbentuk siku. Pirenoid tersebar pada bagian dalam sel. Selanjutnya pada hari ke-1, beberapa sel sedang mengalami pembelahan sehingga pirenoid terkumpul di bagian tengah sel. Pada hari ke-2, ke-3, dan ke-4, bagian tepi sel berbentuk siku dan pirenoid pada sel terkumpul di bagian secara penuh. Ukuran sel lebih memanjang dibandingkan dengan perlakuan limbah pada 25%. Pada hari ke-5, sel menunjukkan kembali memiliki pirenoid yang memenuhi sel. Selain itu, terdapat beberapa sel yang telah mati.

Perlakuan Limbah 75%

Berikut adalah pengamatan morfologi *S. porticalis* pada perlakuan limbah 75% selama lima hari.

Berdasarkan Gambar 4, pada hari ke-0 sel pada alga menunjukkan warna hijau dengan sel berbentuk silinder. Pada bagian tepi sel berbentuk siku. Pirenoid tersebar pada bagian dalam sel. Selanjutnya pada hari ke-1, beberapa sel sedang



Gambar 2. Morfologi *S. porticalis* pada perlakuan 25%

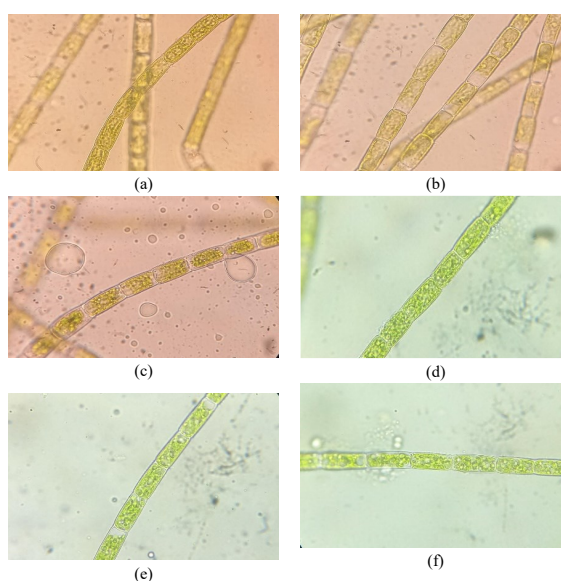
Keterangan: (a) hari ke-0; (b) hari ke-1; (c) hari ke-2; (d) hari ke-3; (e) hari ke-4; (f) hari ke-5

mengalami pembelahan sehingga pirenoid terkumpul di bagian tengah sel. Pada hari ke-2, ke-3, dan ke-4 beberapa sel menunjukkan terjadinya awal plasmolisis. Selanjutnya, pada hari ke-5, sel menunjukkan terjadinya plasmolisis total hingga sel berbentuk bulat.

Perlakuan Limbah 100%

Berikut adalah pengamatan morfologi *S. porticalis* pada perlakuan limbah 100% selama lima hari.

Berdasarkan Gambar 5, pada hari ke-0 sel pada alga menunjukkan warna hijau dengan sel berbentuk silinder. Pada bagian tepi sel berbentuk siku. Pirenoid tersebar pada bagian dalam sel. Selanjutnya pada hari ke-1, beberapa sel sedang mengalami pembelahan sehingga pirenoid terkumpul di bagian tengah sel. Pada hari ke-2 dan ke-3, beberapa sel menunjukkan terjadinya awal plasmolisis. Selanjutnya, pada hari ke-4 dan ke-5, sel menunjukkan terjadinya plasmolisis total hingga sel berbBerdasarkan Gambar 6, penurunan amonia tertinggi terjadi pada perlakuan 100% di hari pertama yaitu 0.75ppm. Pada perlakuan lainnya penurunan amonia terjadi secara bertahap dengan jumlah kadar penurunan yang sama yaitu pada hari ke-1 sebesar 0.25ppm dan hari ke-2 hingga ke3 sebesar 0.1 ppm. Selanjutnya pada hari

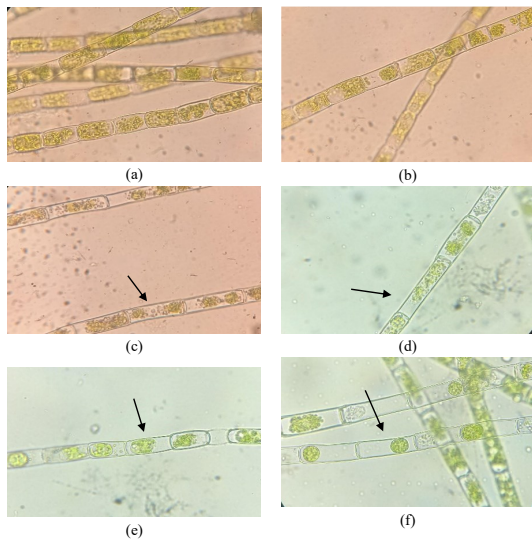


Gambar 3. Morfologi *S. porticalis* pada perlakuan 50%

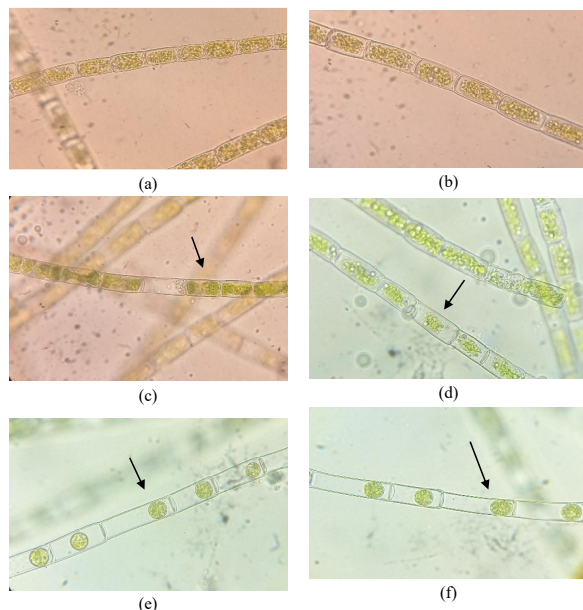
Keterangan: (a) hari ke-0; (b) hari ke-1; (c) hari ke-2; (d) hari ke-3; (e) hari ke-4; (f) hari ke-5

ke-4 dan ke-5 terjadi penurunan sehingga kandungan amonia pada medium menjadi 0. bentuk bulat.

Berdasarkan Gambar 7, penurunan nitrat tertinggi terjadi pada perlakuan 25% di hari ke-2 yaitu 0.8ppm. Pada perlakuan lainnya penurunan nitrat terjadi secara bertahap. Pada perlakuan lainnya penurunan tertinggi terjadi pada hari ke-1



Gambar 4. Morfologi *S. porticalis* pada perlakuan 75%
Keterangan: (a) hari ke-0; (b) hari ke-1; (c) hari ke-2; (d) hari ke-3; (e) hari ke-4; (f) hari ke-5



Gambar 5. Morfologi *S. porticalis* pada perlakuan 100%

Keterangan: (a) hari ke-0; (b) hari ke-1; (c) hari ke-2; (d) hari ke-3; (e) hari ke-4; (f) hari ke-5

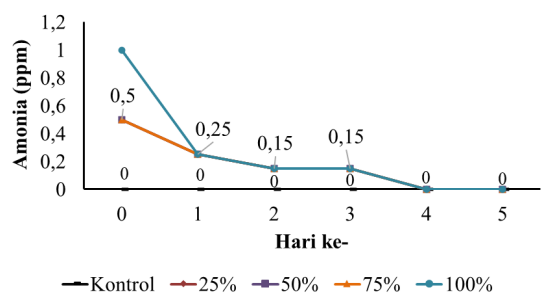
hingga hari ke-2 yaitu 50% dari total limbah awal. Pada hari berikutnya, penurunan terjadi hingga kandungan nitrat menjadi 0.

Berdasarkan Gambar 8, secara umum grafik menunjukkan kenaikan dan penurunan. Kenaikan biomassa tertinggi terjadi pada perlakuan 50% yaitu mencapai 0.6gram. Pada perlakuan kontrol dan 25% kenaikan biomassa terjadi secara bertahap. Sementara pada perlakuan 75% dan 100% mengalami penurunan biomassa pada hari ke-4.

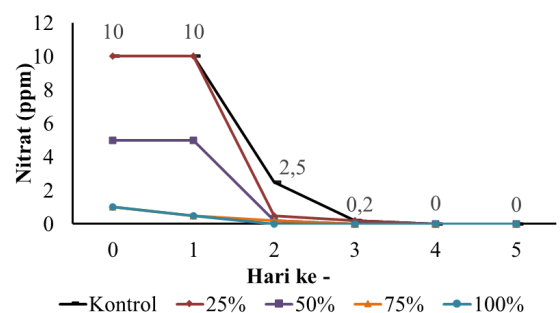
Berdasarkan Gambar 9, secara umum grafik menunjukkan kenaikan dan penurunan. Peningkatan tertinggi terjadi pada perlakuan 50% yaitu mencapai 1.351 gram. Penurunan kadar protein terjadi pada hari ke 4 pada setiap perlakuan.

Tabel 1, terindikasi biomassa tertinggi yaitu pada perlakuan 50% sebesar 0.550 ± 0.4123 gr berbeda nyata dengan perlakuan 100% dan tidak berbeda nyata atau tidak secara signifikan berpengaruh dengan perlakuan lainnya. Penurunan amonia tertinggi pada perlakuan 100% yaitu 0.31 ± 0.39592 ppm dan penurunan nitrat pada kontrol yaitu 4.540 ± 5.08016 ppm. Hal ini tidak berbeda nyata atau tidak secara signifikan berpengaruh dengan perlakuan lainnya.

Protein tertinggi pada perlakuan 25% yaitu



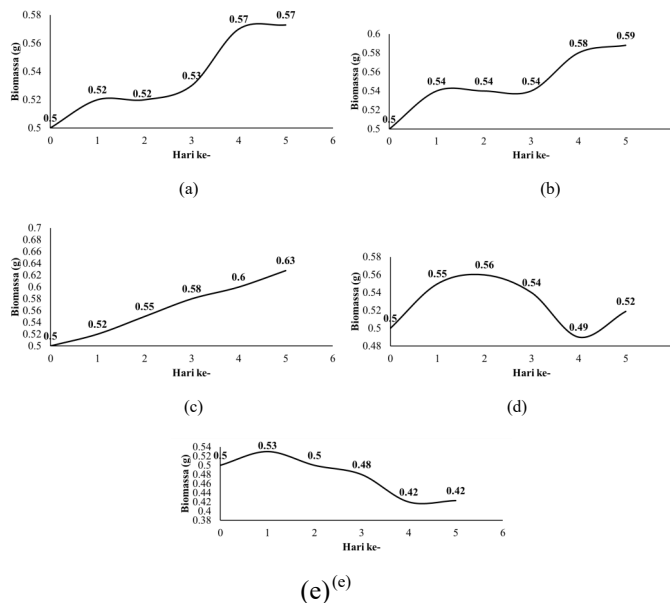
Gambar 6. Penurunan kadar amonia selama lima hari



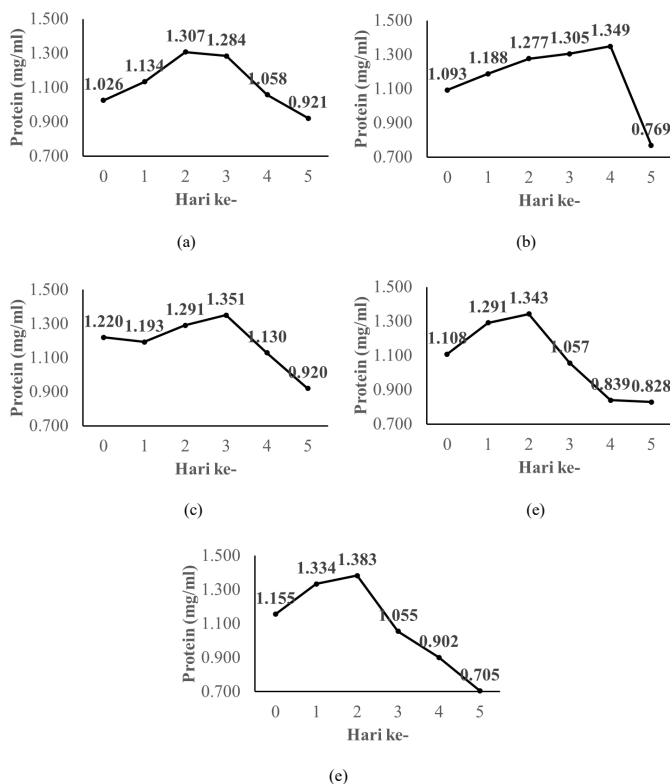
Gambar 7. Penurunan kadar nitrat selama 5 hari

1.320 ± 0.4289° hal ini berbeda nyata dengan perlakuan kontrol dan 50% dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Berdasarkan Tabel 2, secara umum pada parameter penurunan amonia, dan penurunan nitrat menunjukkan nilai yang sama pada hari ke 5. Sementara pada biomassa menunjukkan



Gambar 8. Pertumbuhan biomassa *S. porticalis* selama 7 hari
Keterangan; (a) Kontrol; (b) 25%; (c) 50%; (d) 75%; (e) 100%



Gambar 9. Peningkatan protein *S. porticalis* selama 7 hari
Keterangan; (a) Kontrol; (b) 25%; (c) 50%; (d) 75%; (e) 100%

Tabel 1. Pertumbuhan *S. porticalis* dengan berbagai konsentrasi limbah

Perlakuan	Parameter			
	Biomassa (gram)	Penurunan Amonia (ppm)	Penurunan Nitrat (ppm)	Protein (mg/ml)
Kontrol	0.528 ± 0.2588 ^{ab}	0 ± 0 ^a	4.540 ± 5.08016 ^a	1.228 ± 0.8195 ^{bc}
25%	0.540 ± 0.2828 ^b	0.21 ± 0.18507 ^a	4.414 ± 5.35238 ^a	1.320 ± 0.4289 ^c
50%	0.550 ± 0.4123 ^b	0.21 ± 0.18507 ^a	1.140 ± 2.16749 ^a	1.210 ± 0.14302 ^{bc}
75%	0.528 ± 0.3114 ^{ab}	0.21 ± 0.18507 ^a	0.340 ± 0.42190 ^a	0.829 ± 0.09450 ^b
100%	0.486 ± 0.4099 ^a	0.31 ± 0.39592 ^a	0.300 ± 0.44721 ^a	1.128 ± 0.20986 ^a

Tabel 2. Laju Penurunan Limbah

Perlakuan	Amonia (ppm)	Nitrat (ppm)
Kontrol	0	3.75
25%	0.175	4.9
50%	0.05	1.25
75%	0.075	0.1
100%	0.075	0

kandungan tertinggi pada 50% yaitu 0.68 ± 0.04 gram berbeda nyata atau secara signifikan berpengaruh dengan perlakuan kontrol dan 25%. Pada protein tertinggi ditunjukkan pada perlakuan kontrol yaitu 1.38 ± 0.17 mg/ml berbeda nyata atau secara signifikan berpengaruh dengan perlakuan kontrol, 50%, dan 75%. Selanjutnya terlihat pula bahwa laju penurunan limbah tertinggi pada konsentrasi 25% yaitu amonia sebesar 0.175 ppm dan nitrat 4.9 ppm. Sementara penurunan amonia paling rendah yaitu pada perlakuan kontrol sebesar 0 karena pada medium tersebut tidak mengandung amonia. Pada penurunan nitrat terendah yaitu pada perlakuan 100% karena pada dua hari setelah hari pertama nitrat yang ada pada medium tersebut adalah 0.

Berdasarkan Gambar 10 secara umum terjadi peningkatan biomassa dan penurunan amonia, nitrat, dan protein pada hari ke 0 hingga ke 5. Peningkatan biomassa tertinggi pada perlakuan kontrol dengan peningkatan

0.3 kali lebih tinggi dari hari ke-0. Penurunan amonia dan nitrat menunjukkan hasil penurunan yang sama yaitu 0. Sementara pada protein penurunan tertinggi pada perlakuan 100% dengan penurunan 0.3 kali lebih rendah dari hari ke-0

Berdasarkan Tabel 3, secara umum *Growth rate* pada masing masing perlakuan tidak menunjukkan perbedaan yang besar. Tingkat pertumbuhan pada alga tertinggi ditunjukkan pada perlakuan kontrol yaitu 0.067 dengan pembelahan sel perhari 0.096 g/hari. *Generation time* secara umum juga tidak menunjukkan perbedaan yang besar. *Generation time* tertinggi pada perlakuan 50% dan 75% yaitu 1.167 d^{-1} . Laju pertumbuhan spesifik tertinggi pada *S. porticalis* yaitu pada perlakuan 50% sebesar 0.02% berat segar. Sementara laju spesifik pada perlakuan 75% dan 100% menunjukkan angka negatif karena terjadi kematian sel.

Berdasarkan Tabel 4, perbedaan suhu dan pH pada setiap perlakuan signifikan. Suhu tertinggi pada perlakuan kontrol sebesar 25.6°C dengan pH tertinggi pada perlakuan 50% dan

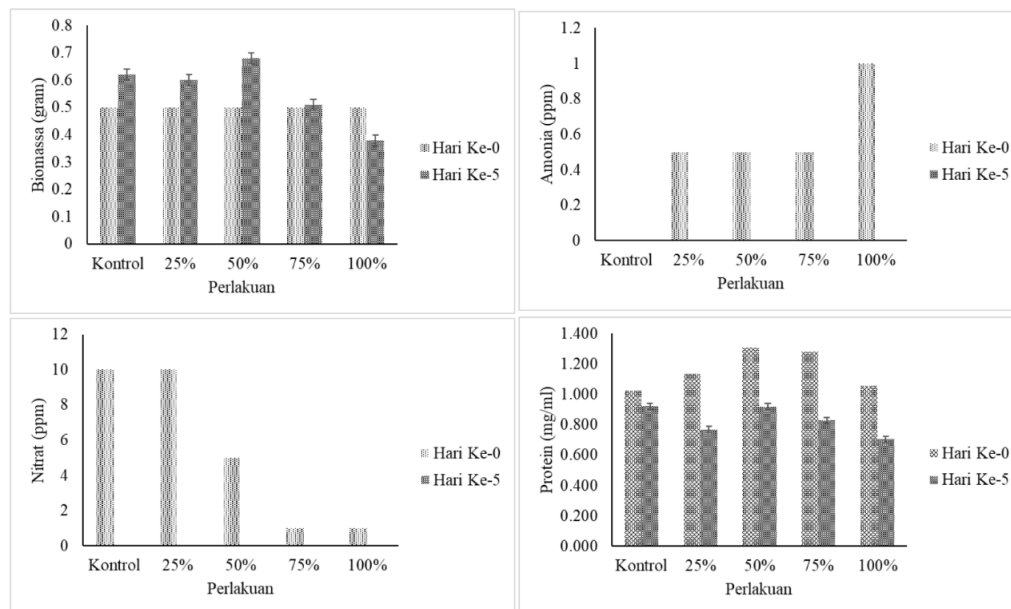
75% dengan pH 7. Sementara, salinitas tertinggi berada pada perlakuan 100% yaitu 30 ‰.

PEMBAHASAN

Sampel mikroalga yang diperoleh dari Kolam Masjid Al Hayat Fakultas Biologi

menunjukkan karakteristik yang sama dengan spesimen yang mikroalga pada penelitian yang dilakukan oleh Kumar *et al.* (2015).

Hasil pengamatan menunjukkan karakteristik identifikasi dan deskripsi taksonomi dari alga tersebut memiliki sel berwarna hijau tua. Sel berbentuk silindris dengan ujung siku dan berfilamen membentuk



Gambar 10. Perbandingan hari ke-0 dan hari ke-5

Keterangan: (a) Biomassa; (b) Penurunan amonia; (c) Penurunan nitrat; (d) Protein

Tabel 3. Laju pertumbuhan *S. porticalis*

Perlakuan	Growth rate	Pembelahan Sel per Hari (g/hari)	Generation time (d ⁻¹)	SGR (%)
Kontrol	0.067	0.096	1.045	0.014
25%	0.061	0.087	1.148	0.016
50%	0.06	0.086	1.167	0.02
75%	0.06	0.086	1.167	-0.002
100%	0.063	0.090	1.111	-0.016

Tabel 4. Parameter Fisika

Perlakuan	Suhu (°C)	pH	Salinitas (‰)
Kontrol	25.6	6.8	5
25%	25.4	6.8	10
50%	25.2	7	16
75%	25.4	7	22
100%	25.4	6.4	30

koloni. Beberapa alga pada perlakuan konsentrasi yang berbeda memiliki karakteristik ujung sel yang membulat. Semakin besar konsentrasi limbah pada kultur, maka bagian tepi sel akan membentuk membulat dengan ukuran filamen yang lebih kecil. Hal ini adalah bentuk dari adaptasi salinitas sehingga alga berukuran lebih kecil. Karakteristik kloroplas yaitu tersusun atas pirenoid yang berbentuk putaran. Pada *S. porticalis* hasil pengamatan memiliki pirenoid yang terhitung sebanyak 2 hingga 4 putaran. Pada pengamatan sel hari ke-5, perlakuan medium limbah 75% dan 100% menunjukkan bentuk pirenoid yang berbeda yaitu bulat. Hal ini menyebabkan pengamatan putaran pada pirenoid tidak teramati meskipun mikroalga tersebut masih dalam satu spesies.

Hasil penelitian dibandingkan dengan *S. porticalis* pada penelitian yang dilakukan oleh Kumar *et al.* (2015). *S. porticalis* menunjukkan bentuk sel silindris berfilamen dengan diameter 40–50 μm dan panjang 68–200 μm . Dinding sel memiliki ujung yang bidang, kloroplas soliter dengan membentuk putaran berjumlah 3 – 4 putaran. Pirenoid pada alga ini berupa gumpalan bulat kecil di sepanjang tepi kloroplas. Pada *S. porticalis*, pirenoid membantu fiksasi karbon dan pembentukan serta penyimpanan pati. Berdasarkan karakteristik tersebut, alga hasil pengamatan dapat disebut sebagai *S. porticalis*.

Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan variasi bentuk sel pada setiap perlakuan menunjukkan perbedaan pada ujung sel. Pada parameter kontrol dan konsentrasi limbah 25% menunjukkan ujung sel siku. Sementara pada perlakuan konsentrasi 50%, 75%, dan 100% menunjukkan ujung sel membulat. Pada perlakuan 100%, *S. porticalis* memiliki bentuk sel yang lebih memanjang dan ujung lebih membulat dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal ini terjadi karena perbedaan faktor fisika dan kimia yang ada pada kultur. Beberapa parameter seperti suhu, pH, dan salinitas diukur pada penelitian ini. Akan tetapi, parameter yang paling berpengaruh adalah salinitas. Menurut Iwata *et al.* (2001), salinitas ini yang akan menentukan osmosis sel khususnya pada perlakuan limbah 100%. Pada salinitas yang lebih tinggi, sel akan mengalami plasmolisis sehingga akan lebih membulat. Hal

ini terjadi karena cairan yang berada di dalam sel akan keluar menuju konsentrasi yang lebih tinggi. Oleh sebab itu, sel akan terlihat lebih kecil. Selain itu, salinitas yang tinggi menyebabkan kerusakan pada alga dan menyebabkan turunnya biomassa pada alga.

Perilaku sel dalam suatu larutan dipengaruhi oleh konsentrasi zat terlarut yang berada di lingkungannya dan permeabilitas membrane dari sel tersebut. Hal tersebut dapat menentukan sel akan kehilangan atau kelebihan air. Tonisitas suatu larutan tergantung pada konsentrasi zat terlarut yang tidak dapat melewati membrane atau disebut zat terlarut nonpenetrasi. Jika konsentrasi zat terlarut nonpenetrasi lebih tinggi dibandingkan larutan di sekitarnya, air akan cenderung meninggalkan sel. Sementara jika zat terlarut nonpenetrasi lebih rendah dibandingkan larutan di sekitarnya, air akan cenderung melewati sel (Urry *et al.* 2017).

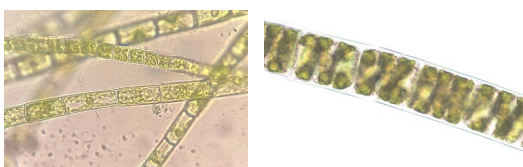
Plasmolisis terjadi pada *S. porticalis* pada konsentrasi medium diatas 50%. Pada konsentrasi ini larutan bersifat hipertonik sehingga zat terlarut tidak akan menembus sel. Sel akan kehilangan air, mengerut, dan dalam jangka yang lebih lama akan mengalami kematian. Akan tetapi alga ini juga masih melakukan adaptasi melalui tekanan turgor walau belum sempurna.

Pertumbuhan pada *S. porticalis* akan mengalami peningkatan seiring dengan terpenuhinya nutrisi yang diserap dari lingkungannya. Penggunaan limbah tambak udang sebagai medium pada kultur alga tersebut juga membantu dalam pemenuhan kebutuhan nutrisi dari alga. Berdasarkan karakteristik kimianya, limbah tambak udang mengandung bahan organik yang terdiri dari protein, karbohidrat dan bahan anorganik lain seperti nitrogen dan fosfor. Limbah tambak udang mengandung senyawa nitrogen dalam bentuk amonia, nitrat, dan juga nitrit. Nitrit merupakan hasil oksidasi dari amonia dengan bantuan bakteri Nitrosomonas. Sedangkan nitrat merupakan hasil dari oksidasi nitrit dengan bantuan bakteri Nitrobacter. Nitrat merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan *S. porticalis*. Nitrat tidak bersifat toksik terhadap organisme akuatik akan tetapi nitrit merupakan zat beracun terhadap pertumbuhan udang di tambak. Akumulasi nitrit di tambak dapat terjadi akibat tidak seimbangannya kecepatan proses antara

perubahan dari nitrit menjadi nitrat dengan dari amonia menjadi nitrit. Peningkatan kandungan nitrogen pada suatu perairan juga tambak dapat dipengaruhi oleh pH air dan salinitas yang rendah yang akan meningkatkan racun nitrit, sehingga berpengaruh terhadap kandungan amonia (Pasongli *et al.* 2015).

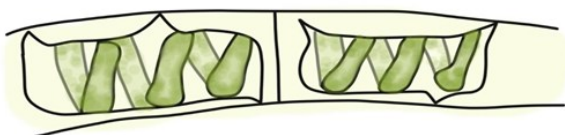
Penurunan amonia dan nitrat pada kultur menunjukkan penggunaan nutrisi oleh *S. porticalis*. Hasil penelitian menunjukkan penurunan amonia dan nitrat terjadi pada hari ke 1 dan pada hari berikutnya. Penurunan amonia paling tinggi terjadi pada perlakuan 25 – 100%. Sementara penurunan nitrat terjadi pada medium 100%. Pada medium ini menunjukkan kandungan nitrat sebesar 1 ppm dan menjadi 0 ppm pada hari ke-3. Penurunan tersebut terjadi karena penggunaan nutrisi sebagai sumber fotosintesis dan metabolisme dalam pembentukan protein, karbohidrat dan struktur sel pada alga. Namun, pada hari ke-4 menunjukkan penurunan biomassa pada konsentrasi 100%. Hal ini terjadi karena berkurangnya kandungan nutrisi pada medium kultur.

Penurunan nitrat tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Namun, laju pertumbuhan positif pada perlakuan dengan medium kontrol berupa medium Walne, 25% dan 50%. *S. porticalis* dapat tumbuh optimum pada perlakuan dengan medium 50% yang



Gambar 11. Alga air tawar

Keterangan: (a) sampel pengamatan; (b) sampel referensi (Kumar *et al.* 2015)



Gambar 12. *S. porticalis* mengalami plasmolisis pada larutan hipertonik

terdiri atas limbah tambak udang dengan medium Walne. Pada perlakuan ini, laju pertumbuhan menunjukkan 0.013 lebih tinggi dibandingkan dengan medium lainnya. Sementara pada perlakuan 75% dan 100% menunjukkan laju pertumbuhan negatif. Hal tersebut terjadi karena tingginya salinitas pada kultur yang menyebabkan kurangnya adaptasi dalam regulasi turgor pada *S. porticalis* (Iwata *et al.* 2001). Pada penelitian yang dilakukan oleh Aleem pada Milieu (1961), menunjukkan terjadi penurunan biomassa pada salinitas 17 - 20‰.

Peningkatan protein pada *S. porticalis* juga tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Protein merupakan hasil dari metabolisme dari alga tersebut dalam melakukan remediasi. Peningkatan protein pada alga ditunjukkan pada awal pertumbuhan. Hal ini sesuai dengan penyerapan limbah amonia dan nitrat yang ada pada media kultur. Pada kultur hari ke-4 dan ke -5, protein di dalam sel mengalami penurunan karena protein pada sel digunakan dalam pembelahan sel tersebut sehingga biomassa sel meningkat. Selain itu, pada beberapa perlakuan seperti 75% dan 100% sel mengalami plasmolisis sehingga kandungan protein dalam sel juga mengalami penurunan secara drastis. Protein pada sel juga digunakan dalam perbaikan sel yang rusak akibat cekaman lingkungan.

Faktor fisika kimia yang diukur yaitu suhu, pH, dan salinitas. Hasil pengamatan menunjukkan suhu pada kultur berkisar antara 25.2 – 25.6°C. Suhu adalah parameter panas yang ada di suatu perairan. Suhu akan mempengaruhi kehidupan yang ada di suatu perairan khususnya mikroalga. *S. porticalis* merupakan alga yang ditemukan pada berbagai iklim sehingga pertumbuhan pada *S. porticalis* dapat bertahan pada suhu hingga 30°C. Alga ini dapat tumbuh optimum pada suhu 25°C (Hainz *et al.* 2009).

Derajat keasaman adalah parameter konsentrasi ion hidrogen dari suatu larutan. Hasil pengamatan menunjukkan pH berkisar antara 6.4 – 7. Derajat keasaman akan mempengaruhi metabolisme pada *S. porticalis*. Aktivitas fotosintesis pada alga akan menggunakan CO₂ sebagai sumber karbon yang akan berpengaruh

pada peningkatan nilai pH. Tingginya aktivitas fotosintesis juga akan meningkatkan biomassa dari *S. porticalis* itu sendiri. Sebagai alga air tawar, *S. porticalis* mampu tumbuh optimal pada pH 7. Alga air tawar menunjukkan sensitivitas terhadap lingkungan salin, namun *S. porticalis* merupakan spesies pertama yang menunjukkan mekanisme regulasi turgor, meskipun pemulihan tekanan turgor masih belum sempurna. Oleh sebab itu, *S. porticalis* menunjukkan pertumbuhan pada perbedaan perlakuan salinitas pada kultur. Salinitas yang diukur menunjukkan perbedaan pada tiap perlakuan yang berkisar antara 5 - 30‰. Salinitas merupakan kandungan kadar garam yang ada di perairan. Salinitas akan menentukan aktivitas osmosis pada sel alga yang akan mendukung pertumbuhan pada alga itu sendiri (Iwata *et al.* 2001). Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan terjadinya plasmolisis pada sel mikroalga. Plasmolisis ini hanya terjadi pada perlakuan medium dengan kadar limbah sebesar 75% dan 100%. Pada medium tersebut, menunjukkan salinitas tertinggi yaitu 22 - 30‰ yang merupakan kondisi salin. Selain itu, sel alga yang teramati memiliki bentuk sel bulat menjauhi dinding sel. Dalam jangka waktu yang lebih lama, alga dapat mengalami kematian yang ditunjukkan dengan kosongnya sel.

Pertumbuhan pada juga alga dapat dilihat pada kurva sigmoid yang menunjukkan fase hidup pada alga itu sendiri. Pertumbuhan pada alga menunjukkan beberapa fase yaitu fase lag, eksponensial, stasioner, dan kematian. Pada fase lag terjadi fase adaptasi penyesuaian *S. porticalis* dengan lingkungan medium yang baru. Pada fase ini *S. porticalis* menunjukkan pertumbuhan yang lambat pada hari pertama hingga hari ke dua dan tiga. Selanjutnya pada fase eksponensial menunjukkan peningkatan laju pertumbuhan yang cukup tinggi. Hal ini terjadi ketika kondisi lingkungan dan nutrisi yang cukup untuk pertumbuhan dari alga itu sendiri. Fase awal eksponensial ditunjukkan pada hari ke tiga dan ke-4 pada medium dengan kontrol, konsentrasi limbah 25%, dan 50%. Fase stasioner tidak menunjukkan pertumbuhan yang signifikan pada biomassa alga. Fase ini terjadi pada medium 75% pada hari ke lima dan tujuh. Fase kematian ditunjukkan terjadi

penurunan biomassa pada *S. porticalis*. Fase ini terjadi pada hari ke-3 pada medium dengan konsentrasi limbah 100%.

Laju pertumbuhan pada alga dipengaruhi oleh beberapa faktor yang mendukung pertumbuhannya seperti nutrisi, cahaya, dan air. Kebutuhan nutrisi yang cukup akan membantu memenuhi kebutuhan nutrisi pada alga sehingga mendukung metabolisme dan pembelahan selnya. Laju pertumbuhan spesifik tertinggi pada medium dengan konsentrasi 50% menunjukkan pertumbuhan yang optimal. Hal ini ditunjukkan dengan terjadinya kenaikan biomassa sebesar 0.02% pada berat segarnya. Growth rate tertinggi ditunjukkan pada medium kontrol dengan pembelahan sel perhari 0.096. Hal ini terjadi karena perbedaan salinitas, dimana pada kontrol menunjukkan salinitas yang lebih rendah sehingga mendekati tawar. Hal ini lebih sesuai dengan habitat *S. porticalis* meskipun alga ini juga dapat tumbuh pada salinitas yang lebih tinggi. Generation time menunjukkan interval waktu yang diperlukan oleh alga untuk melakukan pembelahan sel. Pada penelitian ini, generation time alga pada konsentrasi 50% dan 75% menunjukkan interval waktu pertumbuhan tertinggi. Hal ini dapat dilihat dari kenaikan biomassa yang terjadi sejak hari ke-3 dan 4. Namun, pada konsentrasi 75% lebih awal mengalami penurunan biomassa yang disebabkan karena adanya faktor lingkungan.

Secara umum, hubungan antara setiap perlakuan menunjukkan morfologi yang berbeda. Pada perlakuan yang tidak sesuai menunjukkan terjadinya plasmolisis pada sel. Penurunan nutrisi pada medium kultur terjadi dalam pemenuhan nutrisi oleh alga itu sendiri. *S. porticalis* menggunakan amonia dan nitrat dalam proses metabolisme, pembentukan protein, dan pembelahan selnya. Nitrat dan amonia merupakan senyawa utama nitrogen yang ada di perairan. Remediasi nitrat dan amonia oleh *S. porticalis* membantu penurunan kandungan bahan organik di perairan yang juga membantu pertumbuhan dan pemenuhan nutrisi bagi *S. porticalis*. Selain itu, remediasi limbah perairan dengan *S. porticalis* juga akan membantu mengatasi permasalahan lingkungan.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu adanya variasi morfologi berupa sel dengan tepi siku dan membulat akibat terjadinya plasmolisis sebagai adaptasi morfologi *S. porticalis* dalam proses fikoremediasi pada limbah cair Tambak Udang Vannamei BPBAP Situbondo. Fikoremediasi oleh *S. porticalis* pada limbah cair pada tambak udang Vannamei pada BPBAP Situbondo mampu menurunkan kandungan senyawa organik dan meningkatkan protein pada alga. Penurunan kadar amonia dan nitrat pada limbah cair yang telah diremediasi selama lima hari terjadi secara signifikan dengan laju penurunan tertinggi pada limbah 25% sebesar 0.175 ppm amonia dan 4.9 ppm nitrat. Peningkatan laju pertumbuhan biomassa pada *S. porticalis* pada limbah cair yang telah diremediasi selama lima hari terjadi secara signifikan dengan laju peningkatan tertinggi pada limbah 50% sebesar 0.68g. Peningkatan kadar protein pada *S. porticalis* pada limbah cair yang telah diremediasi selama lima hari terjadi secara signifikan dengan kadar protein sebesar 1.320mg/ml pada perlakuan 25%.

KONTRIBUSI PENULIS

Penelitian ini terselenggara dengan Dana Hibah Kolaborasi Dosen dan Mahasiswa Fakultas Biologi UGM untuk Penelitian Skripsi Tahun 2022. Terima kasih kepada BPBAP Situbondo sebagai mitra dalam penelitian ini. Serta rekan-rekan yang membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriadi, T., NTM. Pratiwi, & S. Hariyadi. 2014. Fikoremediasi Limbah Budidaya Sidat Menggunakan Filamentous Algae (*Spirogyra* sp.). *Depik*. 3(1): 46 – 55.
- A'yuningsih, D. 2017. Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Perubahan Struktur Anatomi Daun. Prosiding Skripsi Nasional Pendidikan Biologi dan Biologi Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta: 103 – 110.
- Azhar, M. 2016. Biomolekul Sel, Karbohidrat, Protein, dan Enzim. UNP Press Padang.
- Padang.
- Hainz, R., E. Wober, & M. Schagerl. 2009. The Relationship Between *Spirogyra* (Zygnematophyceae, Streptophyta) Filament Type Groups and Environmental Conditions in Central Europe. *Aquatic Botany* 3(91): 173 – 180.
- Iwata, K., M. Tazawa, & T. Itoh. 2001. Turgor Pressure Regulation and the Orientation of Cortical Microtubules in *Spirogyra* Cells. *Plant Cell Physiol*, 42(6): 594 – 598.
- Jati, F., Hutabarat, J., & Herawati, V. E. 2012. Pengaruh Penggunaan Dua Jenis Media Kultur Teknis yang Berbeda Terhadap Pola Pertumbuhan, Kandungan Protein dan Asam Lemak Omega 3 EPA (*Chaetoceros gracilis*). *Journal Of Aquaculture Management and Technology*, 1(1): 221 – 235.
- Kumar, J., Dhar, P., Tayde, A. B., Gupta, D., Chaurasia, O. P., Upreti, D. K., Toppo, K., Arora, R., Suseela, M. R., & Srivastava, M. R. 2015. Chemical Composition and Biological Activities of Trans-Himalayan Alga *Spirogyra porticalis* (Muell.) Cleve. *PLoS ONE* 10(2): e0118255. doi:10.1371/journal.pone.0118255
- Kumar, R. Singh, R. K., Rao, K. P., Shukla, P. K., Lal, E. P. 2016. Effect of pH, Temperature and Salinity on Growth and Biochemical Parameters of *Spirogyra* sp. *Asian Journal of Environmental Science*, 11(1): 7 - 12.
- Kumar, SD., P. Santhanam, P. Prabhavathi, B. Kanimozhi, M. Abirami, MS. Park, & MK. Kim. 2018. Optimal Conditions for the Treatment of Shrimp Culture Effluent Using Immobilized Marine Microalga *Picochlorum maculatum* (PSDK01). *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*. 88(3):1177–1185
- McCauley, A. 2011. *Plant Nutrien Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms*. Montana State University. Bozeman.
- Niwa TN. 2023. Algae ID guides: <https://niwa.co.nz/freshwater-and-estuaries/management-tools/identification-guides-and-fact-sheets/algae-id-guides>
- Singh, G. 2010. *Plant Systematics an Integrated Approach*. Third Generation, Science

- Publishers, Delhi.
- Supono. 2015. Manajemen Lingkungan untuk Akuakultur. Plantaxia. Yogyakarta
- Pal, M., P.J. Yesankar, A. Dwivedi, & A. Qureshi. 2020. Biotic Control of Harmful Algal Blooms (HABs): A Brief Review. *Journal of Environment Management*, 268: 1 – 10.
- Pasongli, H., Dirawan, G. D. & Suprpta. 2015. Zonasi kesesuaian tambak untuk pengembangan budidaya udang Vaname pada aspek kualitas air di Desa Todowongi Kecamatan Jailolo Kabupaten Halmahera Barat. *Jurnal BIOèduKASI*, 3(2): 324 – 335.
- Pedrol, N., & P. Tamayo. 2001. Protein Content Quantification by Bradford Method. 10.1007/0-306-48057-3_19.
- Pratiwi, NTM., IP. Ayu, & B, Nugraha. 2016. Productivity and Dayly Nutrients of *Spirogyra* sp. and *Hydrodictyon* sp. *Jurnal Biologi Inonesia*. 12(1): 137-143.
- Spooner, DM., WLA. Hetterscheid, RG. Berg, & WA. Brandenburg. 2003. Plant Nomenclature and Taxonomy An Horticultural and Agronomic Perspective. *Horticultural Reviews*, 28: 1 – 60.
- Urry, L. A., ML. Cain, SA. Wasserman, PV. Minorsky, & JB. Reece. 2017. *Campbell Biology*, 11nd edn. Pearson, New York.

