

FITOREMEDIASI LIMBAH BUDIDAYA IKAN NILA, *OREOCHROMIS NILOTICUS* (Linnaeus, 1758) MENGUNAKAN *Spirulina* sp.

Ziah Mauretsa¹, Ilham Zulfahmi^{2*} Lina Rahmawati²

¹⁾ Pusat Kajian dan Konservasi Akuatik, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry,
Kota Pelajar dan Mahasiswa, Darussalam, Banda Aceh 23111

²⁾ Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh 23111

*Surel Korespondensi: ilhamgravel@yahoo.com

Abstrak: Limbah budidaya ikan nila (*Oreochromis niloticus*) berpotensi menyebabkan penurunan kualitas air dan mengganggu kehidupan organisme akuatik. Upaya mengurangi akumulasi limbah budidaya kelilingan perairan salah satunya dapat dilakukan dengan metode fitoremediasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan dan laju pertumbuhan *Spirulina* sp. dalam meremediasi limbah budidaya ikan nila. Penelitian ini terdiri dari lima perlakuan yaitu Perlakuan kontrol positif: 0 ml limbah + 3000 ml air laut steril; Perlakuan kontrol negatif (P0): 3000 mL limbah (tanpa penambahan spirulina), Perlakuan 1: 25% limbah (750 mL limbah + 2250 mL air laut steril); Perlakuan 2: 50% limbah (1500 mL limbah + 1500 mL air laut steril); Perlakuan 3: 75% limbah (2250 mL limbah + 750 mL air laut steril). Parameter fisik kimiawi media yang diamati meliputi amoniak, nitrat dan posfat, oksigen terlarut, pH, dan Salinitas. Pengukuran laju efisiensi degradasi amoniak, nitrat dan phospat dilakukan setiap dua hari sekali. *Spirulina* sp. diukur laju pertumbuhannya setiap hari, sedangkan kandungan klorofil dan perubahan morfologi diamati pada akhir masa remediasi. Fitoremediasi menggunakan *Spirulina* sp efektif mengurangi kandungan amoniak, nitrat dan phospat pada limbah budidaya ikan nila. Walaupun demikian kandungan limbah budidaya ikan nila yang terlalu tinggi berpotensi mengganggu pertumbuhan, kandungan klorofil dan morfologi *Spirulina* sp.

Kata kunci: Limbah budidaya ikan nila, Amoniak, Kandungan Klorofil, Fitoremediasi.

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan salah satu komoditas perikanan penting budidaya air tawar yang memiliki nilai komersial tinggi di Indonesia (Zulfahmi *et al*, 2015; Zulfahmi *et al*, 2014; Zulfahmi *et al*, 2017). Menurut Murniyati *et al*. (2014), produksi ikan nila pada tahun 2010 hingga 2013 mengalami peningkatan cukup pesat dengan rata-rata kenaikan 34.85%. Total produksi ikan nila mencapai 6.83% dari total produksi ikan budidaya nasional dan 20.3% terhadap total produksi ikan nila dunia (Murniyati *et al*, 2014). Apabila tidak dikelola dengan baik, peningkatan usaha budidaya

perikanan secara intensif berpotensi mencemari lingkungan perairan melalui masukan limbah budidaya (Zulfami, 2017; Zulfahmi *et al.*, 2018). Menurut Effendi (2003), limbah budidaya ikan mengandung amonia, nitrogen (N), fosfor (P) serta bahan organik lainnya yang dalam kadar berlebih berpotensi menyebabkan penurunan kualitas air dan mengganggu kehidupan organisme akuatik. Karakassis *et al.* (2005) Delis *et al.* (2015) mengungkapkan bahwa usaha budidaya ikan menyumbang sekitar 5% N & P dari total limbah antropogenik di laut Mediterania. Selain dapat mempercepat proses eutrosifikasi perairan, pada konsentrasi yang tinggi, beberapa fraksi nitrogen seperti amoniak dan nitrit juga bersifat toksik terhadap biota akuatik (Burford *et al.*, 2003; Kir *et al.*, 2004).

Sumber limbah budidaya yang masuk ke perairan umumnya berasal dari sisa pakan dan residu metabolit ikan. Wahyuningsih *et al.* (2015), menyatakan bahwa ikan hanya mampu menyerap 20-30% nutrien yang berasal dari pakan sementara sisanya diekskresikan ke lingkungan dalam bentuk amonia dan protein organik, sedangkan fosfor (25-85%) berasal dari sisa metabolisme ikan. Secara umum, sebagian besar limbah nitrogen (60-90%) ditemukan dalam bentuk terlarut (terutama amonia) (Van Rijn, 2012).

Summerfelt *et al.* (2004), menyatakan bahwa kelebihan amonia pada suatu perairan berdampak pada menurunnya laju pertumbuhan, fekunditas dan imunitas biota akuatik. Konsentrasi nitrat yang berlebihan menyebabkan terjadinya peningkatan methaemoglobin darah yang berdampak pada reduksi daya dukung oksigen (methaemoglobinemia) (Jamal, *et al.*, 2013), sedangkan konsentrasi posfat yang terlalu tinggi menyebabkan terjadinya blooming plankton yang berakibat menurunkan kandungan oksigen terlarut. Kandungan oksigen terlarut yang rendah mengakibatkan terjadinya peningkatan kinerja ventilasi insang, laju metabolik, dan ketidakaturan pergerakan pada ikan (Kittiwanch *et al.*, 2012). Disamping itu, rendahnya kualitas perairan akan menyebabkan ikan menjadi rentan terserang parasit (Fautama *et al.*, 2019)

Upaya mengurangi akumulasi limbah budidaya kelingkungan perairan salah satunya dapat dilakukan dengan metode fitoremediasi. Fitoremediasi telah sering digunakan untuk meremediasi limbah disebabkan mudah dipraktekkan dan tidak memerlukan biaya yang besar (Effendi *et al.*, 2015, Baihaqi *et al.*, 2017)). Beberapa hasil penelitian melaporkan bahwa fitoremediasi telah berhasil meremediasi berbagai jenis limbah diantaranya limbah

budidaya ikan (Marlina & Rakhmawati, 2016), kadmium (Cd) (Nur, 2013), limbah domestik (detergent) (Nurfadillah *et al.*, 2017) dan hidrokarbon (Juswardi, 2013). Pratama (2017), mengungkapkan bahwa pemanfaatan *Spirulina sp.* sebagai agen fitoremediasi pada limbah budidaya ikan kerapu bebek (*Cromileptes altivelis*) efektif menurunkan amoniak (TAN) sebesar 20,12 mg/l. Fitoremediasi limbah budidaya ikan dengan menggunakan berbagai jenis tumbuhan dan mikroalga lainnya juga telah banyak dilaporkan sebelumnya, seperti tomat (*Solanum lycopersicum*) (Marlina & Rakhmawati, 2016), kiambang (*Lemna minor*) (Saputra, 2016), dan *Spirogyra Sp* (Apriadi *et al.*, 2014).

Spirulina sp. termasuk mikroalga yang mampu hidup dalam kondisi lingkungan yang tidak optimal, relatif tidak mudah terkontaminasi oleh mikroalga yang lain, dan dapat hidup pada pH yang lebih rendah (Ogawa & Terui, 1970). Disamping itu, spirulina mengandung lima zat gizi utama (karbohidrat, protein, lemak (gama linoleat, omega 3, 6, dan 9), vitamin (B-kompleks, E), mineral (Fe, Ca, K) serta pigmen alami (beta karoten, klorofil, xantofil, fikosianin) sehingga dapat dimanfaatkan sebagai antioksidan (Fikri, 2006; Santosa *et al.*, 2010). Saat ini, spirulina telah dikembangkan sebagai pakan alami ikan (Isnansetyo & Kurniastuty, 1995), bahan baku medis (Robertford, 2000), energi terbarukan (Nur dan Christwardana, 2013), bahan uji laboratorium (Henrikson, 1989), kosmetik (Niva, 2007), dan agen fitoremediasi (Santosa *et al.*, 2010).

Pemanfaatan *Spirulina sp.* sebagai agen fitoremediasi telah dilaporkan oleh beberapa peneliti sebelumnya diantaranya terhadap limbah budidaya ikan kerapu bebek (*Cromileptes altivelis*) (Pratama, 2017), limbah cair tahu (Lutama, 2015), logam berat timbal (Prambodo *et al.*, 2016), logam berat kadmium (Cd) (Nur, 2013) dan methana (Noverly *et al.*, 2016). Sampai saat ini fitoremediasi limbah budidaya ikan nila menggunakan spirulina masih belum dikaji secara luas, sehingga penelitian ini perlu untuk dikembangkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan dan laju pertumbuhan *Spirulina sp.* dalam meremediasi limbah budidaya ikan nila (*Oreochromis niloticus*).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Juni sampai dengan bulan Juli 2019. Tahap fitoremediasi, uji parameter fisik dan kimiawi media dilakukan di Laboratorium Akuakultur

Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Ujung Batee, Aceh Besar. Pengukuran laju pertumbuhan dilakukan di Laboratorium Biologi Fakultas Saintek Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, sedangkan pengujian klorofil dilakukan di Laboratorium Biologi Fakultas Keguruan Ilmu Pendidikan, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh.

Prosedur Penelitian

Bibit *Spirulina sp.* yang diperoleh dari BPBAP dikultur selama tiga hari dalam air laut bersalinitas 15 ppt yang telah disterilkan disertai penggunaan pupuk walne. Sebanyak 50 L limbah budidaya ikan nila (dikoleksi setelah proses pemanenan ikan) diperoleh dari kolam budidaya disekitar BBAP dan dibawa ke lokasi penelitian menggunakan transportasi darat untuk disterilkan terlebih dahulu menggunakan Autoklaf. Limbah yang terakumulasi pada wadah penampungan kemudian diagitasi menggunakan aerasi guna menghindari pengendapan.

Spirulina sp. yang telah berumur tiga hari dijadikan inokulan untuk kemudian ditebarkan pada media perlakuan. Limbah yang sudah diaduk kemudian dimasukkan kedalam wadah kultur beralas bundar bervolume 5000 ml sesuai dengan perlakuan yang telah ditentukan yaitu Perlakuan kontrol positif : 0 ml limbah + 3000 ml air laut steril; Perlakuan kontrol negatif (P0) : 3000 mL limbah (tanpa penambahan spirulina), Perlakuan 1: 25% limbah (750 mL limbah + 2250 mL air laut steril); Perlakuan 2: 50% limbah (1500 mL limbah + 1500 mL air laut steril); Perlakuan 3: 75% limbah (2250 mL limbah + 750 mL air laut steril). Setiap perlakuan kecuali perlakuan kontrol negatif ditambahkan inokulan spirulina sebanyak 500 mL. Jumlah ulangan untuk setiap perlakuan adalah sebanyak tiga ulangan. Setiap media pemaparan dilengkapi dengan aerasi guna mencegah pengendapan limbah pada dasar wadah. Fitoremediasi limbah dilakukan selama sepuluh hari. Selama tahap fitoremediasi, pemberian pupuk dihentikan.

Pengukuran Laju Efisiensi Degradasi Limbah

Parameter fisik kimiawi media yang diamati meliputi amoniak, nitrat dan posfat, oksigen terlarut, pH, dan Salinitas. Pengukuran laju efisiensi degradasi amoniak, nitrat dan phospat dilakukan setiap dua hari sekali. Amoniak dan mitrat diukur dengan menggunakan metode kalorimetri. Sedangkan pospat diukur berdasarkan SNI: 06-

6989:31-2005 menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm. Oksigen terlarut, dan pH. Oksigen terlarut diukur menggunakan DO meter. pH diukur dengan menggunakan pH meter, Salinitas diukur menggunakan Refraktometer. Laju efisiensi degradasi amoniak, posfat, dan nitrat setiap perlakuan diukur dengan menggunakan persamaan Devi *et al.* (2012) sebagai berikut:

$$\text{laju degradasi} = \frac{C_o - C_a}{C_o} \times 100$$

C_o adalah konsentrasi awal parameter yang diukur dalam media pada masa awal pengamatan Sedangkan C_a adalah konsentrasi parameter yang diukur dalam media saat pada selang waktu pengamatan berikutnya.

Pengukuran Laju Pertumbuhan *Spirulina sp.*

Laju pertumbuhan *Spirulina sp.* pada tiap perlakuan diukur setiap hari menggunakan spektrofotometer uv-visible pada panjang gelombang 680 nm (Borowitzka, M & Borowitzka, L 1988). Pengukuran klorofil pada tiap perlakuan dilakukan pada akhir masa remediasi menggunakan rumus Nurchayati & Setiari (2009) sebagai berikut:

$$\text{Klorofil total} = 0.79 (\text{OD } 663) + 1.076 (\text{OD } 644).$$

Perubahan yang terjadi pada morfologi spirulina pada setiap perlakuan diamati pada akhir masa remediasi menggunakan mikroskop binokuler dengan pembesaran 100 X.

Analisis Data

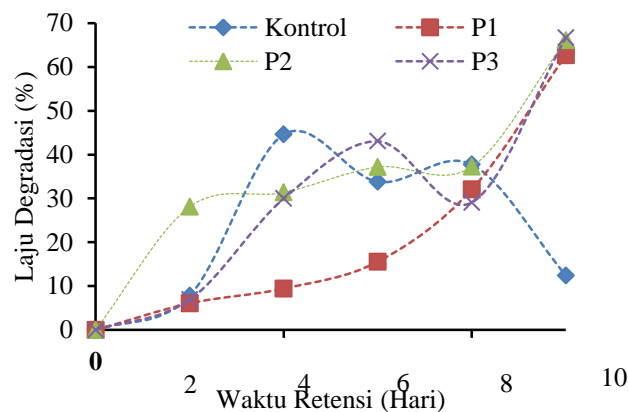
Hasil pengukuran laju degradasi limbah dan laju pertumbuhan *Spirulina sp.* pada hari ke-10 diuji dengan menggunakan ANOVA pada selang kepercayaan 95 %. Uji lanjut berupa uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada selang kepercayaan 95% dilakukan untuk mengetahui perbedaan signifikan antar perlakuan. Analisis data dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS 20.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju Degradasi Amoniak, Nitrat dan Pospat

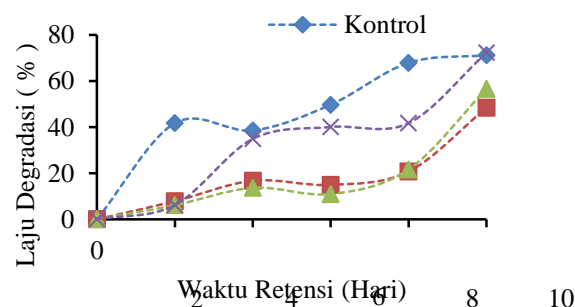
Amoniak merupakan senyawa yang tidak berbahaya apabila terionisasi dalam bentuk (NH_4^+) tidak bersifat beracun pada ikan dan udang, sedangkan Amoniak atau dalam bentuk tak terionisasi (NH_3) bersifat beracun dalam konsentrasi yang tinggi (Supono,

2016). Nilai laju degradasi amoniak cenderung mengalami peningkatan setiap harinya kecuali pada perlakuan kontrol negatif. Pada hari ke 10, nilai laju degradasi amoniak tertinggi terdapat pada perlakuan (P2) yaitu sebesar 49,33% dengan nilai amoniak akhir sebesar 0,01mg/L. Nilai laju degradasi terendah terdapat pada perlakuan perlakuan kontrol negatif (P0) sebesar 6,57% dengan nilai amoniak akhir sebesar 0,01 mg/l (Gambar 1). Hasil uji statistik menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai laju degradasi pada perlakuan kontrol negatif dengan tiga perlakuan lainnya ($p < 0.05$)



Gambar 1. Laju Degradasi Amoniak pada Setiap Perlakuan Selama Masa Remediasi

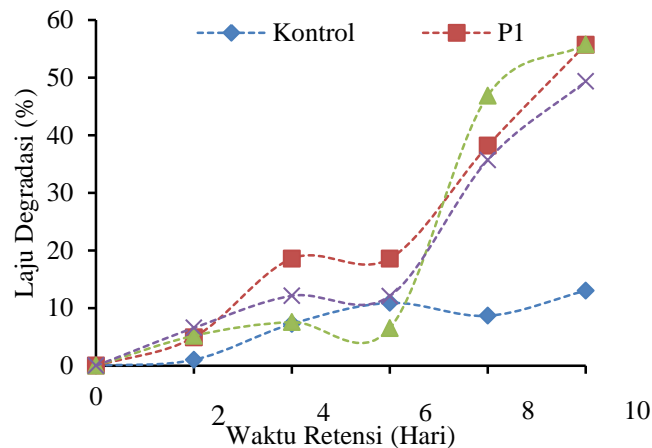
Pada hari ke-10 nilai laju degradasi nitrat tertinggi terdapat pada P3 yaitu sebesar 72,27% dengan nilai akhir 5,27 mg/l. Nilai terendah laju degradasi nitrat terdapat pada perlakuan P1 yaitu 48,40% dengan nilai akhir 5,27 mg/l (Gambar 2). Walaupun demikian, hasil uji statistik menunjukkan bahwa laju degradasi nitrat antar perlakuan tidak berbeda nyata ($p > 0.05$)



Gambar 2. Laju Degradasi Nitrat pada Setiap Perlakuan Selama Masa Remediasi

Nilai laju degradasi posfat cenderung mengalami peningkatan setiap harinya kecuali pada perlakuan kontrol. Pada hari ke-10, Nilai laju degradasi amoniak tertinggi terdapat

pada perlakuan P2 yaitu sebesar 55,73% dengan nilai posfat akhir yaitu 2,20 mg/l. Sedangkan nilai laju degradasi terendah terdapat pada perlakuan kontrol negatif (P0) sebesar 13,03% dengan nilai akhir phospat sebesar 2,20 mg/l (Gambar 3). Hasil uji statistik menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara nilai laju degradasi perlakuan kontrol negatif dengan tiga perlakuan lainnya ($p < 0.05$)



Gambar 3. Laju Degradasi Posfat pada Setiap Perlakuan Selama Masa Remediasi

Selama penelitian, parameter kualitas air yang diukur yaitu, pH, salinitas, dan oksigen terlarut (DO). Kisaran hasil pengukuran kualitas air selama kegiatan remediasi masih dalam tahap yang mendukung pertumbuhan spirulina. Kisaran pH pada perlakuan P0 sampai dengan P3 yaitu sebesar 8-9,2. Kisaran oksigen terlarut pada perlakuan P0 sampai P3 yaitu 5,02-6,37 mg/l. Begitu juga dengan kisaran salinitas pada perlakuan P0 sampai dengan P3 yaitu 16-18 PPT (Tabel 2).

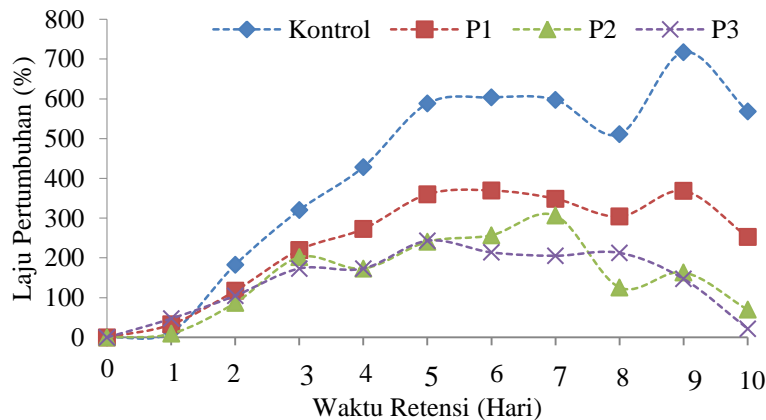
Tabel 2. Kisaran Nilai Parameter Kualitas Air pada Setiap Perlakuan Selama Masa Remediasi

Parameter	Satuan	Perlakuan			
		P0	P1	P2	P3
pH	-	8 – 9,4	8,7 – 9,2	7,8 – 9,2	8,1 – 9,2
Oksigen Terlarut	mg/l	5,02 – 6,44	5,07 – 6,24	5,32 – 6,23	5,05 – 6,37
Salinitas	Ppt	16 – 18	16 - 18	16 – 18	16 - 18

Laju pertumbuhan Spirulina sp.

Spirulina sp. mulai mengalami peningkatan pertumbuhan sejak hari kedua sampai hari

keempat. Pada hari kelima sampai dengan hari ketujuh pertumbuhan spirulina mengalami fase stasioner. Nilai pertumbuhan tertinggi terdapat pada perlakuan kontrol di hari ke-9 yaitu 717,4% (Gambar 4). Hasil uji statistik menunjukkan bahwa nilai laju pertumbuhan perlakuan kontrol positif lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya ($p < 0.05$)



Gambar 4. Laju Pertumbuhan *Spirulina* sp. pada Setiap Perlakuan Selama Masa Remediasi

Berdasarkan data diatas diketahui bahwa fase eksponensial mulai hari ke 2 dan memasuki fase stasioner pada hari ke 5 hingga ke 7. Menurut Hidayanto dan Azim (2012), fase eksponensial menandakan keadaan pertumbuhan mikroalga seimbang antara asupan makanan dengan kenaikan mikroalga. Fase stasioner merupakan fase pertumbuhan mikroalga dalam kondisi konstan atau tidak adanya perubahan karena terbatasnya kandungan nutrisi (Brown *et.al.*,2017). Salah satu kandungan nutrisi yang mendukung pertumbuhan *Spirulina* sp. diantaranya nitrogen. Apabila konsentrasi nitrogen tinggi maka akan sangat berpengaruh terhadap kelimpahan sel *Spirulina* sp. (Suminto, 2009). Nutrisi yang cukup dapat memudahkan *Spirulina* sp. dalam berkembang biak sehingga mencapai pertumbuhan yang maksimal. Selain itu, pertumbuhan *Spirulina* sp. mengalami penurunan atau kematian pada hari ke-8. Apabila terjadinya penurunan populasi diakibatkan dari kurangnya nutrisi. Pemberian konsentrasi nutrisi yang berlebih juga akan mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan *Spirulina* sp. karena akan menimbulkan racun sehingga menghambat pertumbuhan.

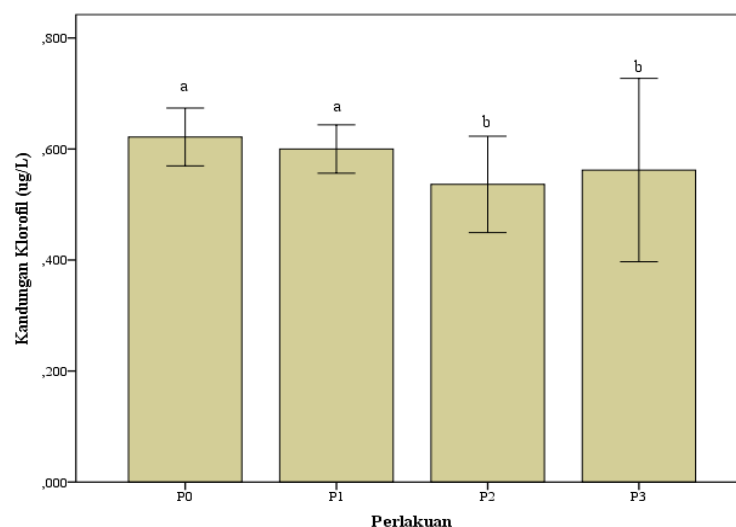
Menurut Subarijanti (2005) apabila dosis pemberian nutrisi semakin tinggi maka tingkat kekeruhan juga semakin tinggi menyebabkan rendahnya penetrasi cahaya

sehingga terganggunya proses fotoautotrofik dari mikroalga. Selain faktor nutrisi, pertumbuhan *Spirulina* sp. juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan (Astiani *et al.*, 2016). Faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton selama kultur adalah kualitas air yaitu faktor fisika dan kimiawi dari mediana. Menurut Yusuf *et al.*, 2012, mengatakan faktor fisika meliputi intensitas cahaya, suhu, dan aerasi. Sedangkan faktor kimiawi meliputi pH, salinitas, oksigen terlarut, fosfat, dan nitrat.

Klorofil total

Kandungan klorofil pada masa akhir tertinggi terdapat pada perlakuan kontrol positif sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan P2 (Gambar 6). Kandungan klorofil tertinggi perlakuan kontrol positif dan perlakuan P2 yaitu masing masing sebesar 0,62 $\mu\text{g/l}$ dan 0,53 $\mu\text{g/l}$. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa kandungan klorofil pada perlakuan kontrol positif tidak berbeda signifikan dengan perlakuan P1 ($p > 0.05$), akan tetapi berbeda nyata dengan perlakuan P2 dan P3 ($p < 0.05$).

Penurunan jumlah klorofil dapat diakibatkan dari unsur hara yang terkandung di dalam media salah satunya yaitu nitrogen. Apabila jumlah nitrogen tinggi didalam suatu media maka akan mengakibatkan terhambatnya proses sintesis klorofil dan juga proses fotosintesis. Menurut Sartika *et al.*, (2014) apabila unsur-unsur hara yang terdapat dalam media 50% terlalu tinggi maka akan menyebabkan sintesis klorofil dan proses fotosintesis terhambat. Komarawidjaja (2010) juga menyatakan bahwa mikroalga tidak dapat hidup dalam media limbah cair organik dengan konsentrasi $> 40\%$.

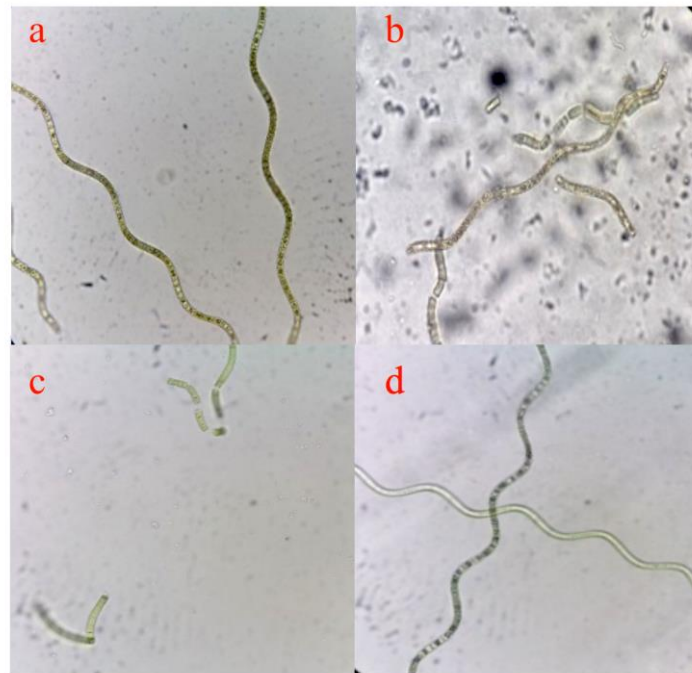


Gambar 4. Kandungan Klorofil *Spirulina* sp. pada Setiap Perlakuan di Akhir Masa Remediasi

Morfologi *Spirulina* sp.

Spirulina sp. normal memiliki morfologi tubuh menyerupai benang, berbentuk spiral dengan warna hijau pekat (Gambar 7a). Paparan limbah budidaya ikan nila menyebabkan terjadinya perubahan morfologi *Spirulina* sp. Pada perlakuan P1, morfologi *Spirulina* sp. sudah mengalami perubahan bentuk menyerupai benang yang terputur-putus dengan bentuk yang tidak spiral dan warna yang tampak memudar (Gambar 7b). Pada perlakuan P2, potongan tubuh *Spirulina* sp tampak semakin terpisah-pisah menjadi potongan yang kecil-kecil dan warnanya hijau pudar (Gambar 7c) sedangkan pada perlakuan P3 warna *Spirulina* sp berubah menjadi transparan (Gambar 7d).

Hal itu diduga terjadi akibat karena semakin tinggi konsentrasi limbah yang di masukkan kedalam media tumbuh *Spirulina* sp. maka kandungan klorofil dan pigmen fikobiliprotein semakin berkurang. Tingginya konsentrasi limbah yang dimasukkan akan mengubah kandungan klorofil dan pigmen fotosintesis fikobiliprotein meskipun limbah tersebut termasuk limbah cair organik. Pada kloroplas terdapat membran tilakoid yang berfungsi sebagai tempat proses fotosintesis (Olivares, 2003). Konsentrasi limbah yang diberikan berlebih mengakibatkan terjadinya kerusakan sehingga menghambat proses respirasi dan dapat merusak dinding sel, sitoplasma, mitokondria, serta kloroplas (Cavet *et al.*, 2003).



Gambar 4. Morfologi *Spirulina* sp. pada Setiap Perlakuan di Akhir Masa Remediasi

KESIMPULAN

Fitoremediasi menggunakan *Spirulina* sp efektif mengurangi kandungan amoniak, nitrat dan phospat pada limbah budidaya ikan nila. Walaupun demikian kandungan limbah budidaya ikan nila yang terlalu tinggi berpotensi mengganggu pertumbuhan, kandungan klorofil dan morfologi *Spirulina* sp.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriadi T. 2014. Pemanfaatan Alga Berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan Kijing Lokal (*Pilsbryconcha exilis*) Sebagai Agen Bioremediasi Limbah Budidaya Sidat. Tesis. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Baihaqi, Rahman M, Zulfahmi I, Hidayat M. 2018. Bioremediasi Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Menggunakan *Spirogyra* sp. BIOTIK: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi dan Kependidikan, 5(2): 125-134.
- Borowitzka MA dan Borowitzka, LJ. 1988. Micro-algal biotechnology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Burford MA, Thompson PJ, McIntosh RP, Bauman RH and Pearson DC. 2003. Nutrient and Microbial Dynamics in High-Intensity, Zero-Exchange Shrimp Ponds in Belize.

- Aquaculture. 219: 393– 411.
- Delis PC, Effendi H, Krisanti M, Hariyadi S. 2015. Treatment of aquaculture wastewater using *Vetiveria zizanioides* (Liliopsida, Poaceae). *AACL Bioflux*, 8(4): 616-625.
- Devi A, Djumali M, Singgih W, Titi CS, dan Mulyorini R. 2012. Pengolahan Limbah Cair Perikanan Menggunakan Konsorsium Mikroba Indigenous Proteolitik dan Lipolitik. *AGROINTEK*. Vol. 6, No (2): 65-71.
- Effendi H. 2003. Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta (ID): Kanisius.
- Effendi H, Utomo BA, Darmawangsa GM. 2015. Phytoremediation of freshwater crayfish (*Cherax quadricarinatus*) culture wastewater with spinach (*Ipomoea aquatica*) in aquaponic system. *AACL Bioflux*, 8(3): 421- 430.
- Fautama FN, Zulfahmi, I, Muliari & Anas AA. 2019. Prevalence and Intesity of Ectoparasites on *Clarias gariepinus* from Aquaquulture Pond in Aceh Besar District, Indonesia. *Jurnal Biodjati*, 4(1): 58-67
- Fikri. 2006. Kandungan Gizi Spirulina. <http://www.kesehatan-alami.com/sea-cucumber-spirulina-kandungan.php> [18 Maret 2008].
- Henrikson R. 1989. *Earth Food Spirulina*. San Rafael, California, USA, Ronorc Enterprises, Inc.
- Isnansetyo, A & Kurniastuty. 1995. Teknik Kultur Phytoplankton Zooplankton Pakan Alam untuk Pembenihan Organism Laut. Kanisius. Yogyakarta.
- Jamal E, Pieris N, Piris F, Sudharma R, Septiningsih E. 2013. Konsentrasi Amonia, Nitrit Dan Fosfat Pada Lingkungan Budidaya Ikan Di Perairan Poka Teluk Ambon Dalam. *Jurnal TRITON*, 9(2): 87-93.
- Juswardi, Estuningsih S.P., Yudono B., dan Yulianti R. 2013. Potensi Tanaman Rumput Sebagai Agen Fitoremediasi Tanah Terkontaminasi Limbah Minyak Bumi. Prosiding Semirata FMIPA, Universitas Lampung, Lampung.
- Karakassis I, Pitta P, Krom MD. 2005 Contribution of fish farming to the nutrient loading of the Mediterranean. *Scientia Marina*. 69(2):313-321.
- Kittiwanich J, Songsangjinda P, Yamamoto T, Fukami K, and Muangyao P. 2012. Modeling the Effect of Nitrogen Input from Feed on The Nitrogen Dynamics in an Enclosed Intensive Culture Pond of Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*). *Coastal Marine Science* 35(1):39–51.
- Kir M, Kumlu M, Erolodogan OT. 2004. Effects of Temperature on Acute Toxicity of Ammonia to *Penaeus semisulcatus* Juveniles. *Aquaculture*, 241: 479–489.

- Liu, L.C., Guo, B.J., and Ruan, J.S. 1991. Antitumour Activity of Polysaccharides Extracted from *Spirulina*. *Oceanogr*, (5): 33-37 .
- Lutama D, Winarso S, Setiawati TC. 2015. Uji Efektifitas Pertumbuhan *Spirulina* sp. pada Limbah Cair Tahu yang Diperkaya Urea dan Super Phosphate 36 (Sp 36). *Berkala Ilmiah Pertanian* 10 (10): 1 – 5.
- Marlina E & Rakhmawati. 2016. Kajian Kandungan Ammonia Pada Budidaya Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) Menggunakan Teknologi Akuaponik Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*). *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Ke-V Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan*: 181 – 187.
- Murniyati FR, Dewi, Peranginangin R. 2014. Teknik pengolahan tepung kalsium dari tulang ikan nila. *Penebar Swadaya*, Jakarta. Hal:74.
- Niva M. 2007. All foods affect health: Understandings of functional food and healthy eating among health-oriented Finns. *Appetite*, 48: 384–393.
- Novery K., Sutrisno E., dan Hanif M., 2016. Optimasi Proses Likuifaksi Mikroalga *Spirulina* Sp. Untuk Produksi Bahan Bakar Cair Menggunakan Metode Respon Permukaan: Pengaruh Tekanan Awal dan Konsentrasi Katalis. *Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Jurnal Teknik Lingkungan*, 5 (2)
- Nurfadillah, Awaliya NA, Nurinsa. 2017. Fitoremediasi Limbah Domestik (Detergent) Menggunakan *Eceng Gondok* (*Eichorniacrassipes*) Untuk mengatasi Pencemaran lingkungan. *Jurnal PENA*, 3(2): 577.
- Nur Fatmawati. 2013. Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *Biogenesis*, 1(1): 74-83.
- Nurchayati Y. dan Setiari N. 2009. Eksplorasi Kandungan Klorofil pada beberapa Sayuran Hijau sebagai Alternatif Bahan Dasar Makanan Tambahan. *Bioma*, 11(1): 6-10.
- Nainngola JGM. 2018. Pertumbuhan Biomassa *Spirulina* *Platensis* Dengan Pemberian Nutrisi Yang Berbeda Pada Skala Indoor Dan Semi Outdoor. *Jurnal Ilmu Kelautan. Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau, Pekanbaru*. Hal: 5-6.
- Ogawa T. & Terui G. 1970. Studies on the Growth of *Spirulina platensis*. (I) on the Pure Culture of *Spiruulina platensis*. *Journal of Fermentation Technology*, 48 (6): 361-367.
- Prambodo MS, Hariyati R, Soeprobowati TR. 2016. *Spirulina platensis* Geitler sebagai Fikoremediator Logam Berat Pb Skala Laboratorium. *Bioma*, 18 (1): 64-69.
- Pratama Evanstio, 2017. Fitoremediasi Limbah Budidaya Pendederan Kerapu Bebek (*Cromileptes altivelis*) Menggunakan *Spirulina* sp. Skripsi. *Program Studi Budidaya Perairan Jurusan Perikanan Dan Kelautan Fakultas Pertanian Universitas Lampung, Lampung*.

- Purwandari Yusrianti. 2017. Fitoremediasi Limbah Budidaya Ikan Gurami (*Osphronemus Goramy*) Menggunakan Selada Romain (*Lactuca Sativa L. Var. Longifolia*). Tesis. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Roberfroid MB. 2000. An European consensus of scientific concepts of functional foods. *Nutrition*, 16 (7-8): 689–691.
- Santosa A, Utomo Priyo NM, Budiardi T. 2010. Pertumbuhan dan kandungan nutrisi *Spirulina* sp. pada fotoperiode yang berbeda. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 9(2): 146-156.
- Saputra DA, Haeruddin, Widyorini N. 2016. Efektivitas Kombinasi Mikroorganisme dan Tumbuhan Air Lemna Minor Sebagai Bioremediator dalam Mereduksi Senyawa Amoniak, Nitrit, dan Nitrat pada Limbah Pencucian Ikan. *Diponegoro Journal of Maquares Management of Aquatic Resources*, 5(3): 80-90.
- Summerfelt, S.T., Wilton, G., Roberts, D., Rimmerd, T. and Fonkalsrud, K. 2004. Developments in Recirculating Systems for Arctic Char Culture in North America. *Aquacultural Engineering* 30: 31–71.
- Van Rijn J. 2012. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*. doi: 10.1016/j.aquaeng.2012.11.010
- Wahyuningsih S, Effendi H, Wardiatno Y. 2015. Nitrogen removal of aquaculture wastewater in aquaponic recirculation system. *AAAL Bioflux*. 8(4): 491-499.
- Zulfahmi I, Ridwan A, Djamar TFL. 2014. Kondisi biometrik ikan nila, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758) yang terpapar merkuri. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 14(1): 37-48.
- Zulfahmi I, Ridwan A, Djamar TFL. 2015. Perubahan struktur histologis insang dan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758) yang terpapar merkuri. *Jurnal Edukasi dan Sains Biologi*, 4(1): 35-31.
- Zulfahmi I, Muliari, Mawaddah I. 2017. Toksisitas limbah cair kelapa sawit terhadap ikan nila (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758) dan ikan bandeng (*Chanos chanos* Froskall 1755) *Agricola*, 7: 44-55.
- Zulfahmi I. 2017. Pengaruh padat tebar berbeda terhadap pertumbuhan benih udang windu (*Penaeus monodon* Fabricius, 1798) yang dipelihara pada media bioflok. *Scientiae Educatia: Jurnal Pendidikan Sains*, 6(1): 62-66.
- Zulfahmi I, Syahimi M, Muliari. 2018. Pengaruh Penambahan Bioflok dengan Dosis Berbeda terhadap Pertumbuhan Benih Udang Windu (*Penaeus Monodon* Fabricius 1798). *Al-Kaunyah*, 11(1): 1-8.