

SERAPAN KALSIMUM DAN NUTRIEN OLEH ALGA BERFILAMEN *Spirogyra* sp. PADA LAMA PENYINARAN BERBEDA

Niken T.M. Pratiwi, Majariana Krisanti, Inna Puspa Ayu,
Aliati Iswantari, dan Tri Apriadi

Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, F-PIK, IPB

Email: niken_tmpratiwi@yahoo.com

Diterima: 26 September 2014, Disetujui: 17 Maret 2015

ABSTRAK

Spirogyra sp. merupakan salah satu mikroalga yang memiliki potensi sebagai bahan baku berbagai industri. Dalam rangka meningkatkan nilai guna dari potensi tersebut, dapat dilakukan penambahan elemen tertentu, di antaranya kalsium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *Spirogyra sp.* dalam menyerap kalsium (Ca) dan nutrisi pada lama penyinaran berbeda. Penelitian dilakukan terhadap kultur *Spirogyra sp.* pada skala laboratorium. Kalsium CaCl_2 ditambahkan pada media Gandasil D[®] dengan perlakuan penyinaran diskontinyu dan kontinyu. Setelah satu minggu perlakuan, konsentrasi Ca *Spirogyra sp.* meningkat sebesar 23,4% dan 21,8%, serta nutrisi nitrogen anorganik yang terserap sebesar 67,3% dan 59,5% masing-masing pada perlakuan penyinaran kontinyu dan diskontinyu, namun bobot akhir pada perlakuan penyinaran diskontinyu lebih besar dari kontinyu. Diduga bahwa Ca merupakan elemen yang tidak dibutuhkan dalam jumlah banyak oleh *Spirogyra sp.* pada proses pertumbuhan alga berfilamen ini.

Kata kunci: bahan baku pakan, kalsium, nutrisi, lama penyinaran, *Spirogyra sp.*

ABSTRACT

CALCIUM AND NUTRIENT UPTAKE OF FILAMENTOUS ALGA SPIROGYRA SP. AT VARIOUS LIGHT PERIODS. *Spirogyra* is one of potential microalga as raw material in various industries. Enhancement of specific element, such as calcium intended to gain higher utility value of *Spirogyra sp.* The objective of this study is to determine the ability of *Spirogyra sp.* in absorbing calcium (Ca) and nutrient under different irradiation time. An experiment was conducted on *Spirogyra sp.* culture at the laboratory scale. CaCl_2 was added to the Gandasil D[®] medium under continuous and discontinuous irradiation time treatment. After a week, the concentration of Ca *Spirogyra sp.* increased 23.4% and 21.8%, and dissolved inorganic nitrogen uptake were 67.3% and 59.5% in continue and discontinue irradiation treatment, respectively, but final weights in treatment of discontinue irradiation was greater than that of continue irradiation. It is suspected that Ca is an element that is not needed in large amounts by *Spirogyra sp.* in the growth processes.

Keywords: calcium, feed raw material, nutrient, irradiation time, *Spirogyra sp.*

PENDAHULUAN

Spirogyra sp. merupakan salah satu jenis alga berfilamen (*filamentous algae*) dari kelas Chlorophyceae yang tumbuh di perairan tawar. Perkembangbiakan *Spirogyra* sp. dilakukan secara aseksual melalui fragmentasi (pemutusan talus) dan perkembangbiakan seksual melalui konjugasi (Bellinger & Sigeo 2010). Pertumbuhan *Spirogyra* sp. dipengaruhi oleh nutrisi dan cahaya. McKernan (2001) menyatakan adanya korelasi antara penambahan nutrisi dengan tingkat pertumbuhan *Spirogyra* sp. Perkembangan biomassa yang cepat menyebabkan *Spirogyra* sp. dapat mendominasi suatu perairan, sehingga seringkali dianggap sebagai gulma. Filamen *Spirogyra* sp. mulai tumbuh di dasar perairan yang dangkal atau menempel pada batuan ataupun tumbuhan air, lalu mengapung ke permukaan membentuk hamparan yang luas seperti karpet (*pond scums*). Jumlah biomassa *Spirogyra* sp. yang banyak ini memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan lebih lanjut.

Spirogyra sp. tidak hanya dimanfaatkan sebagai pakan alami oleh ikan herbivora atau omnivora. Pemanfaatan *Spirogyra* sp. sebagai agen bioremediasi telah dilaporkan oleh Rezaee *et al.* (2006), Bishnoi *et al.* (2007), Singh (2007), Khalaf (2008), Mane & Bhosle (2012), Kumar & Oommen (2012), serta Brahmabhatt *et al.* (2012). Selanjutnya, Eshaq *et al.* (2010) melaporkan bahwa biomassa *Spirogyra* sp. memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan melalui produksi *bioethanol*. Biomassa *Spirogyra* sp. dibutuhkan dalam jumlah yang relatif banyak untuk memenuhi kebutuhan produksi *bioethanol* tersebut. *Spirogyra* sp. juga memiliki potensi sebagai bahan baku pada industri pakan komersil (Ali *et al.* 2005).

Pakan yang diberikan kepada hewan air yang dibudidayakan umumnya memiliki kandungan elemen tertentu yang dibutuhkan secara spesifik oleh biota target. Kalsium (Ca) merupakan salah satu mineral makro esensial yang bermanfaat bagi hewan air pada proses pertukaran ion dari dan keluar

sel (osmoregulasi), keseimbangan asam basa, bahan penyusun jaringan keras, serta berperan sebagai kofaktor dalam proses enzimatik (Davis & Gatlin 1996; Kalantarian *et al.* 2013). Kalsium juga sangat diperlukan oleh krustase untuk pembentukan cangkang dan kulit. Upaya untuk memenuhi kebutuhan kalsium pada hewan air yang dibudidayakan dapat dilakukan melalui pemberian pakan yang mengandung kalsium yang tinggi. Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini dikaji potensi *Spirogyra* sp. untuk dijadikan bahan baku pakan hewan air, terutama dilihat dari aspek pemenuhan kebutuhan kalsium.

Salah satu upaya peningkatan kalsium pada *Spirogyra* sp. dilakukan melalui penambahan kalsium pada media tumbuh alga berfilamen ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui serapan kalsium dan nutrisi oleh *Spirogyra* sp. pada skala laboratorium dengan lama penyinaran berbeda. Penelitian ini dijadikan sebagai dasar penyiapan biomassa *Spirogyra* sp. untuk memenuhi kebutuhan bahan baku pakan yang kaya kalsium.

METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli-Agustus 2014, bertempat di Laboratorium Riset Plankton, Bagian Produktivitas dan Lingkungan Perairan, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Institut Pertanian Bogor.

Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian dilakukan melalui percobaan pada skala laboratorium. Wadah percobaan berupa stoples kaca bervolume 2,5 L. Sebanyak 1,5 g *Spirogyra* sp. dikultur pada media tumbuh berupa 1 L air steril yang diperkaya dengan 0,1 mL pupuk Gandasil D[®]. Nutrien yang terkandung dalam media tumbuh tersebut terdiri dari N (20%), P₂O₅ (15%), K₂O (15%), MgSO₄ (1%), dilengkapi dengan mikro nutrisi seperti Mn, B, Cu, Co dan Zn, serta vitamin untuk pertumbuhan tanaman, seperti *Aneurine*, *Lactoflavine*, dan *Nicotinic acid amide* (Sulfahri & Wulanmanuhara 2013). Pengayaan kalsium dilakukan melalui

penambahan 0,5 mL larutan CaCl₂ (36,76 g CaCl₂/L akuades) pada setiap 1 L media tumbuh *Spirogyra* sp. (Andersen et al. 2005).

Wadah stoples kaca diletakkan pada rak kultur, selanjutnya media kultur diaerasi. Cahaya yang diberikan bersumber dari lampu dengan rata-rata intensitas cahaya 705,67 ft cd. Hal ini mengacu pada kisaran cahaya optimum untuk pertumbuhan Chlorophyta sebesar 500-750 ft cd (Ryther 1956). Perlakuan pada penelitian ini adalah perbedaan lama penyinaran pada kultur *Spirogyra* sp. Terdapat dua perlakuan, yaitu penyinaran diskontinyu (12 jam terang:12 jam gelap) dan penyinaran kontinyu (24 jam terang). Masing-masing perlakuan dilakukan tiga kali ulangan. Parameter yang diamati selama tujuh hari perlakuan disajikan pada Tabel 1.

Laju pertumbuhan *Spirogyra* sp.

Laju pertumbuhan bersih serta waktu penggandaan *Spirogyra* sp. ditentukan berdasarkan Gobler et al. (2012) sebagai berikut.

$$\mu = \frac{\ln \left(\frac{B_t}{B_0} \right)}{t}$$

Keterangan:

μ = laju pertumbuhan bersih (g hari⁻¹),
 B_0 = berat basah awal (g),
 B_t = berat basah akhir (g),
 t = waktu retensi (hari).

Uji t

Uji t berpasangan dilakukan untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan penyinaran kontinyu dan diskontinyu. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut (Walpole 1993).

Tabel 1. Beberapa parameter yang diamati selama penelitian

Parameter	Satuan	Metode/alat ukur	Periode pengamatan
Suhu	°C	Termometer	Harian
pH	-	pH meter	Harian
Kalsium (Ca) di media	mg L ⁻¹	Atomic absorption/ spektrofotometer	Awal (hari ke-0) dan akhir (hari ke-7)
Kalsium (Ca) di sel <i>Spirogyra</i> sp.	mg g ⁻¹	Atomic absorption/ spektrofotometer	Awal (hari ke-0) dan akhir (hari ke-7)
DIN	mg L ⁻¹	Phenate (NH ₃ -N), Sulfanilamide (NO ₂ -N), Brucine (NO ₃ -N)/ Spektrofotometer	Awal (hari ke-0), tengah (hari ke-3), dan akhir (hari ke-7)
Bobot <i>Spirogyra</i> sp.	g	Timbangan digital	Awal (hari ke-0) dan akhir (hari ke-7)
Sel <i>Spirogyra</i> sp.	-	Mikroskop	Harian

Sumber: APHA (1989), APHA(2005)

Analisis Data

Persentase perubahan parameter

Persentase perubahan bobot, konsentrasi nutrien, dan konsentrasi Ca dihitung dengan membandingkan besarnya perubahan yang terjadi setelah tujuh hari kultur dengan nilai awal, dengan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{Perubahan} = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

Keterangan:

a = nilai parameter awal (sebelum perlakuan),
 b = nilai parameter akhir (setelah perlakuan).

$$t = \frac{\delta - \delta_0}{sd/\sqrt{n}}$$

Keterangan:

t = nilai t hitung,
 δ = rata-rata selisih nilai parameter (sebelum dan sesudah perlakuan),
 δ_0 = selisih nilai yang tidak diharapkan = 0,
 sd = simpangan baku selisih nilai parameter,
 n = jumlah pasangan anggota sampel.

Hipotesis:

H₀: $\mu_D = d_0$ (nilai parameter sebelum dan sesudah perlakuan sama)

$H_1: \mu_D \neq d_0$ (nilai parameter sebelum dan sesudah perlakuan berbeda)

Hipotesis nol akan ditolak pada taraf nyata α bila $t > t_{\alpha/2}(n-1)$ atau $t < -t_{\alpha/2}(n-1)$.

Nilai t hitung dan t tabel dapat diperoleh dengan menggunakan MS Excel 2007.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi kalsium pada media kultur

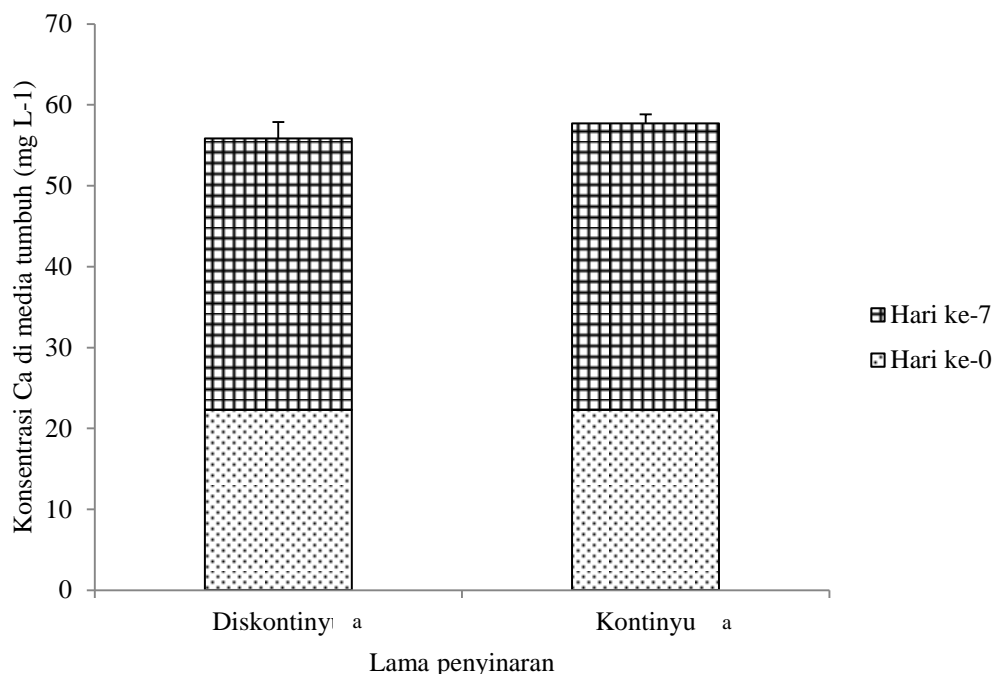
Konsentrasi Ca di media kultur mengalami peningkatan pada akhir pengamatan, baik pada perlakuan penyinaran diskontinyu maupun kontinyu (Gambar 1). Perlakuan penyinaran kontinyu mengalami peningkatan konsentrasi kalsium sebesar 59%, sedangkan pada perlakuan diskontinyu mengalami peningkatan 51%. Tidak terdapat perbedaan yang nyata antarperlakuan ($P > 0,05$). CaCl_2 yang ditambahkan ke dalam media kultur akan menyebabkan terjadinya peningkatan konsentrasi kalsium pada media. Peningkatan kalsium di air media percobaan berasal dari pemecahan CaCl_2 di dalam air. CaCl_2 di dalam air akan terdisosiasi menjadi

Ca^{2+} dan 2Cl^- (OECD SIDS 2002). Adanya peningkatan konsentrasi Ca di media diduga terjadi karena tidak semua Ca^{2+} yang terbentuk tersebut dapat diserap oleh sel *Spirogyra* sp.

Konsentrasi kalsium di sel *Spirogyra* sp.

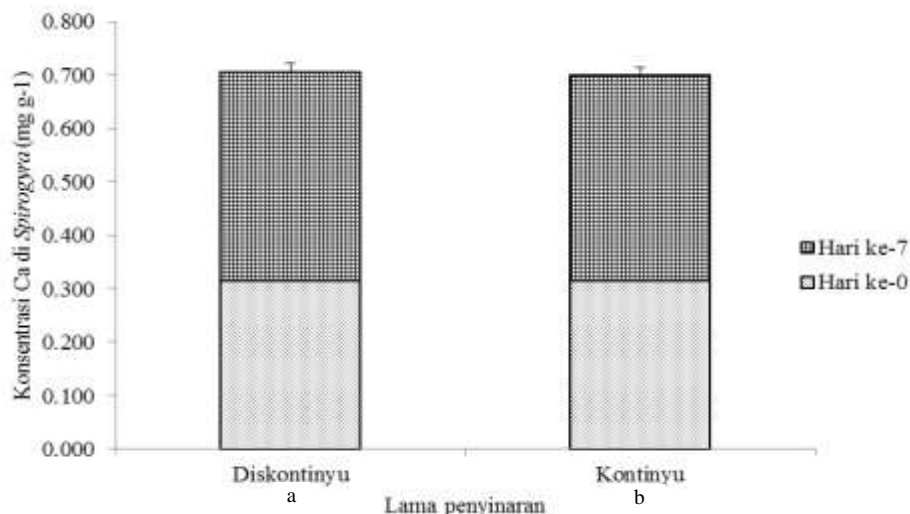
Konsentrasi Ca dalam sel *Spirogyra* sp. juga mengalami peningkatan di akhir pengamatan pada kedua perlakuan (Gambar 2). *Spirogyra* sp. pada perlakuan penyinaran diskontinyu memiliki kemampuan yang relatif lebih baik dalam menyerap Ca dibandingkan perlakuan kontinyu. Hal ini diduga terkait dengan perbedaan aktivitas metabolisme sel akibat lama penyinaran yang berbeda.

Konsentrasi Ca pada perlakuan penyinaran diskontinyu mengalami peningkatan sebesar 23,4%. Nilai persentase peningkatan ini sedikit lebih tinggi dari perlakuan kontinyu, dengan nilai peningkatan sebesar 21,8%. Berdasarkan uji t diketahui bahwa antarperlakuan tidak menunjukkan perbedaan yang nyata ($P > 0,05$).



Keterangan: Huruf dengan *superscript* yang sama menandakan perlakuan tidak berbeda nyata

Gambar 1. Konsentrasi kalsium di media kultur *Spirogyra* sp. pada lama penyinaran berbeda



Keterangan: Huruf dengan *superscript* yang sama menandakan perlakuan tidak berbeda nyata

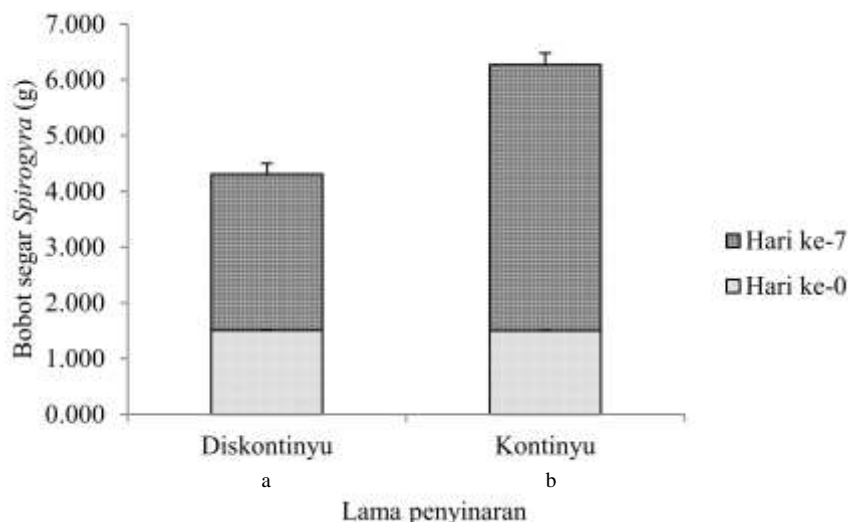
Gambar 2. Konsentrasi kalsium di sel *Spirogyra* sp. yang dikultur pada lama penyinaran berbeda

Bobot dan pertumbuhan *Spirogyra* sp.

Bobot *Spirogyra* sp. mengalami penambahan pada kedua perlakuan selama tujuh hari percobaan. Hal ini menandakan terjadinya pertumbuhan pada *Spirogyra* sp. Terdapat perbedaan yang nyata antarperlakuan ($P < 0,05$). Penambahan bobot *Spirogyra* sp. pada perlakuan kontinyu lebih besar daripada perlakuan diskontinyu (Gambar 3).

Perbedaan bobot akhir *Spirogyra* sp. pada penelitian ini disebabkan adanya perbedaan laju pertumbuhan harian sebagai pengaruh dari lama penyinaran. *Spirogyra* sp.

pada perlakuan penyinaran kontinyu memiliki laju pertumbuhan sebesar $0,5443 \text{ g hari}^{-1}$, sedangkan pada perlakuan diskontinyu sebesar $0,3553 \text{ g hari}^{-1}$. Sel *Spirogyra* sp. pada penyinaran kontinyu diduga memiliki aktivitas metabolisme yang lebih tinggi dari pada perlakuan diskontinyu. Ketersediaan cahaya setiap saat pada perlakuan penyinaran kontinyu menyebabkan durasi proses fotosintesis berlangsung lebih lama dibandingkan perlakuan diskontinyu. Hal ini berdampak pada ketersediaan energi untuk pertumbuhan sel *Spirogyra* sp.



Keterangan: Huruf dengan *superscript* yang berbeda menandakan perlakuan berbeda nyata

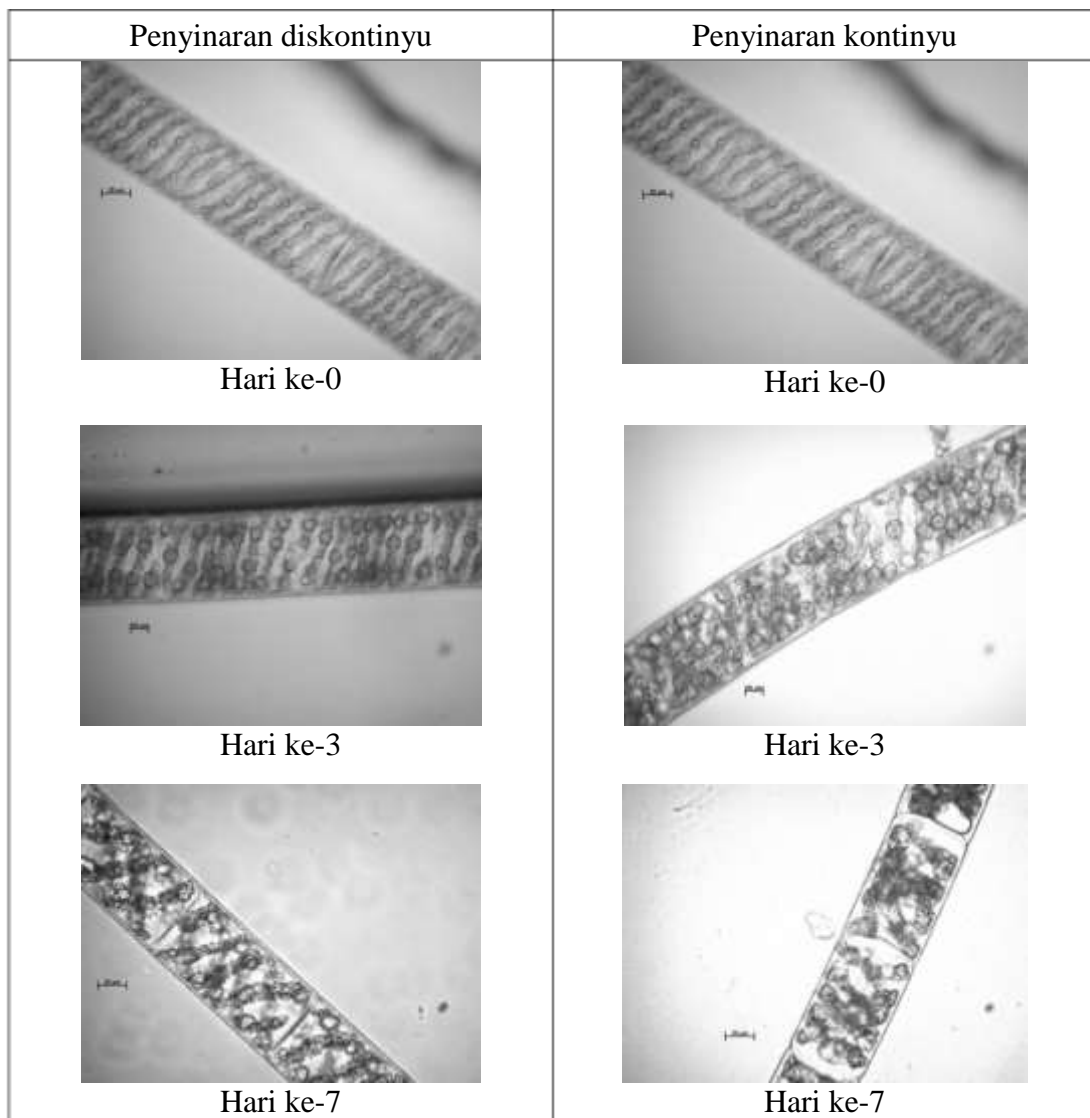
Gambar 3. Bobot *Spirogyra* sp. yang dikultur pada lama penyinaran berbeda

Perbedaan lama penyinaran juga berpengaruh terhadap sel *Spirogyra* sp. Terdapat perbedaan pada susunan kloroplas antar perlakuan (Gambar 4). Berdasarkan pengamatan mikroskopis terhadap sel *Spirogyra* sp., selama tujuh hari kultur diketahui adanya perubahan pada susunan kloroplas *Spirogyra* sp. Kloroplas pada awal perlakuan (hari ke-0) tersusun secara rapi membentuk pita-pita spiral dengan susunan pirenoid yang jelas. Susunan kloroplas mulai merenggang pada hari ke-3 hingga hari ke-7 pada perlakuan penyinaran diskontinyu akan tetapi pita-pita spiral masih tersusun dengan rapi. Hasil berbeda ditemukan pada perlakuan penyinaran

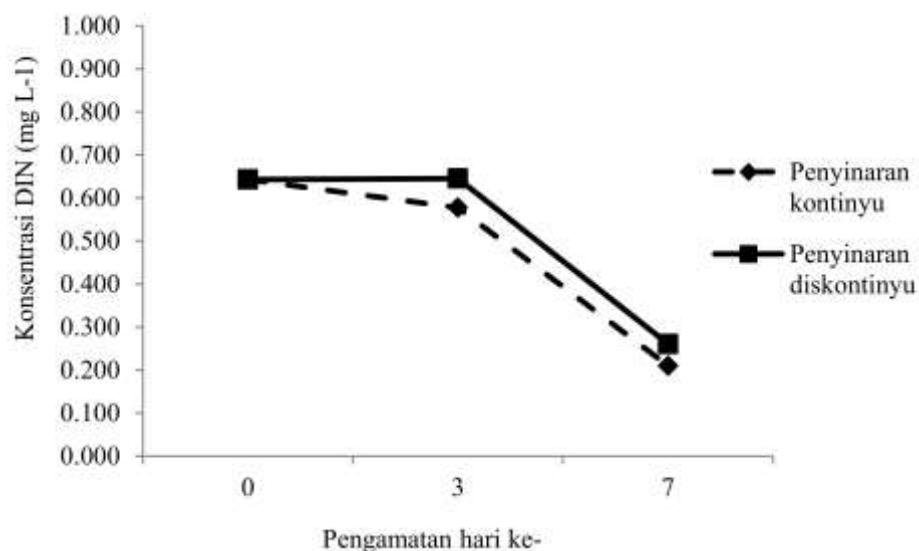
kontinyu. Susunan kloroplas mulai merenggang dan pita-pita spiral tidak teratur pada hari ke-3 hingga hari ke-7.

Nutrien

Nutrien dalam bentuk nitrogen anorganik terlarut (*dissolved inorganic nitrogen/DIN*) yang terdiri dari amonia (NH_3^- dan NH_4^+), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-) merupakan komponen penting yang dibutuhkan untuk pertumbuhan alga, termasuk *Spirogyra* sp. Pemanfaatan nutrisi nitrogen oleh *Spirogyra* sp. dapat diketahui melalui penurunan konsentrasi DIN pada media kultur *Spirogyra* sp. (Gambar 5).



Gambar 4. Foto sel *Spirogyra* sp. pada penyinaran diskontinyu (kiri) dan penyinaran kontinyu (kanan)



Gambar 5. Konsentrasi DIN di media kultur *Spirogyra* sp. pada lama penyinaran berbeda

Penurunan konsentrasi DIN pada media disebabkan adanya penyerapan oleh *Spirogyra* sp. Penurunan konsentrasi DIN pada perlakuan penyinaran diskontinyu dan kontinyu sebesar 67,3% dan 59,5%. Apriadi *et al.* (2014) menjelaskan bahwa DIN dalam bentuk amonium (NH_4^+) merupakan nutrisi yang paling berpengaruh terhadap peningkatan bobot dan pertumbuhan *Spirogyra* sp. Perbedaan penyerapan nutrisi nitrogen antarperlakuan selain disebabkan adanya perbedaan lama penyinaran, juga disebabkan oleh keberadaan Ca. Hal ini sesuai pernyataan Dvarokova (1976) bahwa keberadaan kalsium dapat mempengaruhi proses pemanfaatan nitrat dan amonium pada alga Chlorophyceae.

Kondisi kualitas air

Nilai suhu selama penelitian pada penyinaran diskontinyu berkisar 19,7-22,1°C pada kondisi terang dan 19,3-20,7°C pada kondisi gelap, sedangkan pada penyinaran kontinyu nilai suhu cenderung lebih tinggi, berkisar 20,7-22,1°C. Hal ini diduga terkait dengan perbedaan kuantitas panas dari cahaya lampu yang diterima oleh media kultur.

Nilai pH selama penelitian pada penyinaran diskontinyu berkisar 7,66-8,92 pada kondisi terang dan 7,57-8,74 pada kondisi gelap, sedangkan pada penyinaran kontinyu nilai pH cenderung lebih tinggi, dengan kisaran nilai 7,72-9,01. Nilai pH

mengalami fluktuasi selama pengamatan. Hasil ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Sulfahri & Wulanmanuhara (2013) bahwa nilai pH pada kultur *Spirogyra* sp. dengan penambahan pupuk Gandasil D® mengalami perubahan selama 40 hari retensi. Adanya peningkatan nilai pH ini diduga akibat pemanfaatan karbon anorganik dalam bentuk CO_2 oleh *Spirogyra* sp. Nilai pH pada kultur alga sangat dipengaruhi oleh konsentrasi CO_2 terlarut dalam medianya. Proses fotosintesis yang terjadi cenderung meningkatkan pH media karena pada proses ini terjadi penyerapan senyawa CO_2 .

Pembahasan

Nutrien merupakan komponen penting untuk pertumbuhan alga. Keberadaan nutrisi makro maupun nutrisi mikro di perairan akan berpengaruh terhadap pertumbuhan alga. Kalsium (Ca) merupakan salah satu nutrisi makro yang penting pada tumbuhan tingkat tinggi dan menjadi elemen anorganik utama pada alga (OECD SIDS 2002). Ca merupakan mineral yang konsentrasinya paling tinggi ditemukan pada *Spirogyra* sp., akan tetapi konsentrasinya masih jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan konsentrasi Ca yang ditemukan pada *Spirulina* (Rutikanga 2011).

Kalsium memiliki dua peran penting dalam sel organisme autotrof, yakni pada dinding sel dan membran sel. Kalsium pada dinding sel berfungsi sebagai peran kunci

dalam silang residu asam pektin, sedangkan pada sistem membran sel, kalsium yang rendah dapat meningkatkan permeabilitas membran plasma (Hepler 2005). Pengayaan Ca pada kultur *Spirogyra* sp. diharapkan dapat menjadi upaya untuk meningkatkan konsentrasi Ca pada biomassa *Spirogyra* sp. Percobaan penambahan Ca pada kultur *Spirogyra* sp. dengan lama penyinaran berbeda memperlihatkan hasil bahwa *Spirogyra* sp. memiliki kemampuan dalam menyerap dan memanfaatkan Ca serta mempengaruhi penyerapan nitrogen anorganik terlarut (DIN).

Hasil penelitian yang dilakukan memberikan informasi bahwa perlakuan penyinaran diskontinyu lebih efektif dalam menyerap Ca dan DIN dari pada penyinaran kontinyu. Keberadaan Ca yang lebih banyak pada media kultur perlakuan penyinaran kontinyu dapat menghambat proses pemanfaatan DIN. Hal ini diduga karena adanya perbedaan muatan ion antara kalsium (Ca^{2+}) yang lebih besar dibandingkan dengan muatan nitrat (NO_3^-) dan amonium (NH_4^+). Dvarokova (1976) menjelaskan bahwa keberadaan kalsium dapat mempengaruhi proses pemanfaatan DIN (dalam hal ini NO_3^- dan NH_4^+) pada sel alga Chlorophyceae.

Tingkat penyerapan alga terhadap nutrien, baik elemen mikro maupun elemen makro, juga sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya ataupun lama penyinaran. Hal ini terkait dengan aktivitas metabolisme sel melalui proses fotosintesis. *Spirogyra* sp. yang diberi perlakuan penyinaran kontinyu memiliki penambahan bobot yang lebih banyak bila dibandingkan perlakuan diskontinyu. Penyinaran secara terus menerus terhadap kultur *Spirogyra* sp. diduga kuat dapat memacu pertumbuhan *Spirogyra* sp. tersebut, terlebih lagi cahaya yang diberikan berada pada kondisi cahaya optimum untuk pertumbuhan Chlorophyta (Ryther 1956).

Bouterfas *et al.* (2006) menjelaskan bahwa pertumbuhan dari tiga jenis Chlorophyceae (*Selenastrum minutum*,

Coelastrum microporum f. Astroidea, dan *Cosmarium subprotumidum*) mencapai maksimum pada perlakuan pemberian cahaya terus menerus, akan tetapi terdapat hubungan yang berlawanan antara ukuran dan kualitas sel dengan laju pertumbuhan. Hal ini juga terbukti pada sel *Spirogyra* sp. yang dikultur pada lama penyinaran berbeda (Gambar 4). Semakin lama periode pencahayaan pada perlakuan penyinaran kontinyu, menyebabkan sel *Spirogyra* sp. menjadi semakin pendek, struktur kloroplas semakin cepat meregang, dan menyebabkan susunan pita-pita spiral dan pirenoid menjadi tidak teratur.

Peningkatan konsentrasi Ca yang lebih banyak pada perlakuan penyinaran diskontinyu ternyata tidak berbanding lurus dengan peningkatan bobot *Spirogyra* sp. selama tujuh hari kultur. Hal ini memberikan indikasi bahwa Ca merupakan elemen yang tidak dibutuhkan dalam jumlah banyak oleh *Spirogyra* sp. Inoue *et al.* (2002) melaporkan bahwa Ca^{2+} intraseluler hanya berperan dalam pertumbuhan pada bagian ujung sel *Spirogyra* sp.

KESIMPULAN

Penyerapan Ca dan nutrien oleh *Spirogyra* sp. cenderung lebih efektif pada lama penyinaran diskontinyu. Lama penyinaran berbanding lurus dengan peningkatan bobot dan laju pertumbuhan harian *Spirogyra* sp. Penyerapan Ca dan nutrien dalam jumlah yang lebih banyak oleh *Spirogyra* sp. tidak menyebabkan penambahan bobot *Spirogyra* sp. yang lebih banyak pula.

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jendral Perguruan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, yang telah mendanai penelitian ini melalui program Penelitian Unggulan Dasar BOPTN 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Memon, M.S., Sahato, G.A, Arbani, S.N., 2005. Use of Fresh Water Alga *Spirogyra ellipsospora* Transeau As Feed Supplement to Broiler Chicks. *Hamhard Medicus XLVIII*(3): 128-134.
- Andersen, R.A., J.A. Berges, P.J. Harrison, MM Watanabe. 2005. Recipes for Freshwater and Seawater Media. Algal Culturing Techniques. Editor Andersen RA. Elsevier Academic Press. London.
- Apriadi, T., Pratiwi, N.T.M., Hariyadi, S., 2014. Fitoremediasi Limbah Budidaya Sidat Menggunakan Filamentous Algae (*Spirogyra* sp.). *Depik* 3(1):46-55.
- [APHA] American Public Health Association. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. 14th ed. APHA, AWWA, WPCP. Washington DC. 1527 p.
- [APHA] American Public Health Association. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. APHA, AWWA, WPCP. Washington DC. 1527 p.
- Bellinger, E.G., Sige DC., 2010. Fresh Water Algae: Identification and Use as Bioindicator. UK: John Wiley & Sons, Ltd. Hal 154-155.
- Bishnoi, N.R., Kumar R., Kumar S, Rani S., 2007. Biosorption of Cr(III) from Aqueous Solution Using Algal Biomass *Spirogyra* spp. *Hazard Mater.* 145 (1-2):142-147.
- Bouterfas, R., Belkoura, M., Dauta, A., 2006. The effects of irradiance and photoperiod on the growth rate of three freshwater green algae isolated from a eutrophic lake. *Limnetica* 25 (3): 647-656.
- Brahmbhatt, N.H., Patel, R.V., Jasrai, R.T., 2012. Bioremediation Potential of *Spirogyra* sps & *Oscillatoria* sps for Cadmium. *Asian J Biochem Pharmaceutl Resear.* 2(2): 102-107.
- Davis, D.A, Gatlin, D.M., 1996. Dietary Mineral Requirement of Fish and Marine Crustaceans. *Reviews in FisherScien* 4(1): 75-99.
- Dvorakova, J.H., 1976. The Effect of Calcium on The Growth of *Chlorella* and *Scenedesmus*. *Biologia Plantarum.* 18(3):214-220.
- Eshaq, F.S., Ali, M.N., Mohd, M.K., 2010. *Spirogyra* Biomass a Renewable Source for Biofuel (Bioethanol) Production. *Int J Engin Scien Technol.* 2(12): 7045-7054.
- Gobler, C.J., A. Burson, F. Koch, Y. Tang, M.R. Mulholland. 2012. The Role of Nitrogenous Nutrients in The Occurrence of Harmful Algal Blooms Caused by *Cochlodinium polykrikoides* in New York Estuaries (USA). *Journal Harmful Algae* 17: 64–74.
- Hepler, P.K., 2005. Calcium: A Central Regulator of Plant Growth and Development. *The Plant Cell* 17:2142-2155.
- Inoue, N., S Yamada, Y Nagata, T Shimmen. 2002. Rhizoid Differentiation in *Spirogyra*: Position Sensing by Terminal Cells. *J.Plant Cell Physiol* 43(5): 479-483.
- Kalantarian, S.H., Rafiee, G.H., Farhangi, M., Mojazi AB. 2013. Effect of Different Levels of Dietary Calcium and Potassium on Growth Indices, Biochemical Composition and Some Whole Body Minerals in Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) Fingerlings. *J. AquatResear& Develop* 4(3): 1-8.
- Khalaf, M., 2008. Biosorption of Reactive Dye from Textile Wastewater by Non-Viable Biomass of *Aspergillus niger* and *Spirogyra* sp. *Bioresour Technol.* 99:6631-6634.
- Kumar, J.I.N., Oommen, C., 2012. Removal of Heavy Metals by Biosorption using Freshwater Alga *Spirogyra hyalina*. *J Environ Biol.* 33: 27-31.
- Mane, P.C., Bhosle, A.B., 2012. Bioremoval of Some Metals by Living Algae *Spirogyra* sp. and *Spirullina* sp. from

- Aqueous Solution. *Int J Environ Resour.* 6(2): 571-576.
- McKernan, P., Juliano, S., 2001. Effect of Nutrient on the Growth of the Green Alga *Spirogyra* in Conesus Lake, N.Y. *Journal of Science and Mathematics* 2(1):19-25.
- OECD SIDS. 2002. Calcium chloride. SIDS Initial Assessment Report. Boston, USA: UNEP Publications. 154 hal.
- Rezaee, A., Ramavandi, B., Ganati, F., Ansari, M., Solimanian, A., 2006. Biosorption of Mercury by Biomass of Filamentous Algae *Spirogyra* Species. *J Biol Scien.* 6(4): 695-700.
- Rutikanga, A., Gitu, L., Oyaro, N., Cha-cha S., 2011. Mineral Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Freshwater Algae (*Spirogyra* Genus). Proceeding of the 2011 JKUAT Scientific, Technological and Industrialization Conference page 64-71. Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, Nairobi: Kenya.
- Ryther, J.H., 1956. Photosynthesis in the Ocean as a Function of Light Intensity. *Limnol Ocean* 1(1): 61-70.
- Singh, D., 2007. Biosorption of Copper(II) from Aqueous Solution by Non-Living *Spirogyra* sp. *J Environ Resear Develop* 1(3): 227-231.
- Sulfahri, Y.S., Wulanmanuhara. 2013. Effect of salinity and Gandasil D[®] on *Spirogyra hyaline* Biomass in Non-aerated Culture. *J. Applied Phytotecnol in Environ Sanit:* 2(2): 53-58.
- Walpole, R.E., 1993. Pengantar statistika, ed ke-3. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.