

Pertumbuhan dan kandungan nutrisi *Spirulina* sp. pada fotoperiode yang berbeda

Growth performance and nutrition value of *Spirulina* sp. under different photoperiod

Tatag Budiardi*, Nur Bambang Priyo Utomo, Asep Santosa

Departement of Aquaculture, Faculty of Fisheries and Marine Sciences,
Bogor Agricultural University

*Email: tatagbdp@yahoo.com

ABSTRACT

This study was conducted to analyze the production of freshwater *Spirulina* sp. cultured with photoperiod manipulation treatment. In this study, photoperiod manipulation treatment performed on cultured spirulina using fiber tanks (100 L). *Spirulina* was grown with different photoperiod (bright/T and dark/G) that are six hours per day (6T-18G), 12 hours per day (12T-12G), 18 hours per day (18T-6G), and 24 hours per day (24L-0G). The parameters were observed include dry biomass, population density (N), specific growth rate (SGR), doubling time (G), proximate analysis, and water quality. The results of this study showed that the optimum population density was achieved on day-3 days of cultured, and manipulation photoperiod showed no significant effect to the dry biomass harvest and population density, but significantly affect the specific growth rate and doubling time. Treatment of lighting 12, 18 and 24 hours per day to produce the maximum specific growth rate (0,345 to 0,366 per day) and a maximum doubling time (1,89 to 2,01 days) were not significantly different, whereas the old treatment six hours per day lighting showed the lowest maximum growth rate (0,323 per day) and highest doubling time (2,15 days). At treatment of lighting 12 hours per day, relatively higher protein content (39,73%) than others. In conclusion, the lighting 12 hours per day resulted in optimum production efficiency than other treatments.

Keywords: *Spirulina* sp., photoperiod, density, biomass, growth, nutrition value.

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis produksi spirulina *Spirulina* sp. air tawar yang dikultur dengan manipulasi fotoperiode. Dalam penelitian ini, spirulina dikultur dalam wadah fiber 100 L dengan perlakuan fotoperiode (terang/T dan gelap/G) berbeda, yaitu enam jam per hari (6T-18G), 12 jam per hari (12T-12G), 18 jam per hari (18T-6G), dan 24 jam per hari (24T-0G). Parameter yang diamati meliputi biomassa kering, kepadatan populasi (N), laju pertumbuhan spesifik (SGR), waktu penggandaan (G), dan analisis proksimat spirulina, serta kualitas air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kepadatan populasi optimum dicapai pada hari ke-3 umur kultur dan manipulasi fotoperiode tidak berpengaruh nyata terhadap hasil biomassa kering dan kepadatan populasi, namun secara nyata mempengaruhi laju pertumbuhan dan waktu penggandaan. Perlakuan pencahayaan 12, 18 dan 24 jam per hari menghasilkan laju pertumbuhan spesifik maksimum (0,345 sampai dengan 0,366 per hari) dan waktu penggandaan maksimum (1,89 sampai dengan 2,01 hari) yang tidak berbeda nyata, sedangkan perlakuan pencahayaan enam jam per hari menunjukkan laju pertumbuhan maksimum terendah (0,323 per hari) dan waktu penggandaan tertinggi (2,15 hari). Pada perlakuan pencahayaan 12 jam per hari, kandungan protein relatif lebih tinggi (39,73%) dari yang lain. Secara umum dapat disimpulkan bahwa pencahayaan 12 jam per hari menghasilkan efisiensi produksi yang lebih baik daripada perlakuan lainnya.

Key word: *Spirulina* sp., fotoperiode, kepadatan, biomassa, pertumbuhan, kandungan nutrisi.

PENDAHULUAN

Didalam bidang akuakultur, mikroalga digunakan sebagai pakan alami pada kegiatan budidaya, terutama pada segmen pembenihan ikan, udang dan abalone. Namun pada per-

kembangan selanjutnya, kegiatan budidaya mikroalga telah menjadi bagian tersendiri dalam kegiatan akuakultur. Hal ini karena perkembangan produk budidaya mikroalga yang sangat pesat dalam memenuhi fungsinya sebagai bahan pangan untuk kebutuhan

manusia secara langsung. Bahkan, beberapa jenis mikroalga telah dipastikan menjadi bahan baku obat-obatan untuk kesehatan manusia. Selain itu, kemampuan mikroalga dalam memanfaatkan senyawa anorganik memunculkan tujuan baru dalam budidaya mikroalga, yaitu sebagai organisme yang berperan dalam pengolahan limbah perairan. Dalam wacana krisis energi, mikroalga merupakan salah satu harapan sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dalam bentuk biodiesel.

Pemanfaatan spirulina telah berkembang dari asalnya sebagai pakan alami ikan dan makanan pada manusia menjadi bahan baku kimia untuk bidang medis, penelitian biologi, dan kosmetik. Dengan adanya manfaat-manfaat tersebut, spirulina diprediksi akan menjadi salah satu spesies yang penting dalam industri bioteknologi mikroalga beberapa dekade ke depan (Hu, 2004b). Berbagai bentuk keunggulan tersebut menjadikan budidaya mikroalga sangat penting untuk terus diteliti lebih lanjut dan dikembangkan menjadi salah satu industri akuakultur.

Salah satu jenis mikroalga yang banyak diteliti adalah *Spirulina* sp. Spirulina merupakan alga berwarna biru-hijau yang digolongkan ke dalam *cyanobacteria*, bersel satu dan berbentuk spiral. Berdasarkan habitatnya, spirulina dapat berkembang dengan baik pada perairan tropis dan subtropis, baik pada perairan tawar maupun perairan laut.

Spirulina memiliki kandungan nutrisi tinggi sehingga digunakan sebagai bahan makanan kesehatan. Fikri (2006) menjelaskan, bahwa spirulina mengandung 5 zat gizi utama, yaitu: 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). Oleh karena itu, spirulina dapat berfungsi sebagai antioksidan (mencegah kanker dan radikal bebas), meningkatkan sistem imunitas tubuh (daya tahan terhadap fluktuasi lingkungan dan serangan penyakit), serta merendahkan kolesterol.

Dalam bidang akuakultur, spirulina banyak digunakan sebagai suplemen yang

ditambahkan di dalam pakan. Vonshak (1997b) menyebutkan bahwa ikan yang diberi pakan dengan tambahan 0,5-1% spirulina menunjukkan peningkatan laju pertumbuhan sebesar 17-25% dan penurunan tingkat kematian sebesar 30-50%. Selain itu, spirulina juga berperan sebagai imunostimulan bagi ikan. Penelitian yang dilakukan Hironobu *et al.* (2006) pada ikan mas *Cyprinus carpio* menunjukkan bahwa telah terjadi pengurangan jumlah bakteri *Aeromonas hydrophila* pada bagian hati dan jantung ikan yang diberi tambahan spirulina pada pakannya. Hal ini membuktikan bahwa spirulina mampu merangsang sistem imunitas alami pada ikan.

Cahaya merupakan salah satu faktor lingkungan yang sangat berpengaruh dalam budidaya mikroalga, karena cahaya merupakan bagian yang sangat penting dalam fotosintesis yang menyediakan energi bagi kehidupan mikroalga. Penelitian Diharmi (2001) menunjukkan bahwa perlakuan manipulasi fotoperiode (lama pencahayaan) dan intensitas cahaya memberikan pengaruh yang nyata terhadap kandungan pigmen bioaktif (klorofil-a, karotenoid, dan piktosianin) spirulina air laut spesies *Spirulina platensis*. Perlakuan yang sama diharapkan dapat diterapkan pada spirulina air tawar untuk menganalisis pengaruh manipulasi fotoperiode terhadap produksi spirulina. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh fotoperiode dalam kultur spirulina air tawar terhadap efisiensi produksinya.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan empat perlakuan dan masing-masing diulang dua kali. Pada penelitian ini digunakan cahaya berintensitas antara 2500-3000 lux dengan perlakuan manipulasi fotoperiode sebagai berikut:

- 1) Perlakuan 6T-18G: dalam 24 jam dilakukan pencahayaan 6 jam terang dan 18 jam gelap.
- 2) Perlakuan 12T-12G: dalam 24 jam dilakukan pencahayaan 12 jam terang dan 12 jam gelap.

- 3) Perlakuan 18T-6G: dalam 24 jam dilakukan pencahayaan 18 jam terang dan 6 jam gelap.
- 4) Perlakuan 24T-0G: dalam 24 jam dilakukan pencahayaan 24 jam terang dan 0 jam gelap.

Kultur spirulina

Penelitian ini dilakukan dengan mengkultur *Spirulina* sp. berskala massal dalam bak fiber 100 liter. Untuk mencapai kultur massal 100 liter, dilakukan kultur secara bertingkat. Kultur dimulai dari skala laboratorium 1 liter dalam wadah bervolume 3 liter dan kultur 10 liter dalam wadah bervolume 15 liter. Pada kultur tahap pertama, wadah kultur diisi air mineral dan dilakukan pemupukan dengan rasio nitrogen-fosfat (N/P) sebesar 12:1 sebagai media kultur. Komposisi pupuk yang digunakan adalah: NaNO₃ 500 mg/L, NaH₂PO₄ 200 mg/L, MgSO₄ 100 mg/L, FeCl₃ 1,5 mg/L, K₂SO₄ 1,5 mg/L, Na-EDTA 1 mg/L, dan vitamin B12 0,1 mg/L. Setelah siap, media kultur diinokulasi dengan spirulina.

Setelah mencapai kepadatan maksimal, kultur spirulina 1 liter dilanjutkan pada skala kultur 10 liter. Komposisi dan dosis pupuk yang digunakan sama dengan tahap kultur sebelumnya. Wadah kultur 15 liter diisi air sebanyak 9 liter dan dipupuk. Setelah media siap, inokulan spirulina yang berasal dari kultur 1 liter dimasukkan ke dalam media kultur tersebut. Hasil kultur skala 10 liter kemudian digunakan untuk inokulan pada kultur skala 100 liter.

Kultur skala massal dilakukan dalam bak fiber bervolume 100 liter sebanyak 4 buah. Inokulan yang digunakan untuk kultur massal ini adalah spirulina hasil kultur skala 10 liter. Komposisi pupuk pada skala massal berbeda dengan skala laboratorium karena lebih banyak menggunakan pupuk konvensional. Pemupukan pada skala massal ini menggunakan rasio nitrogen-fosfat (N/P) 12:1 dengan komposisi pupuk berupa pupuk urea 240 mg/L, pupuk TSP 45 mg/L, dan pupuk ZA 150 mg/L, FeCl₃ 3 mg/L, Na-EDTA 7,5 mg/L, vitamin B12 0,015 mg/L, NaNO₃ 50 mg/L, NaH₂PO₄ 20 mg/L, MgSO₄ 10 mg/L, dan K₂SO₄ 0,15 mg/L. Setelah siap, media

kultur diinokulasi spirulina dengan kepadatan 8,0 x 10³ sel/ml.

Setiap bak kultur diberi fotoperiode sesuai dengan perlakuan. Perbedaan lama pencahayaan dilakukan dengan cara menutup dan membuka plastik yang menutupi bak kultur sesuai dengan lama pencahayaan yang dikehendaki.

Pemanenan

Pemanenan spirulina dilakukan pada saat kultur telah mencapai puncak populasi. Indikator puncak populasi adalah perubahan warna pada media kultur dan jumlah populasi berdasarkan pola pertumbuhan. Kultur yang sudah mencapai puncak populasi dipanen dengan terlebih dahulu mematikan aerasi dan kemudian spirulina disaring dengan *plankton net*.

Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan selama penelitian meliputi biomassa panen, kepadatan populasi, serta kualitas air. Biomassa panen ditimbang menggunakan timbangan digital pada akhir penelitian berdasarkan bobot kering dari spirulina yang dipanen. Kepadatan populasi spirulina diamati dengan bantuan hemositometer dan mikroskop. Sel spirulina yang dihitung merupakan sel spirulina yang utuh, yaitu berbentuk seperti grafik sinusoid dengan metode *field counting*, dengan rumus:

$$N = (C \times 10^4) / (A \times D)$$

Keterangan:

N = Kepadatan populasi spirulina (sel/ml)

C = Jumlah sel yang terhitung

A = Luas lapangan pandang (mm²)

D = Kedalaman lapangan pandang (mm)

Analisis proksimat digunakan untuk menganalisis kandungan nutrisi spirulina yang meliputi protein, lemak, serat kasar, kadar abu, dan bahan ekstrak tanpa nitrogen (BETN). Spirulina yang dianalisis proksimat merupakan hasil panen pada akhir penelitian, yaitu setelah ditimbang untuk menentukan biomasanya.

Parameter kualitas air yang diukur selama penelitian ini meliputi suhu, pH, intensitas cahaya, kadar nitrat, kadar fosfat, nilai alkalinitas, kadar CO₂, dan oksigen terlarut

(DO). Pengukuran suhu, pH, dan DO dilakukan setiap hari, sedangkan pengukuran intensitas cahaya, kadar nitrat, kadar fosfat, nilai alkalinitas, dan nilai CO₂ dilakukan pada awal dan akhir penelitian.

Pengolahan dan analisis data

Data yang diperoleh selama penelitian diolah dan dianalisis untuk menjadi data acuan pembahasan, yang meliputi parameter biomassa panen, kepadatan populasi, laju pertumbuhan spesifik (LPS), waktu penggandaan (G), dan kandungan nutrisi. Laju pertumbuhan spesifik dihitung dengan rumus (Vonshak, 1997a):

$$\mu = (\ln N_t - \ln N_0)/t$$

Keterangan:

μ = Laju pertumbuhan spesifik (hari⁻¹)

N_0 = Kepadatan populasi spirulina awal (sel/ml)

N_t = Kepadatan populasi spirulina akhir (sel/ml)

t = Selang waktu dari N_0 ke N_t (hari)

Waktu penggandaan dihitung dengan rumus (Vonshak, 1997a):

$$G = \ln 2/\mu = 0,693/\mu \text{ 0.0.}\pm$$

Keterangan:

G = Waktu penggandaan (hari)

μ = Laju pertumbuhan spesifik (pembelahan/hari)

Data dianalisis ragam (anova) dengan tingkat kepercayaan 95% menggunakan bantuan program Microsoft Excel 2007 dan SPSS 16.0. Jika terdapat perbedaan yang nyata, maka analisis dilanjutkan dengan uji Tukey. Data kandungan nutrisi dan kualitas air dianalisis secara deskriptif dengan penyajian gambar dan tabel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Dari pengamatan yang telah dilakukan, diperoleh data mengenai biomassa panen, kepadatan populasi, laju pertumbuhan spesifik (LPS), waktu penggandaan (G), kandungan nutrisi, dan kualitas air.

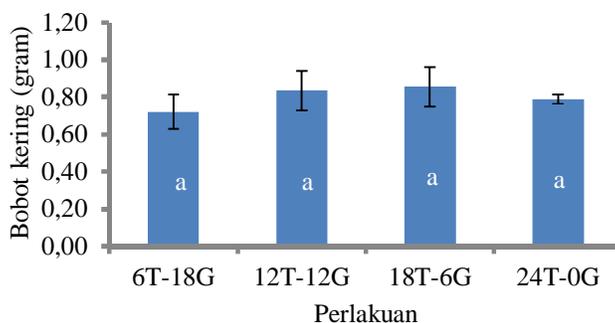
Biomassa panen

Biomassa panen rata-rata yang dihasilkan dari masing-masing perlakuan adalah 0,72 gram (6T-18G), 0,84 gram (12T-12G), 0,85 gram (18T-6G), dan 0,79 gram (24T-0G). Pada Gambar 1 diperlihatkan bahwa perlakuan fotoperiode tidak berpengaruh nyata ($P>0,05$) terhadap biomassa panen.

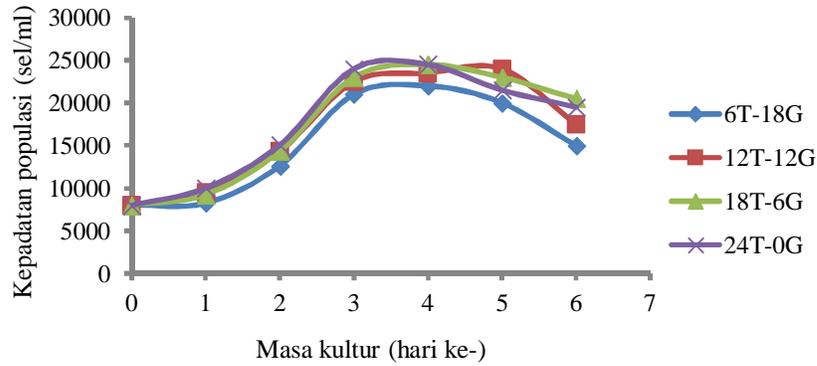
Kepadatan populasi

Berdasarkan Gambar 2, kepadatan populasi maksimum (puncak populasi) setiap perlakuan dicapai pada waktu yang relatif sama. Kepadatan populasi maksimum pada perlakuan 6T-18G adalah $2,2 \times 10^4$ sel/ml pada hari ke-4 masa kultur, pada perlakuan 12T-12G mencapai $2,4 \times 10^4$ sel/ml pada hari ke-5 masa kultur, pada perlakuan 18T-6G mencapai $2,4 \times 10^4$ sel/ml pada hari ke-4 masa kultur, serta pada perlakuan 24T-0G dengan kepadatan populasi $2,4 \times 10^4$ sel/ml yang dicapai pada hari ke-4 masa kultur.

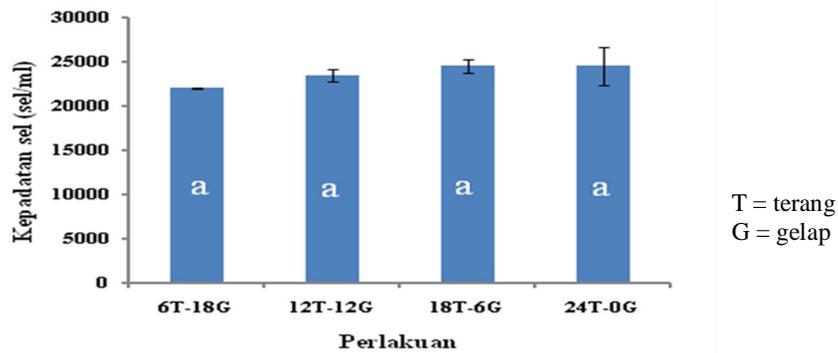
Pengaruh perlakuan terhadap pencapaian kepadatan maksimum dianalisis melalui kepadatan pada saat puncak populasi (hari ke-4 masa kultur). Pada Gambar 3 dijelaskan, bahwa perlakuan tidak memberikan pengaruh yang nyata ($P>0,05$) terhadap kepadatan populasi maksimum.



Gambar 1. Pengaruh fotoperiod terhadap produksi biomassa *Spirulina* sp. Keterangan: T = terang; G = gelap. Huruf yang sama pada histogram menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata ($P>0,05$).



Gambar 2. Kepadatan populasi *Spirulina* sp. selama pemeliharaan. Keterangan: T = terang; G = gelap.



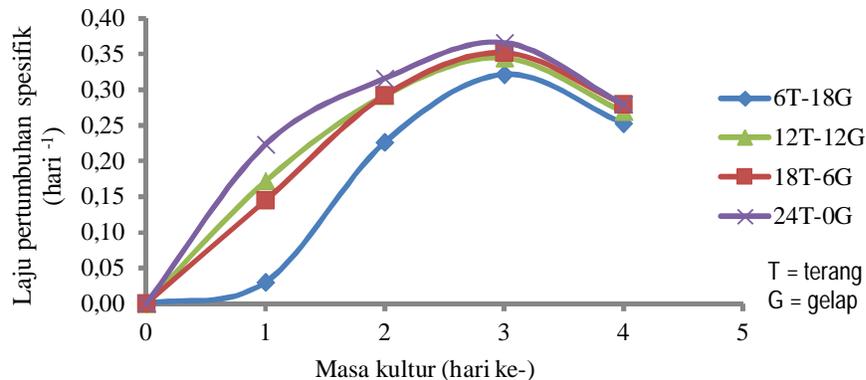
Gambar 3. Kepadatan populasi spirulina pada saat puncak populasi. Keterangan: T = terang; G = gelap. Huruf yang sama pada histogram menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata ($P > 0,05$).

Laju pertumbuhan spesifik

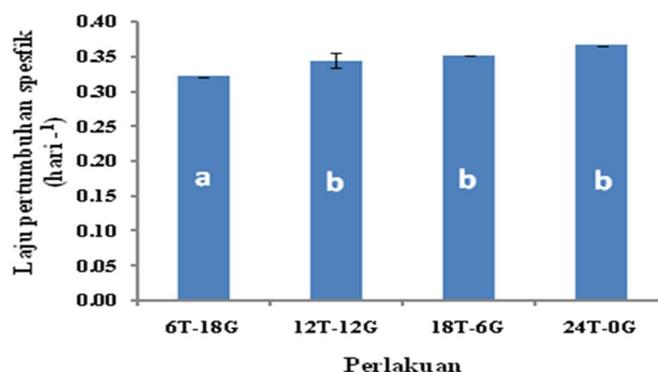
Laju pertumbuhan spesifik merupakan parameter yang menggambarkan kecepatan pertambahan sel spirulina per satuan waktu. Laju pertumbuhan spesifik dihitung sampai pada saat tercapai kepadatan maksimum (hari ke-4 kultur). Grafik laju pertumbuhan spesifik pada masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4, laju pertumbuhan spesifik maksimum pada semua perlakuan

dicapai pada hari ke-3 masa kultur. Laju pertumbuhan spesifik maksimum pada masing-masing perlakuan sebesar 0,366 per hari (24T-0G), 0,353 per hari (18T-6G), 0,345 per hari (12T-12G), dan 0,323 per hari (6T-18G). Berdasarkan Gambar 5, diketahui bahwa laju pertumbuhan spesifik maksimum tersebut pada tiga perlakuan tidak menunjukkan perbedaan yang nyata ($P > 0,05$), kecuali pada perlakuan 6T-18G yang menunjukkan hasil terendah ($P < 0,05$).



Gambar 4. Laju pertumbuhan spesifik *Spirulina* sp.



Gambar 5. Laju pertumbuhan spesifik *Spirulina* sp. maksimum (pada hari ke-3). Keterangan: T = terang; G = gelap. Huruf yang sama pada histogram menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata ($P > 0,05$).

Waktu penggandaan

Waktu penggandaan merupakan waktu yang dibutuhkan sel untuk menggandakan populasi. Hasil pengamatan terhadap waktu penggandaan pada masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6, waktu penggandaan maksimum *Spirulina* sp. pada perlakuan 24T-0G mencapai 1,89 hari, pada perlakuan 18T-6G mencapai 1,97 hari, pada perlakuan 12T-12G mencapai 2,01 hari, dan perlakuan 6T-18G mencapai 2,15 hari.

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap waktu penggandaan maksimum, dilakukan analisis statistik terhadap waktu penggandaan pada hari ke-3. Dari analisis statistik disimpulkan, bahwa perlakuan memberikan pengaruh yang nyata terhadap waktu penggandaan ($P < 0,05$) seperti yang tertera pada Gambar 7.

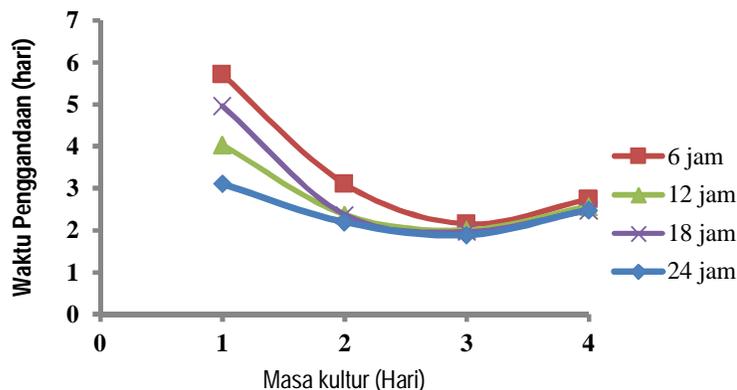
Analisis proksimat

Pada Tabel 1 tertera hasil analisis proksimat spirulina yang dipanen pada umur

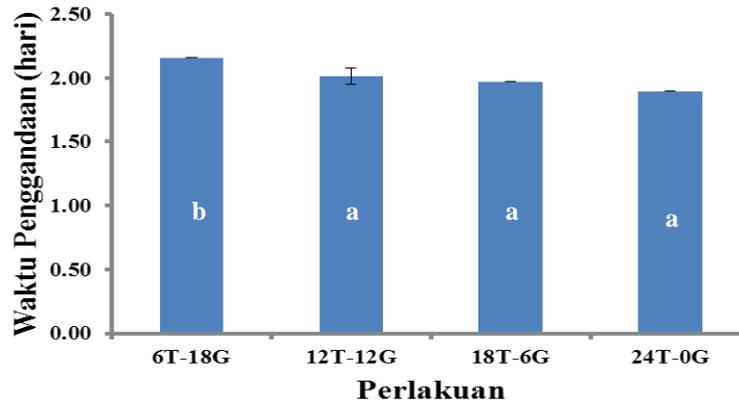
6 hari pemeliharaan. Perlakuan 12T-12G menghasilkan kandungan protein (39,73 %) yang relatif lebih tinggi dari perlakuan lainnya, sedangkan kadar protein yang relatif rendah dibandingkan perlakuan lainnya didapatkan pada perlakuan 24T-0G. Berdasarkan Tabel 1 diketahui pula bahwa kandungan lemak pada perlakuan 6T-18G (10,35 %) relatif lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Sedangkan kisaran nilai parameter kualitas air selama penelitian tertera pada Tabel 2.

Pembahasan

Biomassa yang dihasilkan pada penelitian ini dalam volume media kultur 100 liter berkisar antara 0,72-0,85 gram. Pada penelitian Rafiqul *et al.* (2005), kultur *Spirulina fusiformis* menggunakan medium Zarouk selama 24 hari dengan pencahayaan yang terus-menerus dan dalam kondisi lingkungan yang optimal menghasilkan biomassa sebanyak 2,90 gram/l.



Gambar 6. Waktu penggandaan *Spirulina* sp.



Gambar 7. Waktu penggandaan *Spirulina* sp. maksimum (pada hari ke-3). T = terang; G = gelap. Huruf yang sama pada histogram menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata ($P > 0,05$).

Tabel 1. Data proksimat *Spirulina* sp. pada perlakuan fotoperiode.

Perlakuan	Protein (%)	Lemak (%)	Serat Kasar (%)	Kadar Abu (%)	BETN (%)
6T-18G	39,07	10,35	td	22,03	td
12T-12G	39,73	9,76	5,72	19,36	25,42
18T-6G	38,73	9,64	2,34	20,87	27,71
24T-0G	34,89	7,60	1,95	33,72	21,83

T = terang; G = gelap; td = tidak ada data.

Biomassa yang dihasilkan dari penelitian ini jauh lebih rendah karena medium yang digunakan pada penelitian ini hanya menggunakan pupuk konvensional (yang komposisi nutriennya tidak selengkap medium Zarouk) dan waktu panen kultur yang jauh lebih singkat yaitu 6 hari.

Pertumbuhan spirulina pada penelitian ini menunjukkan terjadinya pola umum pertumbuhan alga yang terbagi dalam fase *lag*, fase eksponensial, fase penurunan laju pertumbuhan, fase stasioner, dan fase kematian. Fase *lag* pada perlakuan 6T-18G terlihat dengan jelas, sedangkan pada perlakuan lainnya tidak terlihat dengan jelas. Fase *lag* pada perlakuan 6T-18G (hari ke-0 - hari ke-1) disebabkan karena lama pencahayaan selama 6 jam per hari tidak cukup menyediakan energi bagi sel spirulina untuk melakukan penggandaan sel (bereproduksi). Fase tersebut juga menunjukkan, bahwa sel spirulina belum bisa beradaptasi dengan lama pencahayaan yang diberikan.

Fase *lag* yang terjadi pada perlakuan 12T-12G, 18T-6G, dan 24T-0G pada penelitian ini diduga terjadi dalam waktu singkat

sehingga tidak terlihat jelas pada pengamatan dalam selang waktu 24 jam. Hal ini sesuai dengan apa yang dinyatakan Fogg (1975), bahwa pada kurva pertumbuhan terkadang memperlihatkan pola pertumbuhan yang tidak lengkap. Hal ini bukan karena tidak adanya salah satu fase, tetapi fase tersebut berlangsung sangat cepat sehingga sulit untuk digambarkan. Hu (2004a) menyatakan, bahwa adanya perbedaan penampakan fase *lag* tersebut membuktikan adanya faktor yang mempengaruhi fotosintesis akan mempengaruhi pertumbuhan sel spirulina.

Fase eksponensial pada semua perlakuan berlangsung pada hari ke-1 sampai hari ke-3 masa kultur. Fase eksponensial ditandai dengan naiknya laju pertumbuhan sehingga kepadatan populasi meningkat. Pada fase ini, pesatnya laju pertumbuhan menyebabkan meningkatnya kepadatan populasi beberapa kali lipat. Terjadi peningkatan populasi karena sel alga sedang aktif berkembang biak dan terjadi pembentukan protein dan komponen-komponen penyusun plasma sel yang dibutuhkan dalam pertumbuhan (Winarti, 2003).

Tabel 2. Kisaran nilai parameter kualitas air.

Parameter	Satuan	Awal penelitian	Akhir penelitian
Suhu	°C	26,0-27,0	27,6-28,0
pH	-	7,92-8,23	6,97-8,09
Intensitas cahaya	Lux	2500-3000	2500-3000
Nitrat	mg/L	1,042-1,221	0,684-0,870
Fosfat	mg/L	0,837-1,020	0,546-0,821
CO ₂	mg/L	8,85-13,20	13,98-17,12
Alkalinitas	mg/L	51,74-67,67	61,03-68,99

Fase yang terjadi setelah fase eksponensial adalah fase penurunan laju pertumbuhan. Fase penurunan laju pertumbuhan terjadi dengan berakhirnya fase eksponensial. Pada Gambar 2 terlihat fase ini terjadi antara hari ke-3 sampai hari ke-4 masa kultur yang ditandai dengan adanya penambahan jumlah sel namun tidak dalam jumlah yang besar seperti dalam fase eksponensial. Pada fase penurunan laju pertumbuhan ini, kepadatan sel masih terus meningkat sampai mencapai puncak populasi.

Penurunan laju pertumbuhan terjadi karena sel mulai mengalami kekurangan nutrisi (nitrogen dan fosfat) dan akibat adanya pembentukan bayangan dari sel itu sendiri (*self-shading*). Menurut Vonshak (1997a) peningkatan konsentrasi sel dalam kultur akan meningkatkan *self-shading* yang selanjutnya menurunkan laju pertumbuhan. Pembentukan bayangan dari sel spirulina berjalan seiring dengan meningkatnya kepadatan sel. Semakin meningkat kepadatan sel, maka penetrasi cahaya pada media akan semakin terhambat. Hal ini mengakibatkan adanya bagian atau sisi dari media kultur yang tidak menerima cahaya yang cukup. Sel spirulina yang berada pada bagian yang kurang cahaya kemungkinan tidak bisa melakukan fotosintesis secara optimal. Seperti yang disebutkan sebelumnya, bahwa fotosintesis merupakan faktor yang bisa mempengaruhi pertumbuhan sel spirulina. Ketidakefektifan fotosintesis pada bagian yang kurang cahaya akan mengakibatkan pertumbuhan spirulina terganggu atau bahkan tidak terjadi sama sekali. Hal ini selanjutnya mengakibatkan penambahan sel mulai menurun.

Puncak populasi terjadi setelah fase penurunan pertumbuhan. Puncak populasi pada setiap perlakuan dicapai pada waktu yang relatif sama yaitu pada hari ke-4 masa kultur dan dengan kepadatan sel maksimum yang sama pula.

Fase selanjutnya adalah fase stasioner. Menurut Winarti (2003), fase pertumbuhan stasioner ditandai dengan seimbangannya laju pertumbuhan dengan laju kematian, karena penambahan kepadatan populasi seimbang dengan laju kematian sehingga tidak ada lagi pertumbuhan populasi. Pada penelitian ini, fase stasioner pada setiap perlakuan tidak terlihat dengan jelas. Hal ini kemungkinan karena fase stasioner berlangsung dengan cepat sehingga tidak teramati dalam selang waktu 24 jam.

Fase terakhir adalah fase kematian. Berdasarkan Gambar 2, fase kematian dapat diketahui dari terjadinya penurunan kepadatan populasi pada semua perlakuan setelah kultur mencapai puncak populasi, yaitu setelah hari ke-4 masa kultur. Fogg (1975) menyatakan, bahwa peningkatan populasi alga yang terjadi akan menyebabkan nutrisi berkurang sangat cepat dan berpengaruh terhadap penurunan laju pertumbuhan, serta dilanjutkan pada fase stasioner dan fase kematian. Fase kematian ditandai dengan kepadatan populasi yang terus berkurang karena laju kematian lebih tinggi dari laju pertumbuhan. Meningkatnya laju kematian disebabkan oleh penurunan jumlah nutrisi pada tingkat yang tidak mampu lagi untuk menunjang berlanjutnya pertumbuhan dan terbentuknya buangan metabolik yang melampaui tingkat toleransi (Mc Vey, 1983 dalam Winarti, 2003).

Menurut Becker (1994) dalam Winarti (2003) pada fase kematian terjadi penurunan produksi biomassa secara cepat karena sel mengalami kematian dan lisis. Kematian populasi ini disebabkan antara lain oleh terbatasnya nutrisi dan suplai cahaya, umur sel yang sudah tua, kondisi lingkungan yang tidak lagi mendukung, atau kontaminasi oleh mikroorganisme lain.

Laju pertumbuhan spesifik merupakan parameter yang menggambarkan kecepatan pertambahan sel spirulina per satuan waktu. Dari hasil pengamatan terhadap laju pertumbuhan spesifik juga dapat diketahui waktu ideal pemanenan sel spirulina. Waktu panen yang ideal adalah ketika laju pertumbuhan spesifik mencapai nilai maksimum, karena pada saat tersebut biomassa sel spirulina mencapai konsentrasi yang optimum. Menurut Vonshak (1997a), konsentrasi biomassa yang optimum akan berkorelasi dengan produktivitas tertinggi. Gambar 4 memperlihatkan, bahwa laju pertumbuhan spesifik maksimum dicapai pada hari ke-3 masa kultur. Dengan demikian, waktu panen ideal pada penelitian ini adalah pada hari ke-3 masa kultur.

Walaupun laju pertumbuhan spesifik maksimum terjadi pada waktu yang bersamaan, laju pertumbuhan pada perlakuan 6T-18G memperlihatkan nilai yang lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya. Adanya perbedaan ini diduga karena adanya lama pencahayaan yang berbeda sehingga menghasilkan laju pertumbuhan sel yang berbeda. Menurut Fogg (1975), cahaya merupakan sumber energi yang diperlukan dalam proses fotosintesis, serta jumlah energi yang diterima bergantung pada kualitas, kuantitas dan periode penyinaran.

Waktu penggandaan merupakan waktu yang dibutuhkan sel untuk menggandakan populasi. Dari pengertian tersebut, nilai maksimum pada waktu penggandaan merupakan angka terkecil yang dicapai pada setiap perlakuan. Semakin tinggi nilai waktu penggandaan, maka semakin banyak waktu yang dibutuhkan sel untuk penggandaan. Sebaliknya, semakin rendah nilai waktu penggandaan, maka semakin sedikit waktu yang dibutuhkan sel untuk penggandaan. Waktu penggandaan maksimum dicapai

ketika laju pertumbuhan spesifik juga mencapai maksimum. Oleh karena itu, pada penelitian ini waktu penggandaan maksimum dan laju pertumbuhan spesifik maksimum dicapai pada waktu yang sama yaitu pada hari ke-3 masa kultur, saat fase pertumbuhan yang berlangsung adalah fase eksponensial.

Pada saat mencapai nilai maksimum (hari ke-3 masa kultur), perlakuan 24T-0G, 18T-6G, dan 12T-12G menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata, sedangkan perlakuan 6T-18G menunjukkan waktu penggandaan yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya.

Waktu penggandaan merupakan salah satu parameter yang menggambarkan kecepatan pertumbuhan. Perlakuan 6T-18G menghasilkan pertumbuhan lebih lambat jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal ini dikarenakan proses fotosintesis pada perlakuan tersebut tidak terjadi secara optimal akibat kurangnya cahaya. Fotosintesis yang tidak optimal tersebut selanjutnya akan mengakibatkan proses perolehan energi menjadi tidak optimal, sehingga energi untuk proses pertumbuhan kurang tersedia dengan baik.

Kandungan nutrisi *Spirulina* sp. merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam menentukan kualitas produk kultur yang dihasilkan. Adanya kecenderungan perbedaan kandungan nutrisi khususnya kandungan protein dan lemak merupakan akibat dari pengaruh pemberian lama pencahayaan yang berbeda. Menurut Hu (2004a), adanya faktor yang mempengaruhi fotosintesis akan mempengaruhi pula pertumbuhan, susunan biokimia dan genetik pada sel. Selanjutnya dinyatakan pula, bahwa respons seluler mikroalga ketika intensitas cahaya berkurang adalah dengan meningkatkan klorofil-a dan pigmen-pigmen lain yang berfungsi sebagai pemanen cahaya. Dengan demikian, dapat dijelaskan bahwa pada perlakuan dengan lama pencahayaan yang lebih singkat, kandungan proteinnya lebih tinggi. Namun pada perlakuan 6T-18G, protein yang terkandung dalam spirulina cenderung lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya. Protein tersebut diduga diurai kembali akibat cadangan makanan hasil fotosintesis kurang memenuhi

kebutuhan. Hal ini dijelaskan oleh Lakitan (2007), bahwa jika defisiensi bahan cadangan makanan terjadi sangat parah, maka protein juga dapat dioksidasi dan dihidrolisis menjadi asam-asam amino penyusunnya, yang kemudian diurai melalui reaksi-reaksi glikolitik dan siklus krebs.

Pada penelitian yang dilakukan Rafiqul *et al.* (2005), kandungan protein *Spirulina fusiformis* yang dikultur dalam medium Zarouk mencapai 61,8%. Jika dibandingkan dengan penelitian ini, kandungan protein spirulina pada setiap perlakuan jauh lebih rendah. Hal ini karena medium yang digunakan berbeda dan pada penelitian ini pemanenan dilakukan pada saat kultur mencapai fase kematian.

Menurut Cohen (1997), golongan *cyanobacteria* memiliki kandungan lemak yang rendah, *Spirulina* hanya mengandung 6-10% lemak yang setengahnya merupakan asam lemak. Kandungan lemak pada perlakuan 6T-18G relatif lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini dapat dijelaskan dari pendapat Hirano *et al.* (1990) dalam Cohen (1997) yang mengungkapkan, bahwa telah terjadi peningkatan relatif terhadap kandungan asam lemak pada *Spirulina* yang disimpan pada keadaan gelap dalam beberapa hari.

Pada penelitian ini, kisaran kualitas air masih berada dalam kondisi yang baik untuk pertumbuhan spirulina. Suhu pada saat penelitian mencapai kisaran 26-28°C. Payer *et al.* (1980) dalam Winarti (2003) menyatakan, bahwa suhu 25-30°C masih merupakan suhu optimal untuk pertumbuhan spirulina. Nilai derajat kemasaman (pH) media pada penelitian ini juga masih dalam kisaran yang cukup baik untuk pertumbuhan *Spirulina*. Ciferri (1983) dalam Winarti (2003) menyebutkan bahwa *Spirulina* dapat tumbuh dengan baik pada pH 8-9. Intensitas cahaya yang digunakan pada penelitian ini berkisar antara 2500-3000 lux (34-41 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Nilai ini masih jauh dibawah kisaran intensitas cahaya yang dapat mengakibatkan saturasi pada pertumbuhan spirulina (150-200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Kandungan nitrat dan fosfat pada akhir penelitian ini terlihat berkurang dibandingkan kandungan nitrat dan fosfat pada awal

penelitian. Hal ini menunjukkan bahwa nitrat dan fosfat digunakan oleh spirulina untuk memenuhi kebutuhan sel akan nutrien. Grobbelaar (2004) menyebutkan bahwa nitrogen dan fosfor merupakan unsur yang sangat penting bagi mikroalga. Nitrogen yang dibutuhkan biasanya didapatkan dalam bentuk nitrat (NO_3^-) sedangkan fosfor didapatkan dalam bentuk fosfat (PO_4^{3-}).

KESIMPULAN

Manipulasi fotoperiode tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap biomassa panen dan kepadatan populasi, namun berpengaruh nyata terhadap laju pertumbuhan spesifik dan waktu penggandaan. Kepadatan populasi optimum spirulina dicapai pada hari ke-3 masa kultur. Pencahayaan 12 jam per hari memiliki efisiensi produksi yang lebih baik daripada perlakuan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Cohen, Z. 1997. The Chemical of *Spirulina*. Di dalam Vonshak, A. (editor). *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology*. Taylor & Francis Ltd., Bristol, USA. hlm. 175-204.
- Diharmi, A. 2001. Pengaruh Pencahayaan terhadap Kandungan Pigmen Bioaktif Mikroalga *Spirulina platensis* Strain Lokal (INK). [Tesis]. Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Fikri. 2006. Kandungan Gizi *Spirulina*. <http://www.kesehatan-alami.com/sea-cucumber-spirulina-kandungan.php> [18 Maret 2008].
- Fogg, G.E. 1975. *Algae Culture and Phytoplankton Ecology*. The University of Wisconsin Press, London.
- Grobbelaar, J.U. 2004. Algal Nutrition: Mineral Nutrition. Di dalam Richmond, A.E. (editor). *Handbook of Microalgal Culture, Biotechnology And Applied Phycology*. Blackwell Publ Ltd., Iowa, USA. hlm. 97-115
- Hironobu W., Kazuki O., Malina, T.A.C, Toshimitsu K., Masahiro S. 2006. Immunostimulant Effects of Dietary *Spirulina platensis* on Carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 258, 1.

- Hu, Q. 2004a. Environmental Effect on Cell Composition. Di dalam Richmond, A.E. (editor). *Handbook of Microalgal Culture, Biotechnology and Applied Phycology*. Blackwell Publ Ltd., Iowa, USA. hlm: 84.
- Hu, Q. 2004b. Industrial Production of Microalgal Cell-mass and Secondary Products—Major Industrial Species: *Arthrospira (Spirulina) platensis*. Di dalam Richmond, A.E. (editor). *Handbook of Microalgal Culture, Biotechnology and Applied Phycology*. Blackwell Publ. Ltd., Iowa, USA. hlm: 264-272.
- Lakitan, B. 2007. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Rafiqul, I.M., Jalal, K.C.A., Alam, M.Z. 2005. Environmental Factors for Optimisation of *Spirulina* Biomass in Laboratory Culture. *Asian Network for Scientific Information, Biotechnology* 4(1): 19-22.
- Winarti. 2003. *Pertumbuhan Spirulina platensis yang dikultur dengan pupuk komersil (urea, TSP, dan ZA) dan kotoran ayam*. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Vonshak, A. 1997a. *Spirulina: Growth, Physiology and Biochemistry*. Di dalam: Vonshak A. (editor). *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology*. Taylor & Francis Ltd., Bristol, USA. hlm. 46-47.
- Vonshak, A. 1997b. *Use of Spirulina Biomass*. Di dalam: Vonshak A. (editor). *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology*. Taylor & Francis Ltd., Bristol, USA. hlm. 209.