Hayati, September 2002, hlm. 80-84 Vol. 9, No. 3
ISSN 0854-8587

Produksi Pigmen oleh *Spirulina platensis* yang Ditumbuhkan pada Media Limbah Lateks Pekat

Pigment Production by Spirulina platensis Cultured on Latex Concentrate Effluent

SUMINAR SETIATI ACHMADI[1*], JAYADI[1], TRI-PANJI[2]

[1]*Jurusan Kimia, FMIPA, Institut Pertanian Bogor, Jalan Raya Pajajaran, Bogor 16144*
[2]*Unit Penelitian Bioteknologi Perkebunan, Jalan Taman Kencana No. 1, Bogor 16151*

Diterima 2 Januari 2002/Disetujui 1 April 2002

***Spirulina platensis* was cultured in a medium of skim latex serum under aerated agitation and low intensity of sunlight. When pH of the medium was maintained at 8.3 and optical density of the culture was kept below 1.0, the productivity of biomass could reach 7.7 g m^{-2} d^{-1}. It is nevertheless lower than that of synthetic medium of 13.3305 g m^{-2} d^{-1}. The two methods yielded comparable biomass density of approximately 1 g l^{-1} medium. However, total biopigment produced in latex culture was 24% of the biomass dry-weight, or 1.5 times higher than that in the synthetic medium. The pigments consisted of 22% phycocyanin, 0.9% carotenoid, and 0.8% chlorophyll a relative to the total biomass. Pigment production decreased along with increasing optical density of the medium. This study revealed that latex serum could provide beneficial effect on pigment production by *S. platensis*.**

PENDAHULUAN

Spirulina platensis -secara taksonomi juga dikenal sebagai *Arthrospira platensis*- telah diproduksi dalam skala besar dalam bentuk pil dan serbuk untuk makanan kesehatan. Kandungan proteinnya yang mencapai hingga 70% dari bobot kering sel tergolong tinggi bagi organisme fotosintetik seperti tumbuhan. Kandungan asam nukleatnya rendah (<5%) dan aman sebagai pangan dan pakan (Ciferri 1983). Di Jepang, sianobakteri ini diekstraksi untuk diambil pigmen fikosianinnya dan diperdagangkan sebagai *Lina blue* yang digunakan untuk pewarna makanan, minuman, dan kosmetik (Dainippon Ink & Chemicals 1980). Kandungan karotenoidnya digunakan sebagai pakan untuk meningkatkan mutu warna ikan hias koi, udang, burung, ayam, dan kuning telur (Ciferri 1983, Lorenz 1999). Zat berpotensi lainnya ialah asam γ-linolenat (GLA) yang kadarnya juga tinggi dan diketahui bermanfaat bagi penderita hiperkolesterolemia (Achmadi *et al*. 2000).

Spirulina platensis tidak mampu menambat nitrogen dari atmosfer, oleh karena itu kebutuhan akan nitrogen sangat bergantung pada ketersediaan dalam media. Penambahan urea ternyata dapat meningkatkan perolehan pigmen baik dalam fase logaritmik maupun fase stasioner (Kurniasih 2001). Penggunaan serum lateks sebagai sumber nitrogen dalam media pertumbuhan *S. platensis* telah diketahui memberikan hasil yang cukup baik. Dengan pengenceran 20 kali, sianobakteri ini mampu tumbuh di dalam serum lateks, yakni limbah cair dari pabrik lateks pekat. Pertumbuhan sel mencapai maksimum selama 15 hari, menghasilkan biomassa sebanyak 3.1 g sel kering per liter media. Selama periode pertumbuhan, kadar oksigen kimia, N-total, dan N-amonia dalam media turun dari masing-masing 1 100, 152, dan 106 ppm menjadi 619, 89, dan 52 ppm (Tri-Panji *et al.* 1995). Jadi, pemanfaatan limbah ini untuk budi daya sianobakteri juga dapat menanggulangi pencemaran. Oleh sebab itu, penggunaan limbah untuk produksi biomassa sebagai penghasil protein sel tunggal (PST), GLA, dan pigmen yang bernilai ekonomi terus diteliti. Penelitian organisme berfilamen hijau-biru ini sebagai penghasil PST dan GLA telah dilaksanakan. Namun, pemanfaatan limbah cair lateks untuk menumbuhkan *S. platensis* sebagai penghasil biopigmen yang bernilai ekonomi belum dilakukan. Penelitian ini juga membandingkan kandungan pigmen (klorofil a, karotenoid, dan fikosianin) *S. platensis* hasil biakan dalam media cair lateks dengan biakan sintetik.

BAHAN DAN METODE

Spirulina platensis diperoleh dari Unit Penelitian Bioteknologi Perkebunan Bogor. Bahan yang digunakan untuk menganalisis kandungan pigmen adalah larutan baku klorofil a (C 6144, Sigma), α:β-karotena 2:3 (C 4582, Sigma), dan C-fikosianin (P 2172, Sigma).

Nutrien sintetik mengandung senyawa makro (g l^{-1}): $NaHCO_3$ 13.6; Na_2CO_3 4; K_2HPO_4 0.5; KNO_3 2.5; K_2SO_4 1; NaCl 1; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2; $CaCl_2$ 0.03; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.01; EDTA 0.08, dan senyawa mikro ditambahkan sebanyak 2 ml l^{-1} media dengan komposisi (g l^{-1}): H_3BO_3 2.86; $MnSO_4 \cdot 7H_2O$ 1.55; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.22; $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ 0.03;

* Penulis untuk korespondensi, Tel. +62-251-382572, Fax. +62-251-322196, E-mail: ssachmadi@cbn.net.id

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.079; $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 0.01, dan ditambah dengan larutan HCl hingga pH 8.3 (Tjahjadarmawan 1996).

Pembiakan *S. platensis*. Media limbah lateks 10% v/v dibuat dengan mencampur 1 bagian limbah cair lateks steril, 7 bagian air, dan 1 bagian nutrien sintetik, lalu diatur pHnya hingga 8.3 dengan HCl kemudian ditambah dengan 1 bagian bibit *S. platensis* (selanjutnya disebut biakan lateks). Bibit ini mengandung biomassa 1.0333 g setara-bobot-kering per liter air. Biakan sintetik sebagai pembanding dibuat dari campuran yang terdiri atas 1 bagian nutrien sintetik, 8 bagian air, dan 1 bagian bibit *S. platensis*. Media berikut sianobakteri ini dimasukkan ke dalam akuarium berbentuk bola (diameter 29 cm) pada suhu kamar, diaduk, dan diaerasi dengan pompa akuarium. Permukaan cairan dalam akuarium mencapai tinggi 30 cm. Akuarium diletakkan di ambang jendela yang terkena sinar matahari setiap hari. Produksi biomassa diukur dari rapat optis pada panjang gelombang 480 nm (OD_{480}) dan bobot kering sel. Produktivitas juga dinyatakan dalam bobot per m^2 luas permukaan cairan dalam akuarium per hari. Pengaruh intensitas matahari, suhu, pengadukan, dan pH media pertumbuhan terhadap OD_{480} diamati selama pembiakan *S. platensis*.

Persiapan Contoh. Bilamana OD_{480} telah mencapai 0.5, 1.0, 1.5, dan 2.0, contoh biakan sebanyak 100-250 ml disaring menggunakan cawan masir dan dicuci dengan 20 ml larutan HC l 0.005 N lalu dibilas dengan 40 ml air. Pelet yang diperoleh dikeringkan dalam oven 70^{0}C selama 24 jam lalu didinginkan dalam eksikator selama 20 menit kemudian ditimbang. Produk yang diperoleh, selanjutnya disebut contoh biomassa kering, dinyatakan dalam bobot kering bebas-garam basa (Vonshak 1997).

Analisis Klorofil a. Sebanyak 4-20 mg contoh biomassa kering masing-masing biakan diekstraksi dengan 2 x 5 ml metanol absolut, didisrupsi dengan gelombang sonik, dan diinkubasi pada suhu 70^{0}C selama 2 menit. Setelah itu campuran disentrifus, filtrat yang diperoleh diukur serapannya pada panjang gelombang 664 nm (Vonshak 1997).

Analisis Karotenoid. Sebanyak 4-20 mg biomassa kering masing-masing contoh diekstraksi dengan 5 ml metanol dan 5 ml dietil eter. Karotenoid pada fraksi metanol dengan bantuan larutan NaCl dialihkan ke dalam dietil eter. Gabungan fraksi eter disaponifikasi dengan 2 ml metanol-KOH (konsentrasi akhir basa 5%), diinkubasi selama 12 sampai 16 jam pada suhu ruang. Kelebihan basa pada filtrat dihilangkan dengan menambahkan air. Fase dietil eter kemudian diukur serapannya pada panjang gelombang 473 nm (Davies 1976).

Analisis Fikosianin. Sebanyak 4-20 mg contoh dari setiap biakan contoh diekstraksi dengan 10 ml bufer fosfat 100 mM (10.64 g l^{-1} K_2HPO_4 dan 5.29 g l^{-1} KH_2PO_4, pH 7) kemudian didisrupsi dengan gelombang sonik. Filtrat disentrifus dan diukur serapannya pada panjang gelombang 618 nm. Kadar fikosianin dari biomassa diperoleh dari serapan filtrat (Boussiba & Richmond 1979).

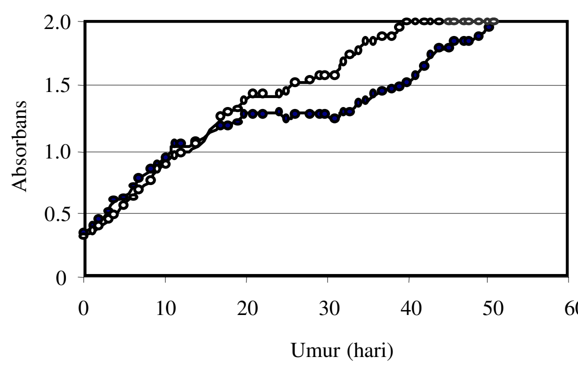
Analisis Statistik. Percobaan dilakukan dengan 3 kali ulangan kemudian hasilnya dirata-ratakan. Selanjutnya dilakukan uji beda berdasarkan pengelompokan Duncan pada taraf uji 1%.

HASIL

Produksi *S. platensis*. Kurva pertumbuhan *S. platensis* diperlihatkan pada Gambar 1. Laju pertumbuhan tidak terganggu hingga hari ke-12 sebagaimana tampak dari kurva dengan garis lurus. Selanjutnya, pertumbuhan di atas 12 hari (OD_{480} >1.0) dalam biakan lateks terlihat mengalami gangguan jika dibandingkan dengan biakan sintetik. Produktivitas tertinggi terjadi di awal pertumbuhan pada media yang memiliki OD rendah, dengan kadar nutrisi atau limbah yang lebih tinggi. Berdasarkan pengukuran biomassa, produksi maksimum dicapai pada media sintetik pada umur 40 hari sedangkan untuk media limbah, produksi yang sama baru tercapai setelah 50 hari.

Biomassa kering yang dipanen berdasarkan OD_{480} biakan menunjukkan bahwa produk biakan lateks hanya 58 sampai 73% bila dibandingkan dengan produk dari biakan sintetik (Tabel 1). Ada kemungkinan bahwa pengukuran produktivitas *Spirulina* berdasarkan OD_{480} dipengaruhi oleh kadar pigmen biomassa karena perubahan OD tidak berbanding lurus dengan perubahan bobot kering. Berdasarkan perhitungan, produktivitas maksimum pada biakan lateks dan sintetik keduanya dicapai pada nilai OD_{480} = 0.5, masing-masing 7.7 g bobot kering m^{-2} h^{-1} selama 3 hari dan 13.3 g bobot kering m^{-2} h^{-1} selama 4 hari.

Kadar Pigmen. Klorofil a merupakan salah satu parameter produktvitas pertumbuhan mikroorganisme fotosintetik. Gambar 2a memperlihatkan bahwa produksi dalam kedua biakan meningkat hanya hingga OD_{480} = 1.0. Keberadaan limbah lateks (penyedia NH_3) sedikit menambah kadar klorofil a pada biakan lateks di awal pertumbuhan, kemudian menurun pada OD_{480} = 1.5 dan 2.0. Gangguan pertumbuhan yang lebih



Gambar 1. Pertumbuhan *S. platensis* pada media sintetik (o) dan media mengandung 10% limbah lateks cair (•) berdasarkan rapat optis 480 nm ($OD_{480\ nm}$).

Tabel 1. Bobot biomassa kering *S. platensis* pada media yang mengandung 10% limbah lateks cair dan media sintetik pada berbagai rapat optis 480 nm ($OD_{480\ nm}$)

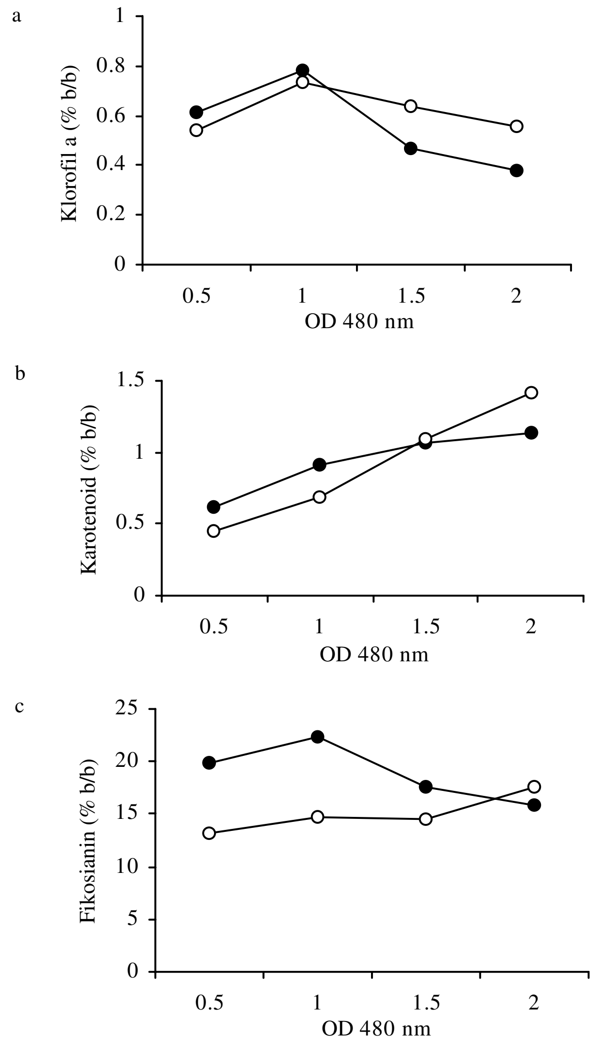
$OD_{480\ nm}$	Bobot biomassa kering (g m^{-2} h^{-1})	
	Lateks	Sintetik
0.5	7.6757	13.3305
1.0	4.6630	7.3541
1.5	4.6738	6.4574
2.0	4.1736	6.0707

berpengaruh pada biakan lateks diperlihatkan juga oleh turunnya kadar klorofil a yang lebih curam. Pada OD yang lebih tinggi (>1.0) kadar klorofil a menurun, tetapi produksi biomassa tetap naik. Ini memperlihatkan bahwa sianobakteri ini tidak lagi memproduksi klorofil a atau tidak aktif memproduksi sel muda tetapi melakukan penuaan sel.

Pola kurva kadar pigmen karotenoid pada Gambar 2b tampaknya tidak dipengaruhi oleh adanya nitrogen tambahan secara langsung. Akan tetapi karena karotenoid merupakan salah satu aksesori fotosintetik, kadarnya dapat dipengaruhi oleh pola sinar yang mengenai media pertumbuhan dan kadar pigmen lain. Akibatnya, kadar pigmen ini tetap bertambah hingga akhir pertumbuhan dan berbanding lurus dengan OD. Meskipun demikian, produksi karotenoid dalam biakan lateks tidak lagi dapat menyaingi produksi dalam biakan sintetik setelah OD_{480} = 1.5. Produksi karotenoid optimum yang dapat dicapai dalam biakan lateks hanya berkisar 1% b/b.

Fikosianin, yakni pigmen yang kadarnya tertinggi dibandingkan kedua pigmen terdahulu, memperlihatkan pola pertambahan yang berbeda (Gambar 2c). Dari empat daerah OD diperlihatkan adanya kenaikan kadar fikosianin pada OD_{480} = 1.0 (22.3% b/b bobot kering) kemudian menurun hingga OD_{480} = 2.0 (15.8% b/b), sedangkan pada biakan sintetik pertambahan kadar pigmen tidak terlalu nyata hingga OD_{480} = 1.5 (13.2-14.6% b/b), tetapi kadar pigmen ini naik pada akhir pertumbuhan dengan OD_{480} = 2.0.

Kadar pigmen total dari biakan lateks menurun dengan naiknya OD_{480}, yaitu dari 21 menjadi 17%, sedangkan dalam biakan sintetik menunjukkan kenaikan, dari 14 menjadi 19% (Tabel 2). Komposisi pigmen dalam *S. platensis* didominasi oleh fikosianin, yaitu rata-rata 92.6% dari total pigmen dalam biakan lateks dan 90.8% dalam biakan sintetik. Sementara itu, rata-rata kadar karotenoid dan klorofil a biomassa sel berturut-turut 4.7 dan 2.7% dalam biakan lateks, dan 5.4 dan 3.8% dalam biakan sintetik.



Gambar 2. Kadar pigmen *S. platensis* pada biakan lateks (•) dan biakan sintetik (o) berdasarkan rapat optis 480 nm ($OD_{480\ nm}$).

Tabel 2. Kadar pigmen dan bobot biomassa kering (g l^{-1}) *S. platensis* pada media yang mengandung 10% limbah lateks cair dan media sintetik berdasarkan rapat optis 480 nm (OD_{480}) pada taraf uji 1%

OD_{480}	Pigmen				Bobot kering (g l^{-1})
	Klorofil a	Karotenoid	Fikosianin	Total	
	.... Bobot (% b/b)				
Biakan lateks					
0.5	0.61 ± 0.00	0.61 ± 0.00	19.85 ± 0.11	21.07	0.18 ± 0.01
1.0	0.78 ± 0.00	0.91 ± 0.04	22.28 ± 1.57	23.97	0.30 ± 0.01
1.5	0.47 ± 0.00	1.07 ± 0.06	17.60 ± 1.24	19.14	0.68 ± 0.02
2.0	0.38 ± 0.00	1.14 ± 0.04	15.77 ± 0.57	17.29	0.96 ± 0.01
Biakan sintetik					
0.5	0.54 ± 0.00	0.45 ± 0.07	13.18 ± 1.08	14.17	0.28 ± 0.01
1.0	0.73 ± 0.05	0.69 ± 0.06	14.62 ± 0.58	16.04	0.46 ± 0.03
1.5	0.64 ± 0.00	1.10 ± 0.09	14.45 ± 0.84	16.19	0.68 ± 0.01
2.0	0.56 ± 0.02	1.41 ± 0.06	17.57 ± 0.51	19.54	1.01 ± 0.01
	.... Komposisi rerata (%)				
Biakan lateks	2.7	4.7	92.6	100.0	
Biakan sintetik	3.8	5.4	90.8	100.0	

PEMBAHASAN

Produksi *S. platensis*. Pengamatan OD selama pertumbuhan menunjukkan bahwa sinar langsung yang mengenai biakan menghambat pertumbuhan, sebaliknya cahaya tidak langsung dapat menaikkan produksi biomassa. Gejala ini sesuai dengan hasil pengamatan oleh Jensen dan Knutsen (1993).

Suhu merupakan salah satu faktor penting dalam meningkatkan produktivitas. Percobaan ini berlangsung pada suhu ruang rata-rata 22^0C (pagi hari) hingga 31^0C (siang hari). Faktor ini juga salah satu penyebab rendahnya produktivitas biakan sebab suhu optimum untuk fotosintesis adalah 35^0C (Torzillo & Vonshak 1994) dan pertumbuhan *Spirulina* tidak optimum pada suhu yang lebih rendah (Jensen & Knutsen 1993).

Pengadukan media mutlak dilakukan untuk meningkatkan produktivitas *Spirulina*, yaitu untuk menghindari akumulasi nutrisi, meningkatnya kontaminasi oleh spesies mikroorganisme lain, meratakan cahaya pada biakan, dan membantu sekresi O_2 dari permukaan sel. Pengadukan ini berkorelasi dengan pH media. Pengadukan dengan sistem aerasi dapat menyebabkan bertambah luasnya permukaan media sehingga dapat meningkatkan laju penguapan CO_2 mencapai kesetimbangan CO_2-terlarut:CO_2-atmosfer. Akibatnya pH media selalu naik sampai 9.0-9.6 bahkan sampai 10.3. Gejala ini memperkuat kesimpulan De Alava *et al.* (1997) bahwa media yang digunakan untuk pertumbuhan *Spirulina* (disiapkan dengan kadar $NaHCO_3$ 16.8 g l^{-1} pada pH 8.7) sangat tidak stabil bila kontak dengan atmosfer dan menyebabkan hilangnya sejumlah CO_2 yang mengakibatkan naiknya pH media. Masalah seperti itu dapat ditangani dengan menaikkan pH media biakan hingga 10.2 agar pH tidak terlalu banyak menurun. Perlakuan mempertahankan pH pada daerah optimum 8.3 dengan cara menambahkan larutan HCl selain dapat mengurangi penyerapan CO_2 dari atmosfer juga menyebabkan terjadinya fluktuasi pH pada media yang berakibat kurang baik bagi pertumbuhan.

Biomassa kering yang diperoleh pada biakan lateks (7.6 g m^{-2} h^{-1} pada OD_{480} = 0.5) lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil yang dilaporkan oleh Laliberté *et al.* (1997). Mereka menyatakan bahwa *Spirulina* yang tumbuh pada limbah rumah tangga dengan nutrisi 10 g l^{-1} $NaHCO_3$ dan 1 g l^{-1} $NaNO_3$ menghasilkan 9 g $m^{-2}h^{-1}$. Suplemen tepung tulang sebagai pengganti garam Ca dan fosfat, dan urin 1% dari manusia atau sapi, cukup untuk menggantikan $NaNO_3$ sebagai sumber nitrogen dengan produksi 8-12 g bobot kering $m^{-2}h^{-1}$. Kotoran manusia yang diolah secara anaerob dengan tambahan 5 g l^{-1} NaCl dan 4 g l^{-1} $NaHCO_3$ menghasilkan 15 g bobot kering $m^{-2}h^{-1}$. Produktivitas yang baik ialah dari limbah perasan minyak sawit selama 5 hari dengan kondisi anaerob, dengan produksi maksimum 33.8 g bobot kering $m^{-2}h^{-1}$.

Kepadatan biomassa tertinggi dalam penelitian ini (sekitar 1 g l^{-1} baik dalam biakan lateks maupun biakan sintetik) juga lebih rendah dibandingkan dengan perolehan dari media yang diberi urea yang mencapai 1.8 g l^{-1} (Kurniasih 2001). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa produksi biomassa dalam limbah lateks masih perlu ditingkatkan dengan mengkaji lebih jauh faktor-faktor bioprosesnya.

Kadar Pigmen. *S. platensis* mampu tumbuh dalam kondisi heterotrof (media dengan sumber karbon organik, tanpa pencahayaan), autotrof (media dengan sumber karbon anorganik, dengan pencahayaan) dan miksotrof (sumber karbon organik dan anorganik, dengan pencahayaan). Produksi pigmen pada biakan miksotrof meningkat 1.5-2.0 kali dibandingkan dengan biakan autotrof (Marquez *et al.* 1995a). Kelompok peneliti yang sama (Marquez *et al.* 1995b) juga mengemukakan bahwa kandungan biopigmen (fikosianin, karotenoid, dan klorofil a) berkorelasi dengan kadar oksigen-terlarut (DO). Kadar DO yang tinggi (1.25 mM) menurunkan pertumbuhan hingga 36% dibandingkan dengan kadar rendah (0.063 mM). Pertumbuhan lambat pada konsentrasi DO yang tinggi disertai dengan turunnya kandungan biopigmen.

Spirulina platensis memang hanya memiliki klorofil a. Penelitian ini menunjukkan bahwa kadar klorofil a (0.61% b/b pada OD_{480} = 0.5 atau 0.38% b/b pada OD_{480} = 2.0) lebih tinggi daripada percobaan dengan penambahan urea 0.24% b/b (Kurniasih 2001), namun perolehan ini belum optimum. Menurut Ciferri (1983), kadar klorofil a dapat mencapai 0.8 sampai 1.5% dari bobot kering sel. Lain halnya dengan kadar klorofil a, *S. platensis* dari biakan limbah lateks maupun dari biakan sintetik merupakan sumber karotenoid yang baik, 2-3 kali lipat dibandingkan dengan temuan Tornabene *et al.* (1985), Richmond (1987), dan Kurniasih (2001) yang menggunakan biakan sintetik, yaitu sekitar 0.5% dari bobot total bahan organik. Dari bobot total karotenoid ini, diharapkan senyawa terbanyak ialah miksoksantofil (37%), β-karotena (28%), dan zeaksantin (17%) (Paoletti *et al.* 1971).

Fikosianin dengan warna birunya merupakan salah satu fikobiliprotein yang terdapat dalam divisi Rhodophyta (alga merah), Cyanophyta (alga hijau-biru), dan Cryptophyta (alga *Cryptomonad*). Pigmen ini tersusun dari protein dan bilin (tetrapirol terbuka). *S. platensis* ternyata mampu menyerap nitrogen (NH_3) dengan cepat, dilihat dari warna biakan yang lebih biru pada media lateks setelah dua hari pertama dibandingkan dengan warna pada media sintetik. Kadar fikosianin pada media lateks 19.8% pada usia 3 hari sedangkan dalam media sintetik hanya 13.2% pada usia 4 hari. Perolehan ini cukup baik dibandingkan percobaan dengan penambahan urea, yaitu 14.2% (Kurniasih 2001). Fikosianin dari spesies ini telah dicirikan dengan baik, yaitu memiliki rumus molekul $C_{33}H_{40}N_4O_6$, bobot molekul 587, terdiri atas c-fikosianin dan *allo*-fikosianin (Abo-Shady 1995) dan fikobiliproteinnya telah dikaji oleh Wang *et al.* (1997). Fikosianin telah diproduksi secara komersial terutama untuk pewarna makanan, minuman, obat, dan kosmetik (Cohen 1997). Kadarnya dapat mencapai 20% dari fraksi protein *Spirulina* (Ciferri 1983).

Perbedaan kecenderungan kadar fikosianin dibandingkan dua pigmen lain tampaknya berhubungan dengan adanya suplemen N-NH_3 dari limbah yang diserap oleh *Spirulina* sebagai nitrogen simpanan dalam bentuk fikosianin. Pola yang kurang wajar dari kadar pigmen ini tampak pada akhir pertumbuhan. Kadar pigmen ini turun tanpa diikuti oleh naiknya parameter lain yang mengandung unsur nitrogen, seperti klorofil a atau protein total (tersirat dari bobot kering) yang dapat melebihi biakan sintetik (Tabel 2). Hal ini terjadi pada pertumbuhan setelah $OD_{480\ nm} = 1.0$. Dengan demikian, disarankan agar untuk produksi fikosianin, pertumbuhan *S. platensis* dalam limbah lateks tidak dilakukan sampai rapat optis terlalu tinggi, melainkan sampai $OD_{480\ nm}$ maksimum 1.0.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh dana dari Riset Unggulan Terpadu V, dengan judul Pemanfaatan Limbah Lateks Pekat sebagai Media Pertumbuhan Ganggang Mikro *Spirulina platensis* Penghasil Asam γ-Linolenat.

DAFTAR PUSTAKA

Abo-Shady AM. 1995. Spectroscopic study of phycocyanobilin from the cyanobacterium *Spirulina platensis*, abstr. 216669. Di dalam: *Chemical Abstracts* 127:276.

Achmadi SS, Sulistiyani, Tri-Panji. 2000. Efek ekstrak lipid *Spirulina platensis* pada plasma darah kelinci yang diberi pakan kolesterol. *Hayati* 7:66-70.

Boussiba S, Richmond A. 1979. Isolation and purification of phycocyanins from the blue-green alga *Spirulina platensis*. *Arch Microbiol* 120:155-159.

Ciferri O. 1983. *Spirulina*, the edible microorganism. *Microbiol Rev* 47:551-578.

Cohen Z. 1997. The chemicals of *Spirulina*. Di dalam: Avigad V (ed). *Spirulina platensis (Arthrospira).* London: Taylor & Francis. hlm 175-204.

Dainippon Ink & Chemical Inc. 1980. *Production of highly purified alcoholophilic phycocyanin*. Japanese patent 8077890.

Davies BH. 1976. Carotenoids. Di dalam: Goodwin TW (ed). *Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments*. Vol. 2. London: Academic Pr. hlm 54-67.

De Alava D, de Mella PC, Wagener K. 1997. The relevance of the CO_2 partial pressure of sodium bicarbonate solutions for the mass cultivation of the microalga *Spirulina*. *J Braz Chem Soc* 8:447-450.

Jensen S, Knutsen G. 1993. Influence of light and temperature or photoinhibition of photosynthesis in *Spirulina platensis*. *J Appl Phycol* 5:495-504.

Kurniasih. 2001. Komposisi nutrisi dan pigmen *Spirulina platensis* galur lokal INK pada berbagai konsentrasi nitrogen [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Laliberté G, Olguin EJ, de La Noüe J. 1997. Mass cultivation and wastewater treatment using *Spirulina*. Di dalam: Avigad V (ed). *Spirulina platensis (Arthrospira).* London: Taylor & Francis. hlm 159-173.

Lorenz RT. 1999. A review of *Spirulina* and *Haematococcus* algae meal as a carotenoid and vitamin supplement for poultry. *Spirulina Pacifica Technical Bulletin* No. 053.

Marquez JF, Naomichi N, Shiro N. 1995a. Enhancement of biomass and pigment production during growth of *Spirulina platensis* in mixotrophic culture. *J Chem Tech Biotechnol* 62:159-164.

Marquez JF, Sasaki K, Naomichi N, Shiro N. 1995b. Inhibitory effect of oxygen accumulation on the growth of *Spirulina platensis*. *Biotechnol Lett* 17:225-228.

Paoletti C, Materassi C, Pelosi E. 1971. Lipid composition varriation of some mutant strains of *Spirulina platensis*. *Am Microbiol Enzymol* 21:65.

Richmond A. 1987. *Spirulina*. Di dalam: Borowitzka A (ed). *Microalgal Biotechnology.* Sydney: Cambridge University Pr. hlm 85-121.

Tjahjadarmawan E. 1996. Produksi asam γ-linolenat dari biomassa sel *Spirulina platensis* dan *Absidia corymbifera* [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Tornabene TG, Bourney TF, Raziuddin S, Ben-Amotz A. 1985. Lipid and lipopolysaccharide constituent of cyabacterium *Spirulina platensis* (Cyanophyceae, Nostocales). *Mar Ecol Prog Ser* 22:121.

Torzillo G, Vonshak A. 1994. Effect of light and temperature on the photosynthetic activity of the cyanobacterium *Spirulina platensis*. *Biomass Bioenerg* 6:399.

Tri-Panji, Suharyanto, Rakayan E, Hasim. 1995. Penggunaan serum lateks skim sebagai media produksi protein sel tunggal oleh *Spirulina platensis. Menara Perkebunan* 63:114-122.

Vonshak A. 1997. *Spirulina*: growth, physiology and biochemistry. Di dalam: Vonshak A (ed). *Spirulina platensis* (*Arthrospira*). London: Taylor & Francis. hlm 43-65.

Wang H, Zhao J, Jiang L. 1997. Spectral properties, quantum yields and fluorescence life-times of subunits in allophycocyanin from *Spirulina platensis,* abstr. 172812q, Di dalam: *Chemical Abstracts* 129:349.