

Pengaruh Media Budidaya Menggunakan Air Laut dan Air Tawar terhadap Sifat Kimia dan Fungsional Biomassa Kering *Spirulina platensis*

The Effect of Cultivation Medium in Marine and Fresh Water on Chemical Composition and Functional Properties of Dry Biomass *Spirulina platensis*

Nurfitri Ekantari¹, Yustinus Marsono², Yudi Pranoto², Ani Harmayani²

¹Departemen Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada,
 Jl. Flora, Gedung A-4, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

²Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada,
 Jl. Flora No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia
 Email: nurfitri@ugm.ac.id

Submisi: 11 Mei 2016; Penerimaan: 26 Juli 2016

ABSTRAK

Spirulina merupakan mikroalga, mudah dibudidayakan dan dapat hidup dalam tingkat salinitas yang rendah hingga tinggi. Kandungan kimia dalam *Spirulina* dapat dipengaruhi oleh media budidayanya. Di Indonesia *Spirulina platensis* yang beredar sebagian merupakan hasil budidaya dari berbagai tempat dengan media budidaya air tawar maupun air laut. *S. platensis* dapat digunakan sebagai salah satu sumber kalsium karena kandungannya dapat mencapai 700-1000 mg/100 g biomassa kering. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh media budidaya air laut dan air tawar terhadap komposisi kimia dan sifat fungsional dari *S. platensis*. Parameter kimia yang diamati yaitu komposisi proksimat, kandungan mineral Ca, Mg dan P, kandungan gula, pati dan serat pangan. Parameter sifat fungsional meliputi kelarutan, kemampuan mengikat air dan lemak, emulsifikasi dan kemampuan membentuk busa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan abu dan mineral (Ca, Mg, P) *S. platensis* budidaya air laut lebih tinggi daripada budidaya air tawar. *S. platensis* asal budidaya laut berpotensi sebagai alternatif sumber kalsium (512,53 mg Ca/100 g) dengan rasio Ca:P = 1:1,79. Kandungan karbohidrat *S. platensis* hasil budidaya media air laut lebih rendah yaitu 28,41% db (gula total dengan nilai 0,09% db, pati 6,9% db dan total serat pangan 24,81% db), serat pangan terutama berupa serat pangan tak larut sebesar 24,18% db. Sifat fungsional dipengaruhi oleh asal budidaya. *Spirulina platensis* asal budidaya laut memiliki sifat *Water Holding Capacity* (WHC) yang lebih tinggi yaitu 4,46 mL/g dibandingkan sifat *Oil Holding Capacity* (OHC) yaitu 2,35 mL/g, sedangkan *Water Soluble Index* (WSI), kapasitas membentuk busa dan emulsifikasi tidak dipengaruhi media budidaya.

Kata kunci: Kalsium; serat pangan; media air tawar; media air laut; *Spirulina platensis*

ABSTRACT

Spirulina is a microalgae, easily cultivated and grows well in a low to high-level of salinity. Chemical contents in *Spirulina* can be influenced by the conditions of cultivation. *Spirulina platensis* sold in Indonesia is largely cultured in marine water or fresh water medium. *S. platensis* can be used as a source of calcium because it has 700-1000 mg/100 g of dry biomass. This study aimed to determine the effect of sea water and fresh water cultivation medium on the chemical composition of *S. platensis*. Samples were determined the chemical composition included proximate analysis, mineral content of Calcium (Ca), Magnesium (Mg) and Phosphor (P), total glucose, starch, and dietary fiber. Functional properties were also determined i.e: solubility, water and oil binding capacities, emulsion and foam abilities. The results

showed that the content of ash and minerals (Ca, Mg, P) of *S. platensis* cultivated in marine water was higher than that of *S. platensis* cultivated in freshwater. This result suggested that *S. platensis* cultured in the sea water medium was potential as an alternative source of calcium (512,53 mg Ca/100 g) with a ratio Ca-P = 1:1.79. The carbohydrate content was at least 28,41% db (total sugars almost 0,09% db, starch 6,9% db and total dietary fiber 24,81% db). The dietary fiber was dominated by insoluble dietary fiber (24,81% db). Functional properties were affected by cultured medium. *Spirulina platensis* cultivated in marine water exhibited high capacity on Water and Oil Holding Capacities (WHC and OHC) that were 4,46 mL/g and 2,35 mL/g, respectively. Water Solubility Index (WSI), foaming capacity, emulsion capacity were not affected by cultured media.

Keywords: Calcium; dietary fiber; fresh water; marine water; *Spirulina platensis*

PENDAHULUAN

Spirulina platensis adalah cyanobacteria atau mikroalga (ganggang mikro) hijau biru yang diperkirakan telah ada di planet bumi sejak 3,5 milyar tahun yang lalu. Mikroalga ini mampu tumbuh pada berbagai tingkat salinitas, pH sangat basa (pH 8-11) dengan kandungan senyawa karbonat dan bikarbonat yang tinggi, sehingga *S. platensis* dapat ditemukan di perairan dengan berbagai tingkat salinitas dengan pH basa, biasanya berkisar 8-11. Kondisi pH basa memberikan keuntungan dari sisi budidaya, karena relatif tidak mudah terkontaminasi oleh mikroalga yang lain, yang pada umumnya hidup pada pH yang lebih rendah atau lebih asam (Tri-Panji, 1995). Jimenez dkk. (2003) menjelaskan bahwa biomassa kering *S. platensis* dapat mencapai 30-32 ton per hektar kolam/tahun. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi produktivitas sel dan komposisi *S. platensis*, yaitu pH, salinitas, intensitas cahaya, suhu dan ion bikarbonat, serta ketersediaan makro dan mikro nutrisi dalam lingkungan budidayanya (Ciferri, 1983; Marek dkk., 1987; Planes dkk., 2002). Hu (2004) menambahkan bahwa faktor lingkungan terutama salinitas tidak hanya mempengaruhi fotosintesis dan produktivitas biomassa sel tetapi dapat mempengaruhi bentuk, aliran aktivitas metabolisme seluler yang berdampak pada dinamika komposisi sel.

Selain mengandung protein dalam jumlah yang tinggi kurang lebih sekitar 60% (Tietze, 2004), *Spirulina* juga mengandung serat pangan (Belay, 2008) dan dapat mengandung kalsium hingga mencapai 700-1000 mg kalsium per 100 g biomassa kering. Jika dibandingkan dengan berbagai jenis sayuran kandungan kalsium pada *S. platensis* hampir mencapai 3 kali lipatnya, sedangkan jika dibandingkan dengan susu dan yogurt hampir 4 kalinya (Tietze, 2004). *Spirulina* dapat digunakan sebagai salah satu alternatif sumber kalsium. Habib dkk. (2008) menyebutkan bahwa konsumsi 4 g *Spirulina* dapat digunakan untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan kalsium harian. Namun demikian, kandungan kalsium dalam biomassa *Spirulina* dapat bervariasi yang dipengaruhi oleh media budidayanya.

Kalsium (Ca) dan serat pangan sangat berhubungan erat, beberapa peneliti menyebutkan bahwa serat pangan dapat mempengaruhi absorpsi Ca dalam tubuh. Pada sereal, serat pangan menghambat absorpsi Ca dan fosfor (P) (Urbano dkk., 1999). Penyerapan Ca umumnya terjadi pada bagian ileum dan jejunum. Keberadaan kompleks serat pangan dan Ca dapat menyebabkan penurunan absorpsi. Namun, jika serat pangan dapat mencapai usus besar dan dapat difermentasi oleh bakteri fecal, dapat menghasilkan *short chain fatty acid (SCFA)* sehingga kondisi menjadi lebih asam dan dapat meningkatkan penyerapan Ca. Dengan demikian, apabila bahan pangan akan digunakan sebagai sumber kalsium, perlu juga dikaji serat pangannya.

Di Afrika dan Mexico selain jenis *S. platensis* jenis lain yang dikembangkan yaitu *S. maxima* dan *S. fusiformis* (Costa dkk., 2002), sedangkan di Indonesia jenis yang berkembang adalah *S. platensis* dan dibudidayakan dengan kondisi yang berbeda terutama media budidayanya dapat berasal dari air laut maupun air tawar. Beberapa penelitian terkait telah dilakukan (Suminto, 2009; Ravelonandro dkk., 2011), namun informasi tentang karakteristik *S. platensis* sebagai bahan pangan fungsional perlu untuk dikaji. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh media budidaya air laut dan air tawar terhadap komposisi kimia dan sifat fungsional dari *S. platensis*.

METODE PENELITIAN

Preparasi Sampel *S. platensis*

S. platensis dibudidayakan oleh sebuah produsen mikroalga di Jepara, pada 2 media yang berbeda yaitu air laut dan air tawar. Ketersediaan nutrisi selama budidaya *S. platensis* diperoleh dari pupuk Walne. Proses pemanenan diawali dengan proses pengangkatan biomassa *S. platensis* dari media budidaya, dicuci dengan air tawar, didekantasi dan dikeringkan. Pengeringan menggunakan laminaria *dehumidifier* pada suhu 50 °C selama 5 jam. Biomassa kering dihaluskan dan dikemas dalam aluminium foil. Selanjutnya

dibawa ke Laboratorium Teknologi Pengolahan Ikan, Universitas Gadjah Mada, disimpan pada suhu kamar, sampai dilakukan analisis. Biomassa kering *S. platensis* dikoleksi dari beberapa *batch* masa produksi.

Pengujian Aroma, Warna, dan Sifat Fisik *S. platensis*

Pengujian aroma dilakukan oleh 10 orang panelis. Panelis mengidentifikasi, mendeskripsikan dan mendiskusikan aroma sampel. Pengujian warna menggunakan *chromameter* (Konica Minolta, CR-400). Penentuan ukuran partikel dengan *sieve test*. Densitas (g/ml) ditentukan dengan metode volumetrik-gravimetrik. Sebanyak 5 g biomassa dimasukkan ke dalam gelas ukur, diketuk-ketuk hingga biomassa set, dan diukur volumenya.

Pengujian Komposisi Proksimat *S. Platensis*

Penentuan kadar air dengan metode gravimetri, protein dengan metode mikro kjeldahl, lemak dengan metode *soxhlet* dan abu dengan metode pengabuan kering (AOAC, 1995). Kandungan karbohidrat ditentukan dengan metode *by difference* (Winarno, 2008).

Penentuan Kadar Mineral (Ca, Mg dan P) *S. platensis*

Kadar Ca, Mg dan P ditentukan dengan metode spektrofotometri. Sampel dipreparasi dengan pengabuan basah. Lima gram sampel ditambahkan 10 mL ($\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4$; 1:1), didiamkan selama 16 jam ditambahkan 25 ml akuades bebas ion. Larutan dipanaskan hingga berwarna jernih, setelah dingin ditambahkan 25 mL HCl dan ditepatkan volumenya hingga 50 mL dengan akuades bebas ion. Filtrat disaring dan diukur kandungan Ca, Mg dan P dengan spektrofotometri *Atomic Absorption Spektrofotometer* AAS (Perkin Elmer), pada $\lambda = 422,7$ nm (Ca) dan $\lambda = 285,2$ nm (Mg), kandungan P ditentukan dengan spektrofotometer (Genesys 20 Thermospectronic, USA) pada $\lambda = 440$ nm.

Penentuan Kandungan Gula Total, Pati, dan Serat Pangan

Penentuan gula total dengan metode fenol-asam sulfat (Dubois, 1956), pati dengan metode hidrolisis asam (AOAC, 1995). Serat pangan ditentukan secara enzimatis sesuai metode Asp, serat pangan tak larut (STLA) merupakan residu hasil pengujian, sedangkan serat pangan larut (SLA) diendapkan dengan etanol hangat, total serat pangan dinyatakan sebagai (STLA + SLA) (Asp dkk., 1983).

Pengujian Sifat Fungsional *S. platensis*

Water Holding Capacity (WHC) dan *Water Solubility Index* (Kelarutan) ditentukan menurut Onyango dkk. (2004). Pengujian WHC dan kelarutan seperti yang dilakukan oleh Onyango dkk. (2004). Sebanyak 1 g sampel dimasukkan

ke dalam tabung falcon yang telah diketahui beratnya, ditambahkan 10 mL air bebas ion, divortek dan didiamkan selama 30 menit, setiap 10 menit divortek kembali, selanjutnya disentrifugasi (Kokusuan H-26 F, Japan) dengan kecepatan 3500 rpm selama 60 menit. Supernatan dimasukkan ke dalam krus yang telah diketahui beratnya dan dipanaskan pada suhu 105 °C sampai berat konstan untuk mengukur kelarutan (WSI). WHC dihitung sebagai banyaknya air yang terserap dalam pellet. *Oil Holding Capacity* ditentukan menurut (Subagio, 2006), dilakukan seperti pengujian WHC, dengan mengganti air bebas ion dengan minyak jagung. *Emulsion Capacity* (EC) menurut Yu dkk. (2007), 2 g sampel ditambahkan 200 ml akuades dihomogenasi dengan blender (Philips, HR-2071) kecepatan 5 selama 2 menit. Sebanyak 200 ml minyak yang telah diberi pewarna diteteskan dengan kecepatan 60 tetes/menit, larutan dihomogenkan dan diperiksa emulsinya setiap 2 menit. Jika terjadi pemisahan yang jelas, penambahan minyak dihentikan. EC merupakan volume minyak yang teremulsi/ sampel (g). *Foam Capacity* (FC) ditentukan menurut Makri dkk. (2005). Sebanyak 2 gram sampel ditambahkan air 100 mL, volume diukur (V1) dihomogenkan dengan blender dengan kecepatan 5 selama 3 menit. Larutan dituangkan dalam gelas ukur, busa yang terbentuk diukur volumenya (Vf):

$$(Vf), FC = V1/Vf \quad (1)$$

Analisis Data

Data dianalisis dengan t-test, untuk menguji data berdistribusi normal digunakan Uji Kolmogorov-Smirnov. Analisis data menggunakan perangkat lunak SPSS versi 20 dengan tingkat kepercayaan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fisik Biomassa Kering Bubuk *S. platensis*

S. platensis merupakan sianobakteria yang bersifat kosmopolit dan dapat hidup pada habitat yang ekstrim serta dapat hidup pada tingkat salinitas yang tinggi, pH basa 8-11. Aroma alamiah *Spirulina* segar cenderung seperti bau rumput laut segar dengan sedikit aroma amis. Perbedaan aroma (Tabel 1) disebabkan oleh media budidaya yang digunakan. Aroma amis pada budidaya dengan air laut distimulir oleh adanya garam mineral. Aguero dkk. (2003) mengidentifikasi sebanyak 54 senyawa volatil dalam *S. platensis* dan menemukan sebanyak 23 senyawa karbonil yang volatil, diantaranya adalah heptanal dan beberapa keton aromatik yang menyebabkan *off-flavor*.

Warna *S. platensis* media budidaya air laut dan air tawar hampir tidak berbeda secara visual yaitu berwarna

Tabel 1. Karakteristik aroma/bau dan warna biomassa kering bubuk *S. platensis*

Karakteristik	Media air laut	Media air tawar
Aroma/bau	Bau khas <i>Spirulina</i> seperti rumput laut segar, aroma amis lemah	Bau khas <i>Spirulina</i> seperti rumput laut segar, aroma amis sangat lemah
Warna	L: 34,60, a: -1,17 b: +3,01	L: 33,52, a: -4,70 b: +0,20
		

hijau tua. Warna biomassa *S. platensis* terutama dipengaruhi oleh kandungan klorofil serta fikosianin. Hasil pengujian menunjukkan nilai kecerahan (L) yang hampir serupa, kedua sampel memiliki nilai a (-) yang menunjukkan cenderung berwarna hijau serta memiliki nilai b (+) yang menunjukkan warna kuning. *S. platensis* budidaya air tawar menunjukkan warna hijau yang lebih dominan (a: -4,70) dibandingkan hasil budidaya air laut (a: -1,17). Namun demikian, pada nilai b terlihat fenomena sebaliknya. Warna hijau terutama berasal dari khlorofil sedangkan warna kuning berasal dari betakaroten. Klorofil dan fikosianin dapat bervariasi dan dipengaruhi oleh media tumbuhnya, Setyaningsih dkk. (2011) menjelaskan bahwa *S. fusiformis* mengalami perbedaan pigmen pada umur panen yang berbeda. Perbedaan umur panen menyebabkan kandungan bahan organik dalam media berbeda.

Richmond (1988) menjelaskan bahwa apabila kondisi nitrogen dalam media melimpah, maka nitrogen akan digunakan untuk pertumbuhan dan disimpan dalam fikosianin. Demikian juga dengan sintesis klorofil yang dipengaruhi oleh kandungan fosfor dan nitrogen, sehingga proporsi klorofil dan fikosianin dapat mempengaruhi warna biomassa. Leema dkk. (2010) menyebutkan bahwa *S. platensis* yang dibudidayakan dengan media air laut memiliki rasio fikosianin/klorofil-a serta rasio betakaroten/klorofil-a yang lebih tinggi dibandingkan budidaya dengan media air tawar. Pengeringan dengan dehumidifier pada suhu rendah juga

dapat mencegah degradasi klorofil sehingga warna biomassa tidak berubah. Koca dkk. (2007) menjelaskan bahwa pada pemanasan suhu tinggi dapat menyebabkan degradasi klorofil menjadi kecoklatan.

Distribusi ukuran partikel serta densitas pada sampel *S. platensis* (Tabel 2) menunjukkan perbedaan. Densitas sampel media air tawar lebih kecil dibandingkan dari air laut. Sebaran partikel dapat mempengaruhi densitas dari biomassa tersebut, terlihat bahwa ukuran partikel yang semakin kecil dengan persentase yang lebih besar akan menyebabkan densitas menjadi lebih kecil, demikian pula sebaliknya. Densitas ini terutama dapat berhubungan dengan kelarutannya dan sifat fungsional lainnya. *S. platensis* yang dibudidayakan di India Selatan dilaporkan memiliki densitas 0,62-0,85 g/mL (Anonim, 2011).

Komposisi Proksimat Biomassa Kering *S. platensis*

Sampel hasil budidaya air laut mempunyai kadar air (6,18%), sedangkan budidaya air tawar sebesar 6,26% ($p > 0,05$). Sampel memenuhi persyaratan standar mutu bubuk kering *Spirulina* yaitu kadar air produk maksimal sebesar 7% wb atau 7,5% db (Henrikson, 2009). Komposisi kimia (protein, lemak, abu dan karbohidrat) dari berbagai sampel dapat dilihat pada Tabel 3. Markou dkk. (2012) menjelaskan bahwa komposisi kimia *S. platensis* dapat dipengaruhi oleh media budidaya serta kondisi pertumbuhan biomassa saat panen (Setyaningsih dkk., 2011). Hasil penelitian ini

Tabel 2. Sebaran ukuran partikel dan densitas *S. platensis* yang dibudidayakan dengan air laut dan air tawar

Media	Ukuran partikel (%)									Densitas (g/mL)
	>710 μm	600-710 μm	355-600 μm	250-355 μm	150-250 μm	106-150 μm	63-106 μm	38-63 μm	<38 μm	
Air laut	0	0,02	11,35	18,21	18,41	12,37	16,19	14,58	8,89	0,69 ^b
Air tawar	0	0	0,02	0,15	4,58	7,64	18,94	45,51	23,16	0,51 ^a

Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda dalam kolom densitas menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$).

menunjukkan bahwa kadar protein, lemak dan karbohidrat tidak berbeda ($p > 0,05$). Sampel yang diuji memiliki kadar protein diatas 60%, Henrikson (2009) dan Tietze (2004) mengungkapkan bahwa kandungan protein *S. platensis* dapat mencapai hingga 60-70% berat keringnya. Belay (2008) menyebutkan bahwa *Spirulina* komersial memiliki kadar protein sebesar 63%, sedangkan *Certified Organic Spirulina* dari India Selatan melaporkan kadar protein dalam produksi mereka dapat bervariasi setiap *batch* dengan rentang 56-69% (Anonim, 2011).

Tabel 3. Komposisi kimia (db) *S. platensis* dari budidaya air laut dan air tawar

Media	Protein %	Lemak %	Abu %	KH by diff. %
Air laut	63,45 ^a	0,59 ^a	7,55 ^a	28,41 ^a
Air tawar	62,83 ^a	0,51 ^a	5,93 ^b	30,73 ^a

Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda dalam kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$).

Kadar lemak sampel sangat rendah dibawah 1%. Meskipun tidak berbeda secara statistik namun sampel dengan media air laut cenderung memiliki kadar lemak yang lebih tinggi. Borowitzka dan Borowitzka (1988) menyebutkan bahwa salinitas yang lebih tinggi dapat meningkatkan kadar lemak mikro alga. Henrikson (2009) menyebutkan bahwa rata-rata kandungan lemak *Spirulina* berkisar antara 4-7%. Bahkan apabila variasi sumber nitrogen dan sumber karbon bervariasi, lemak dapat mencapai 11-25% (Madkour dkk., 2012). Dugaan sementara pada kandungan lemak yang rendah dari komposisi pupuk yang digunakan oleh produsen. Kandungan lemak yang rendah menguntungkan karena memiliki daya simpan yang lama. Masa kadaluarsa yang disebutkan adalah selama 2 tahun. Belay (2008) bahkan menyebutkan bahwa biomassa kering *Spirulina* dengan pengeringan *spray drying* dikemas dengan aluminium foil dapat bertahan hingga 4 tahun. Percobaan dengan percepatan menunjukkan hasil bahwa kandungan antioksidan *Spirulina* masih dalam kondisi sangat baik pada penyimpanan suhu 40 °C, RH 75% selama 9 bulan (Anonim, 2011).

Kandungan karbohidrat pada sampel cukup tinggi yaitu diatas 25% db. Beberapa peneliti menyebutkan bahwa kandungan karbohidrat berkisar antara 15-25% wb (Belay, 2008) dan 13% wb (Sekharam dkk., 1987). Tingginya kadar karbohidrat dibandingkan hasil penelitian lainnya disebabkan kandungan lemak pada sampel yang rendah sehingga dengan perhitungan kandungan karbohidrat dengan metode pengurangan (*by difference*) akan meningkatkan proporsi karbohidrat (Choi dkk., 2008) menjelaskan bahwa media budidaya yang mengandung amonium menghasilkan biomassa kering yang tinggi, namun demikian kandungan total asam

amino yang tinggi diperoleh dari media yang mengandung urea, sedangkan jika nitrat sebagai sumber nitrogen maka akan dijumpai klorofil dalam jumlah yang tinggi. Markou dkk. (2012) menambahkan bahwa kandungan fosfor yang terbatas dalam media dapat menyebabkan peningkatan kandungan karbohidrat dan menyebabkan penurunan protein. Sassano dkk. (2010) menjelaskan, apabila sumber nitrogen yang digunakan berupa amonium hidroklorida dalam sistem budidaya yang kontinyu terlihat hubungan antara kadar protein dengan kadar karbohidrat, apabila kadar amonium meningkat maka akan meningkatkan kandungan protein dan menurunkan kandungan karbohidrat. Apabila kadar protein berkisar antara 50% maka kandungan karbohidrat berkisar antara 23%. Dalam kondisi amonium yang rendah maka biomassa dapat mengandung protein hanya sebesar 20% sedangkan kandungan karbohidrat dapat mencapai 65%.

Kadar abu *S. platensis* dipengaruhi oleh media budidayanya ($p < 0,05$). Sampel budidaya air laut memiliki kadar abu yang lebih tinggi dibandingkan air tawar. Hu (2004) mengemukakan bahwa faktor lingkungan seperti cahaya, suhu, nutrien dan salinitas tidak hanya mempengaruhi fotosintesis dan produktivitas biomassa sel tetapi dapat mempengaruhi bentuk, aliran aktivitas metabolisme seluler yang berdampak pada dinamika komposisi sel. Kandungan abu yang lebih besar pada sampel budidaya air laut disebabkan karena air laut secara alamiah mengandung mineral yang lebih tinggi dibandingkan air tawar, sehingga mempengaruhi media tempat tumbuhnya *S. platensis*. Nutrien dalam media seperti garam, karbonat dapat terbawa ke dalam biomassa sehingga kadar abu pada sampel asal budidaya laut memiliki kadar abu yang lebih tinggi. Selain itu, pada saat panen, apabila biomassa alga tidak dibilas dengan cukup air asam untuk membersihkan senyawa karbonat maka dapat mengandung kadar abu hingga mencapai 25% dan kandungan protein dapat menurun menjadi 50% atau kurang (Richmond, 1988).

Kandungan Kalsium, Magnesium dan Fosfor *S. platensis*

Media budidaya mempengaruhi kandungan kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan fosfor (P) sampel ($p < 0,05$). Sampel dari budidaya air laut memiliki kadar mineral yang lebih tinggi (Tabel 4.). Hal ini sesuai dengan pernyataan beberapa peneliti bahwa kandungan mineral *spirulina* dipengaruhi oleh kondisi budidayanya (Planes dkk., 2002; Markou dkk., 2012). Lebih tingginya kadar Ca, Mg dan P pada *S. platensis* media budidaya air laut sejalan dengan kandungan abunya yang juga lebih tinggi dibandingkan media air tawar. Budidaya dengan tingkat salinitas yang tinggi menyebabkan garam mineral terakumulasi dalam biomassa *S. platensis*. Kadar kalsium *S. platensis* media air laut hampir lima kali lipatnya dibandingkan dari air tawar. Dengan demikian *Spirulina* budidaya air laut dapat berpotensi sebagai alternatif sumber kalsium.

Tabel 4. Kadar kalsium (Ca), magnesium (Mg), fosfor (P) dan rasio Ca/P *S. platensis* dari budidaya air laut dan air tawar

Media	Kalsium mg Ca/100g (db)	Magnesium mg Mg/100g (db)	Fosfor Mg P/100g (db)	Rasio Ca:P
Air laut	512,53 ^a	345,62 ^a	919,32 ^a	1:1,79 ^a
Air tawar	110,89 ^b	180,66 ^b	536,12 ^b	1:4,96 ^b

Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda dalam kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$).

Dalam proses absorpsi, kalsium dan fosfor saling berpengaruh sangat erat. Untuk absorpsi kalsium yang baik, diperlukan perbandingan Ca:P di dalam rongga usus (dalam makanan) 1:1 sampai 1:3. Perbandingan Ca:P yang lebih besar dari 1:3 akan menghambat penyerapan kalsium, sehingga makanan yang demikian akan menimbulkan penyakit defisiensi kalsium (Sediaoetama, 2000). Rasio Ca:P sampel asal budidaya laut berkisar 1,79, lebih baik dibandingkan sampel asal budidaya air tawar. Perbandingan tersebut hampir serupa dengan yang diungkapkan oleh Belay (2008) dan Salmean dkk. (2015), bahwa *Spirulina* yang beredar komersial di USA memiliki kandungan P kurang lebih hampir 2 kali lipatnya dibandingkan Ca. Rasio Ca:P pada *Spirulina* asal budidaya air tawar terlihat lebih tinggi, meskipun kandungan fosfornya lebih rendah dibandingkan dari laut. Hal ini disebabkan kandungan kalsiumnya yang lebih rendah. Apabila dihubungkan dengan rasio yang seimbang agar dapat diabsorpsi dengan baik, maka sampel dari air tawar tidak memenuhi kriteria tersebut. Menurut Brody (1994), konsumsi fosfor yang tinggi akan menyebabkan meningkatnya ekskresi kalsium dalam feses dan menurunkan ekskresi kalsium dalam urin, namun tidak mempengaruhi keseimbangan kalsium tubuh. Ca dan Mg diserap di intestinum, sehingga keberadaan magnesium juga dapat mempengaruhi absorpsi kalsium karena memiliki valensi ion yang sama.

Pada *S. platensis* air tawar kandungan magnesium terlihat lebih besar dibandingkan kalsiumnya. Melihat fenomena ini maka diduga *S. platensis* dari air laut jika digunakan sebagai sumber kalsium akan lebih baik dibandingkan yang berasal dari air tawar. Salmean dkk. (2015) menjelaskan bahwa sianobakteria seperti *Spirulina* merupakan bahan pangan bebas oksalat, sehingga availabilitas kalsiumnya tinggi dan mudah diabsorpsi. Absorpsi kalsium selain dipengaruhi oleh ion dengan valensi yang sama, juga dipengaruhi oleh solubilitas, asiditas, lemak dan serat dalam diet serta ion Ca dalam kondisi terion atau terikat. Lee dkk. (2000) mengungkapkan bahwa ion Ca ditemukan berada terikat secara ionik dengan *sulfated* polisakarida.

Kandungan Gula Total, Pati dan Serat Pangan *S. platensis*

Kandungan gula total, pati serta serat pangan *S. platensis* dipengaruhi oleh media budidaya ($p < 0,05$) (Tabel 5). Terdapatnya pati pada *S. platensis* dapat disebabkan karena sampel dipanen pada akhir fasa stasioner. Pada akhir fasa stasioner fotosintesis terus berlanjut namun terjadi penurunan laju ketika nitrogen dalam sel turun hingga di bawah nilai batas ambang. Kondisi kekurangan nitrogen dapat mengakibatkan terjadinya akumulasi pati. Hu (2004) menyebutkan bahwa pada mikroalga genus *Chlorella*, dalam kondisi demikian sebagian strain mengalami akumulasi pati dan beberapa strain mengalami akumulasi lipid. Jika masa panen dilakukan pada waktu yang sama, maka perbedaan kadar pati antara sampel budidaya air laut dan air tawar dijelaskan oleh Brown dan Borowitzka (1979) karena pati mengalami pemecahan akibat biosintesis gliserol, meskipun mekanisme molekular distribusi atom C antara pati dan gliserol pada mikroalga belum diketahui.

Kandungan gula total *S. platensis* dengan media budidaya air laut lebih rendah dibandingkan dengan media air tawar, yaitu 0,09% db dengan kandungan pati yang lebih tinggi yaitu 6,9% db. Shekharam dkk. (1987) mengungkapkan komponen karbohidrat dalam *S. platensis* berupa glukosa, rhamnosa, manosa, xylosa dan galaktosa. Pada fraksi polisakarida larut asam ditemukan sebanyak 97% glukosa dan 0,4% sulfat (Shekharam dkk., 1989), sedangkan pada fraksi polisakarida yang larut dalam air terutama mengandung rhamnosa (Shekharam dkk., 1987, Chaiklahan dkk., 2013). Shekharam dkk. (1989) menjelaskan bahwa fraksi polisakarida larut asam tersebut merupakan glukukan yang termasuk ke dalam serat pangan. Apabila polisakarida larut asam dihidrolisis secara partial menggunakan asam diperoleh glukosa, maltosa, isomaltosa, dan maltotriosa. Hidrolisis glukukan secara enzimatis dengan α -amilase, α glukosidase dan pullulanase menghasilkan glukosa dan maltosa. Glukan memiliki rantai utama α -1,4 dan bercabang pada α -1,6, mungkin menjadi polisakarida cadangan

Tabel 5. Kadar gula total, pati, serat tak larut (STLA), serat larut (SLA) dan total serat larut (TSP) *S. platensis* dari media budidaya air laut dan air tawar (% berat kering)

Media	Gula total	Pati	STLA	SLA	TSP
Air laut	0,09 ^a	6,9 ^a	24,18 ^a	0,63 ^a	24,81 ^a
Air tawar	0,72 ^b	2,11 ^b	25,18 ^a	1,25 ^b	26,43 ^b

Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda dalam kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$).

spirulina. Belay (2008) menyebutkan bahwa 43% komponen karbohidrat dalam *S. platensis* merupakan serat pangan. Hasil uji menunjukkan proporsi serat pangan yang terbanyak dari *S. platensis* adalah serat pangan tak larut. Babadzhanov dkk. (2004) menyebutkan bahwa *S. platensis* mengandung hemiselulosa dan pektin. Informasi tentang variasi serat pangan larut dan tak larut pada *Spirulina* masih sangat terbatas. Beberapa peneliti menyebutkan bahwa penambahan *S. platensis* 7% dalam biskuit dapat meningkatkan serta pangan sebesar 2,3% (Singh dkk., 2015), penambahan sebesar 0,4% dalam minuman jelly meningkatkan kandungan serat pangan sebesar 5% (Trilaksani dkk., 2015). Variasi kandungan serat pangan dalam *S. platensis* juga dilaporkan oleh Trilaksani dkk. (2015) *S. platensis* hasil kultur memiliki total serat pangan sebanyak 11,24% db, sedangkan pada *Spirulina* komersial tidak terdeteksi adanya serat pangan. Sampel dari budidaya air tawar terlihat memiliki total serat pangan yang lebih tinggi dibandingkan sampel dari budidaya air laut. Hal ini dimungkinkan tingginya mineral dalam budidaya air laut, sehingga berikatan dengan serat pangan dalam *S. platensis*, dengan demikian serat pangan dalam kondisi bebasnya lebih sedikit dan berimplikasi pada hasil pengukuran serat pangan yang lebih rendah.

Karakteristik Sifat Fungsional Biomassa Kering Bubuk *Spirulina platensis*

Sifat fungsional *Water Holding Capacity* (WHC) dan *Oil Holding Capacity* (OHC) *S. platensis* dipengaruhi oleh asal budidaya ($p < 0,05$), sedangkan WSI (*Solubility*), kemampuannya membentuk busa (*Foaming Capacity*, FC) serta kapasitas emulsinya (*Emulsion Capacity*, EC) tidak dipengaruhi oleh asal budidaya ($p > 0,05$) (Tabel 6). Angka WHC yang diperoleh pada penelitian ini mirip dengan WHC pada isolat protein kacang-kacangan yaitu berkisar antar 3-4 mL/g (Subagio, 2006; Onyango dkk., 2004). WHC penting dalam sifat-sifat fungsional pangan yang dipengaruhi oleh ukuran pori-pori, muatan molekul protein.

Tabel 6. Sifat fungsional *S. platensis* dari budidaya air laut dan air tawar

Asal	WHC mL/g	WSI %	OHC mL/g	EC mL/g	FC
Laut	4,46 ^a	51,30 ^a	2,35 ^a	104,57 ^a	1,49 ^a
Tawar	3,37 ^b	50,85 ^a	2,85 ^b	100,84 ^a	1,58 ^a

Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda dalam kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$).

Keterangan: WHC: *Water Holding Capacity*, WSI: *Water Soluble Index*, OHC: *Oil Holding Capacity*, FC: *Foaming Capacity*, EC: *Emulsifying Capacity*

Adebowale dan Lawal, (2004) berpendapat bahwa nilai WHC dipertimbangkan sebagai penyiapan produk pangan yang berkaitan dengan viskositas pangan seperti sup, adonan dan produk *bakery*.

Nilai OHC sampel yang diuji mirip dengan OHC isolat protein biji enceng gondok sebesar 2,54% (Subagio, 2006). Kemampuan mengikat lemak yang cukup besar ini dimungkinkan karena asam amino yang terdapat dalam *S. platensis* terutama asam amino yang bersifat hidrofobik. Richmond (1988) mengungkapkan bahwa *Spirulina* yang diproduksi di Mexico mengandung 17 asam amino. Setyaningsih dkk. (2011) juga menemukan asam amino yang sama pada *S. fusiformis*. Cohen (1997) menjelaskan bahwa *Spirulina* terutama mengandung asam amino leusin (10,9% dari total asam amino), valin (7,5%) dan iso leusin (6,8%). Ketiga jenis asam amino tersebut merupakan asam amino yang bersifat hidrofobik. Sampel yang berasal dari air tawar memiliki WHC yang lebih rendah dan memiliki OHC yang lebih tinggi dibandingkan sampel air laut. Jika dihubungkan dengan densitasnya keadaan ini bertentangan, karena pada sampel air tawar justru densitasnya lebih rendah. Hal yang mungkin dapat menerangkan bahwa media budidaya mungkin mempengaruhi konformasi protein *S. platensis*, sehingga proporsi asam amino hidrofilik dan hidrofobik berada dalam posisi yang berbeda, akibatnya terjadi perbedaan kapasitas pengikatan air dan lemak.

Kemampuan *S. platensis* untuk larut air (WSI) terlihat kurang baik, meskipun kadar proteinnya tinggi. Hal ini dijelaskan oleh Chaiklahan dkk. (2013) bahwa *S. platensis* akan lebih mudah larut dalam air bersuhu tinggi, ataupun pada larutan yang asam. Pengujian yang dilakukan menggunakan air suhu ruangan, dengan demikian dapat dipahami kelarutannya yang cukup rendah tersebut.

Pengujian kemampuan membentuk busa (FC) dilakukan pada sampel tanpa pengaturan pH, sampel berada pada pH alamiahnya (pH 6,3). Sampel asal budidaya laut dan tawar memiliki kemampuan yang sama dalam membentuk busa. Devi dan Venkataraman (1984) menyebutkan bahwa kemampuan membentuk busa *S. platensis* akan menurun pada titik isoelektriknya yaitu pada pH 3, dan akan maksimal pada pH alkali (pH 10). Hal ini dimungkinkan karena *S. platensis* dibudidayakan pada pH yang alkali (pH 8-11). Kemampuan membentuk busa ini dapat dimanfaatkan pada saat ditambahkan pada produk makanan terutama pada minuman.

Kapasitas *S. platensis* dalam proses emulsifikasi kedua sampel cukup besar. Namun demikian, stabilitas emulsinya rendah, setelah 24 jam emulsi akan terpisah. Devi dan Ventakaram (1984) menyebutkan bahwa *defatted S. platensis* memiliki kapasitas emulsi yang lebih rendah dibandingkan *defatted* kedelai. Sampel meskipun tidak mengalami *defatted*,

namun kadar lemaknya sangat rendah hanya sebesar 0,51 dan 0,59% saja, hal ini dapat mempengaruhi stabilitas emulsinya. Sifat emulsifikasi ini diperlukan dalam proses pembuatan produk pangan serta pada proses pencernaan *S. platensis* dalam tubuh.

KESIMPULAN

Budidaya *S. platensis* dalam media air laut meningkatkan kandungan abu dan mineral (Ca, Mg, P). *S. platensis* dari media budidaya air laut berpotensi sebagai alternatif sumber kalsium. Media budidaya air laut juga meningkatkan kandungan karbohidrat (pati dan total serat pangan) biomassa namun menurunkan kandungan gula total serta serat pangan. Serat pangan *S. platensis* terutama berupa serat pangan tak larut. Sifat fungsional WHC *S. platensis* hasil budidaya air laut lebih tinggi dibandingkan air tawar, namun sifat fungsional OHC sebaliknya. Media budidaya tidak mempengaruhi WSI, kapasitas membentuk busa dan emulsifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adebowale, K.O. dan Lawal, O.S. (2004). Comparative study of the functional properties of bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*), jack bean (*Canavalia ensiformis*) and mucuna bean (*Mucuna pruriens*) flours. *Food Research International* **37**(4): 355-365.
- Agüero, J., Lora, J., Estrada, K., Concepcion, F., Nunez, A., Rodriguez, A. dan Pino, J.A. (2003). Volatile components of a commercial sample of the blue-green algae *Spirulina platensis*. *Journal of Essential Oil Research* **15**(2): 114-117.
- Anonim. (2011). *Notice to US Food and Drug Administration that the use of Certified Organic Spirulina (Arthrospira platensis) is Generally Recognize as Safe*. E.I.D. Parry (India) Limited, Parry Nutraceuticals Division, Dare House. Chennai, India.
- AOAC. (1995). *Official Method of Analysis. Association of Official Analytical Chemist*(AOAC). 16th Edition. Published by the Association of Official Analytical Chemist. Washington DC, USA.
- Asp, N. G., Johansson, C. G., Hallmer, H. dan Siljestroem, M. (1983). Rapid enzymic assay of insoluble and soluble dietary fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **31**(3): 476-482.
- Babadzhanov, A.S., Abdusamatova, N., Yusupova, F.M., Faizullaeva, N., Mezhlumyan, L.G. dan Malikova, M.K. (2004). Chemical composition of *Spirulina platensis* cultivated in Uzbekistan. *Chemistry of Natural Compounds* **40**(3): 276-279.
- Belay, A. (2008). *Spirulina (Arthrospira): Production and Quality Assurance*. Dalam: Gershwin M.E. dan A. Belay (ed.). hal 1-26. *Spirulina in Human*. CRC Press.
- Borowitzka, M.A. dan Borowitzka, L.J. (1988). *Micro-algal Biotechnology*. Cambridge University Press.
- Brody (1994). *Human Nutrition in The Developing World*. FAO Food and Nutrition Series No. 29. Food and Agricultural Organization of The United Nation. Rome.
- Brown, A.D. dan Borowitzka, L.J. (1979). Halotolerance of *Dunaliella*. Dalam: Levandowsky, M., dan Huntner, S.H. (Eds.), hal 139–190. *Biochemistry and Physiology of Protozoa*. Academic Press, New York.
- Chaiklahan, R., Chirasuwan, N., Triratana, P., Loha, V., Tia, S. dan Bunnag, B. (2013). Polysaccharide extraction from *Spirulina* sp. and its antioxidant capacity. *International Journal of Biological Macromolecules* **58**: 73-78.
- Choi, G.G., Bae, M.S., Ahn, C.Y. dan Oh, H.M. (2008). Induction of axenic culture of *Arthrospira (Spirulina) platensis* based on antibiotic sensitivity of contaminating bacteria. *Biotechnology Letters* **30**(1): 87-92.
- Ciferri, O. (1983). *Spirulina, the edible microorganism*. *Microbiological Reviews* **47**: 551-578.
- Cohen, Z. (1997). The chemicals of *Spirulina*. Dalam: Vonshak, A. (ed). *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology*, hal 175-204. Taylor and Francis, London.
- Costa, J.A.V., Colla, L.M., Filho, P.D., Kabke, K. dan Weber, A. (2002). Modelling of *Spirulina platensis* growth in fresh water using response surface methodology. *World Journal Microbiology Biotechnology* **18**: 603-607.
- Devi, M.A. dan Venkataraman, L.V. (1984). functional properties of protein products of mass cultivated blue-green alga *Spirulina platensis*. *Journal of Food Science* **49**(1): 24-27.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J. K., Rebers, P. dan Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry* **28**(3): 350-356.
- Gupta, S., Hrishikeshvan, H.J. dan Sehajpal, P.K. (2010). *Spirulina* protects against Rosiglitazone induced osteoporosis in insulin resistance rats. *Diabetes Research and Clinical Practice* **87**: 38-43.
- Habib, M.A.B., Parvin, M., Huntington, T.C. dan Hasan, M.R. (2008). *A review on culture, production and use*

- of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish.* Food and Agriculture Organization of The United Nations.
- Henrikson, R. (2009). *Earth Food Spirulina. Essential Fatty Acid and Phytonutrients.* Ronore Enterprises, Inc. California.
- Hu, Q. (2004). Environmental effects on cell composition. *Dalam: Richmond, A (Ed). Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Science*, hal 83-93. Oxford: Blackwell Science Publishing.
- Jimenez, C., Cossio, B.R. dan Niell, F.X. (2003). Relationship Between Physiochemical variables and productivity in open ponds for the production of *Spirulina*: A predictive model of algal yield. *Aquaculture* **221**(1-4): 331-345.
- Koca, N., Karadeniz, F. dan Burdurlu, H.S. (2007). Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry* **100**(2): 609-615.
- Lee, J., Hayashi, T., Hayashi, K. dan Sankawa, U. (2000). Structural analysis of calcium spirulan (Ca-SP)-derived oligosaccharides using electrospray ionization mass spectrometry. *Journal Natural Product* **63**: 136-138.
- Leema, J.M., Kirubakaran, R., Vinithkumar, N.V., Dheenan, P.S. dan Karthikayulu, S. (2010). High value pigment production from *Arthrospira (Spirulina) platensis* cultured in seawater. *Bioresource Technology* **101**(23): 9221-9227.
- Lodi, A., Binaghi, L., De Faveri, D., Carvalho, J.K.L., Convert, A. dan Del-Borghì, M. (2005). Fed batch mixotrophic cultivation of *Arthrospira (Spirulina) platensis* (Cyanophyceae) with carbon source feeding. *Annals of Microbiology* **55**(3): 181-185.
- Madkour, F.F., Kamil, A.E.W. dan Nasr, H.S. (2012). Production and nutritive value of *Spirulina platensis* in reduced cost media. *The Egyptian Journal of Aquatic Research* **38**(1): 51-57.
- Makri, E., Papalamprou, E. dan Doxastakis, G. (2005). Study of functional properties of seed storage proteins from indigenous European legume crops (lupin, pea, broad bean) in admixture with polysaccharides. *Food Hydrocolloids* **19**(3): 583-594.
- Marek, R.W., Bazin, M.J. dan Hohn, P. (1987) Computer control of carbon-nitrogen ratio in *Spirulina platensis*. *Biotechnology and Bioengineering* **29**: 520-528.
- Markou, G., Chatzipavlidis I. dan Georgakakis, D. (2012). Effects of phosphorus concentration on the biomass composition of *Arthrospira (Spirulina) platensis*. *World Journal Microbiology Biotechnology* **28**: 2661-2670.
- Marquez, F.J., Nishio, N. dan Nagai, S. (1995). Enhancement of biomass and pigment production during growth of *Spirulina platensis* in mixotrophic culture. *Journal Chemical Technology Biotechnology* **962**: 159-164.
- Marquez, F.J., Sasaski, K., Kakizono, T, Nishio, N. dan Nagai, S. (1993). Growth characteristic of *Spirulina platensis* in mixotropic and heterotrophic condition. *Journal Fermentation Bioengineering* **76**(5): 408-410.
- Onyango, C., Henle, T., Ziems, A., Hofmann, T. dan Bley, T. (2004). Effect of extrusion variables on fermented maize–finger millet blend in the production of uji. *LWT-Food Science and Technology* **37**(4): 409-415.
- Planes, P., Rouanet, J.M., Laurent, C., Baccou, J.C., Besançon, P. dan Caporiccio, B. (2002). Magnesium bioavailability from magnesium-fortified spirulina in cultured human intestinal Caco-2 cells. *Food Chemistry* **77**(2): 213-218.
- Ravelonandro, P.H., Ratianarivo, D.H., Cassan, C.J., Isambert, A. Dan Raherimandimby, M. (2011). Improvement of the growth of *Arthrospira (Spirulina) platensis* from Toliara (Madagascar): effect of agitation, salinity and CO2 addition. *Food and Bioproducts Processing* **89**: 209-216.
- Richmond, A. (1988). *Spirulina. Dalam: Borowitzka, M.A. dan L.J. Borowitzka. 1988. (ed.). Microalgae Biotechnology*, hal 85-121. Cambridge University Press, England.
- Salmean, G.G., Castillo, L.F., Cavallos, G.C. (2015) Nutritional and toxicological aspects of *Spirulina (Arthrospira)*. *Nutricion Hospitalaria* **32**(1): 34-40.
- Sassano, C.E.N., Gioielli, L.A., Ferreira, L.S., Rodrigues, M.S., Sato, S., Converti, A. dan Carvalho, J.C.M. (2010). Evaluation of the composition of continuously-cultivated *Arthrospira (Spirulina) platensis* using ammonium chloride as nitrogen source. *Biomass and Bioenergy* **34**(12): 1732-1738.
- Sediaoetama, A.D. (2000). *Ilmu Gizi (untuk Mahasiswa dan Profesi di Indonesia)*. Jilid 2. Dian Rakyat, Jakarta.
- Setyaningsih, I., Saputra, A.T. dan Uju. (2011). Komposisi kimia dan kandungan pigmen *Spirulina fusiformis* pada umur panen yang berbeda dalam media pupuk. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* **14**(1): 63-69.
- Shekharam, K.M., Venkataraman, L.V. dan Salimath, P.V. (1987). Carbohydrate composition and characterization of two unusual sugars from the blue green alga *Spirulina platensis*. *Phytochemistry* **26**(8): 2267-2269.

- Shekharam, M.K., Venkataraman, L.V. dan Salimath, P.V. (1989). Structural studies of a glucan isolated from blue green alga *Spirulina platensis*. *Food Chemistry* **31**: 85-91.
- Singh, P., Singh, R., Jha, A., Rasane, P. dan Gautam, A.K. (2015). Optimization of a process for high fibre and high protein biscuit. *Journal of Food Science and Technology* **52**(3): 1394-1403.
- Subagio, A. (2006). Characterization of hyacinth bean (*Lablab purpureus* (L.) sweet) seeds from Indonesia and their protein isolate. *Food chemistry* **95**(1): 65-70.
- Suminto (2009). Penggunaan jenis media kultur teknis terhadap produksi dan kandungan nutrisi sel *Spirulina platensis*. *Jurnal Saintek Perikanan* **4**(2): 53-61.
- Tietze, H.W. (2004). *Spirulina. Micro Food Macro Blessing*. 4th ed. Harald W. Tietze Publishing. Australia.
- Trilaksani, W., Setyaningsih, I. dan Masluha, D. (2015). Formulation of red seaweed and *Spirulina platensis* based jelly drinks. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* **18**(1): 74-82.
- Tri-Panji, Suharyanto, Rakaya, E. dan Hasim (1995). Penggunaan serum lateks skim sebagai medium produksi protein sel tunggal oleh *Spirulina platensis*. *Menara Perkebunan* **63**(3): 114-122.
- Urbano, G., Lopez-Jurado, M., Fernandez, M., Moreu, M.C., Porres-Foulquie, J., Frias, J. dan Vidal-Valverde, C. (1999). Ca and P bioavailability of processed lentils as affected by dietary fiber and phytic acid content. *Nutrition Research* **19**(1): 49-64.
- Winarno, F.G. (2008). *Kimia Pangan dan Gizi*. Edisi Revisi. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Yu, J., Ahmedna, M. dan Goktepe, I. (2007). Peanut protein concentrate: Production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry* **103**(1): 121-129.