

**TEKNOLOGI PENGKAYAAN UNSUR-UNSUR N, P, Fe
PADA RUMPUT LAUT *Gracilaria verrucosa****ENRICHMENT TECHNOLOGY OF N, P, Fe ELEMENTS TO SEAWEE *Gracilaria verrucosa****Eka Rosyida¹, Enang H. Surawidjaja¹, Sugeng H. Suseno² dan Eddy Supriyono¹**¹Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan, Institut Pertanian Bogor²Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga, Bogor, Indonesia

e-mail : eka_ros@hotmail.com; enang_harris@yahoo.com; sug_thp@yahoo.com; eddy_supriyono@yahoo.com

Diterima tanggal: 19 Mei 2014, diterima setelah perbaikan: 20 November 2014, disetujui tanggal: 2 Desember 2014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji respon pertumbuhan *Gracilaria verrucosa* melalui teknologi pengkayaan N,P dan Fe sebagai unsur hara makro dan mikro ke dalam media budidaya. Metode penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 3 ulangan, yaitu tanpa pengkayaan nutrisi/non-enriched (A), pengkayaan N (B), pengkayaan N+P (C) dan pengkayaan N+P+Fe (D). Hasil penelitian menunjukkan pengkayaan N+P+Fe memberi pengaruh yang lebih tinggi terhadap pertumbuhan *G. verrucosa* dan berbeda secara signifikan dengan perlakuan lainnya ($p < 0.05$). Disamping itu, klorofil dan konsentrasi N, P, Fe pada rumput laut juga terdeteksi lebih tinggi pada perlakuan tersebut. Dengan demikian dapat dikatakan teknologi pengkayaan dengan menggunakan kombinasi unsur hara makro (N,P) dan mikro (Fe) dalam budidaya *G. verrucosa* dapat meningkatkan pertumbuhan secara signifikan sehingga dapat dipertimbangkan untuk diaplikasikan dalam budidaya rumput laut tersebut. Meskipun secara umum kadar dan karakteristik physico-kimia agar lebih baik pada perlakuan pengkayaan N+P, namun kadar agar dan *gel strength*nya tidak berbeda dengan perlakuan pengkayaan N+P+Fe.

Kata kunci: pengkayaan, pertumbuhan, klorofil, kadar agar, physico-kimia agar

ABSTRACT

This study was aimed to assess the growth response of *Gracilaria verrucosa* after enrichment of N, P and Fe nutrients to the cultivation medium. The experiment was a complete randomized design with four treatments and in triplicate : non-enriched (A); enriched with N (B); enriched with N+P (C); and enriched with N+P+Fe (D). The results showed N+P+Fe treatment affect significantly higher on growth of *G. verrucosa* and significantly different compare to others ($p < 0.05$). In addition, the seaweed chlorophyll content and N,P,Fe tissue retained were also high in those treatment. Hence, enrichment technology with the application of both macro (N, P) and micro (Fe) elements would become considerable to the massive culture of seaweed. Eventhough in general the yield and properties of agar revealed a good performance in N+P treatment, however, the agar content and gel strength was not different with N+P+Fe treatment.

Keywords: enrichment, growth, chlorophyll, agar yield, physico-chemistry of agar

PENDAHULUAN

Gracilaria verrucosa merupakan salah satu *Rhodophyta* penghasil polisakarida berupa agar yang sangat penting untuk berbagai industri, misalnya industri makanan, kertas, obat-obatan, dll. Kualitas alga merah ini selain ditekankan pada kandungan agar, juga dilihat dari kekuatan gel agar (agar *gel strength*) sesuai aplikasi dan penggunaannya secara komersial.

Di alam, salah satu faktor utama yang meregulasi pertumbuhan, reproduksi dan biokimia dari rumput laut adalah nutrisi (Macler, 1986; Cole dan Sheath, 1990; Lobban dan Harrison, 1997), disamping faktor cahaya, pergerakan arus dan salinitas. De Boer (1981) menegaskan inorganic nutrisi yang terdapat di perairan merupakan faktor pembatas yang sangat penting dalam produktivitas rumput laut. Hal ini diperkuat oleh hasil analisis yang menunjukkan ada sekitar 56 unsur nutrisi yang terdapat dalam jaringan rumput laut tersebut.

Sehubungan dengan hal tersebut, dalam media budidaya yang terkontrol telah banyak dilakukan penelitian teknologi pengkayaan nutrisi untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi makroalga tersebut.

Budidaya *G. verrucosa* di Indonesia telah berkembang cukup luas, dimana hasil budidaya dipengaruhi oleh kondisi yang bervariasi, seperti sumber air, iklim terutama terkait cahaya matahari/hujan, dll. Kondisi lingkungan yang berbeda antara satu daerah dengan daerah lainnya di Indonesia menyebabkan kualitas agar yang diperoleh dan harga dipasaran berbeda pula. Penerapan sistem budidaya rumput laut umumnya hanya mengandalkan air yang tersedia yang berada disekitar tambak, sementara pada sebagian pembudidaya ada pula yang menambahkan Nitrogen (N) atau N+P (phosphate)/NPK (kalium) untuk meningkatkan pertumbuhan *Gracilaria*. Penggunaan unsur hara mikro, misalnya Fe, belum pernah diaplikasikan dalam budidaya *Gracilaria*, sedangkan unsur ini diketahui juga penting dalam pertumbuhan sel alga merah tersebut (Liu *et al.*, 2000; Kakita dan Kamishima, 2007). Fe merupakan diantara unsur-unsur yang dibutuhkan oleh semua alga, dan secara umum berfungsi membantu aktivasi kerja enzim (De Boer, 1981). Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji respon pertumbuhan *G. verrucosa* melalui teknologi pengkayaan N,P dan Fe sebagai unsur hara makro and mikro ke dalam media budidaya. Hasil panen yang berasal dari perlakuan pengkayaan yang berbeda diharapkan dapat memberi gambaran tentang kualitas rumput laut dan agar yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

2. 1. Tumbuhan Uji dan Kondisi Budidaya *Gracilaria verrucosa*

Bibit *Gracilaria verrucosa* yang digunakan berasal dari tambak Desa Muara Gembong Bekasi. Budidaya dilakukan di Balai Pengembangan Budidaya Air Payau dan Laut (BPBAPL) Desa Pusakajaya Utara Kecamatan Cilebar, Karawang, Jawa Barat. Media budidaya adalah wadah persegi berukuran 2x1,5x0,80 (m) terbuat dari bambu dilapisi terpal plastik berwarna biru. Untuk menjamin adanya sinar matahari dan menghindari jatuhnya air hujan ke media budidaya, pada sekitar

1,5 m di atas media ditempatkan atap plastik bening transparan. Pada tiap wadah dipelihara rumput laut sebanyak 15 kg dengan volume air mencapai 1,5 m³. Sumber air berasal dari saluran yang digunakan untuk mengairi tambak di sekitar Balai.

Pengkayaan dilakukan seminggu sekali dan penggantian air dilakukan setiap 3 hari sekali (Truno, 1988) sebesar 50% dari air media. Sebagai sumber N adalah Urea (46% N), P adalah SP (36% P₂O₅) dan Fe adalah FeCl_{3,6}H₂O. Sebelum dan setelah periode budidaya, dilakukan pengukuran terhadap parameter kualitas air meliputi salinitas, suhu, oksigen terlarut (DO), dan pH, serta pengukuran terhadap kandungan N,P, dan Fe dalam air media dan jaringan thallus rumput laut.

Penelitian pengkayaan ini merupakan bagian dari penelitian yang berkelanjutan, dimana data yang diinginkan adalah data pertumbuhan optimum untuk kemudian dibuat perlakuan lanjutan. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan selama 2 minggu dengan pertimbangan rumput laut dapat mencapai pertumbuhan maksimumnya pada fase 2-3 minggu apabila budidaya dilakukan di bak terkontrol. Hal ini mengacu pada hasil-hasil penelitian sebelumnya, dimana *Gracilaria* sp. yang diberi urea dan TSP atau yang memanfaatkan limbah ekskresi udang pertumbuhannya meningkat di 2-3 minggu pertama, dan kemudian terus menurun hingga akhir penelitian (Patadjai, 1993; Marinho-Soriano *et al.* 2002; Sakdiah, 2009). Penelitian menggunakan konsentrasi nutrisi yang terpilih pada percobaan pendahuluan, yaitu masing-masing N=50 ppm, P=5 ppm dan Fe=2 ppm. Setelah 2 minggu pemeliharaan, rumput laut dipanen dan ditimbang. Rumput laut segar diambil sebanyak masing-masing 50 g untuk tiap perlakuan untuk keperluan analisis klorofil, serta kandungan N,P,Fe thallus. Selanjutnya, sisa dari rumput laut dikeringkan untuk kemudian dianalisa kandungan agar dan karakteristik physico-kimia agarnya.

2.2. Rancangan Percobaan

Penelitian teknologi pengkayaan rumput laut menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan masing-masing dibuat 3 ulangan, yaitu tanpa pengkayaan nutrisi (A), pengkayaan N (B), pengkayaan N+P (C) dan pengkayaan N+P+Fe (D) ke dalam air media budidaya.

3.3. Parameter Uji

Untuk mengetahui laju pertumbuhan harian (*Daily Growth Rate* = DGR), perhitungan dilakukan berdasar Lignell et al. (1987) dalam Villanueva et al. (2009) sebagai berikut :

$$\text{DGR (g berat basah)} = [(W_t/W_0)^{1/t} - 1] \times 100$$

dimana : W_t = berat awal,
 W_0 = berat akhir,
 t = waktu pada umur ke-t

Pengukuran klorofil dilakukan dengan menimbang sampel rumput laut seberat 0,5 g (berat basah), ditiriskan, lalu dilumatkan dengan mortar/penumbuknya dalam *buffer solution phosphate* (pH 6,5) untuk menghancurkan dinding sel. Hasil ekstraksi dituang ke dalam tabung *centrifuge* hingga 10 ml lalu di-*centrifuge* selama 20 menit pada 2500 rpm sehingga menghasilkan larutan yang mengandung pellet. Pellet kemudian direndam kembali di dalam 5 ml acetone 80% (reagen analisis) dan diaduk dengan *homogenizer* untuk mengekstraksi klorofil. Sampel kemudian di-*centrifuge* kembali selama 20 menit pada 2500 rpm, lalu dibaca pada *absorbance* 664 nm untuk klorofil dan 710 nm larutan blanko.

Uji terhadap N dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer pada kisaran 0,1 sampai 2,0 mg/L dengan menggunakan metode brusin dengan alat spektrofotometer pada panjang gelombang 410 nm. Sedangkan penentuan kadar fosfat dengan metode spektrofotometer secara asam askorbat (SNI 06-6989.31-2005) pada kisaran kadar 0,0 mg P/L sampai dengan 1,0 mg P/L. Untuk pengukuran Fe secara fotometris dengan sistem warna mengikuti hukum Beer pada panjang gelombang 510 nm.

Agar diekstraksi dengan menimbang sebanyak 50 g rumput laut kering, dan direndam dalam larutan kaporit 0,25 % selama 3 x 24 jam, dibilas dan dibersihkan, lalu direndam air tawar selama 3 jam. Sesudah itu, rumput laut direndam H₂SO₄ 0,1 % selama 15 menit dan dicuci sampai bersih, lalu direndam air tawar kembali selama 15 menit. Selanjutnya, rumput laut dimasak dengan aquadest sebanyak 1500 mL, disaring dan dituang ke dalam baki dan dikeringkan. Agar yang telah kering kemudian ditimbang. Kandungan agar dalam

rumpuit laut kering (*rendemen/yield*) dihitung setelah di ekstraksi :

$$\text{Rendemen(\%)} = \frac{\text{Berat Kadar agar}}{\text{Berat Rumpuit Laut}} \times 100\%$$

Analisis kekuatan gel dilakukan dengan cara menyiapkan larutan agar dalam konsentrasi 1,5 % (b/v), dipanaskan selama 10 menit sambil diaduk. Larutan panas dimasukkan ke dalam cetakan berdiameter 3 cm dengan tinggi 4 cm. Larutan agar dibiarkan membentuk gel selama semalam. Pengukuran dilakukan dengan alat *texture analyser* dengan *probe* seluas 0,9123 cm². Sampel diletakkan di bawah *probe* dan dibawah penekanan beban 97 g. Tinggi kurva diukur dengan menggunakan jangka sorong.

Analisis viskositas agar dilakukan dengan menggunakan *viscometer Brookfield*. Larutan agar dengan konsentrasi 1,5 % dipanaskan dalam bak air mendidih sambil di aduk secara teratur sampai suhu mencapai 75° C, kemudian nilai viskositas dapat diketahui dengan pembacaan pada skala 1 sampai 100. Pembacaan dilakukan setelah 1 menit putaran penuh 2 kali untuk *spindle* no.1.

Uji kadar abu (AOAC, 2000) dilakukan dengan memasukkan sampel seberat 2-3 g ke dalam cawan kering yang telah diketahui bobotnya, kemudian dipijarkan dalam tanur 600° C sampai diperoleh abu berwarna keputihan. Cawan dan abu dimasukkan ke dalam desikator dan di timbang beratnya setelah dingin. Cawan dan abu dimasukkan ke dalam tanur selama 30 menit dan dimasukkan dalam desikator. Setelah dingin ditimbang kembali, dan perlakuan terus diulang hingga diperoleh berat abu yang konstan. Kadar abu ditentukan berdasarkan rumus:

$$\text{Kadar abu(\%)} = \frac{\text{Berat abu(g)}}{\text{Berat sampel(g)}} \times 100\%$$

Uji kadar sulfat menggunakan sampel agar seberat 1 g dan dimasukkan ke dalam *Erlenmeyer*, ditambahkan 50 mL HCl 0,2 N, kemudian direfluks (6 jam). Larutan dipindahkan ke dalam gelas piala dan dipanaskan sampai mendidih, lalu ditambahkan 10 mL BaCl₂ 10% di atas pemanas air selama 2 jam. Endapan yang terbentuk disaring dengan kertas saring whattman 1 lalu dicuci dengan akuades mendidih hingga bebas klorida.

Kertas saring dikeringkan dalam oven dan diabukan pada suhu 1000° C. Abu didinginkan dalam desikator kemudian ditimbang. Perhitungan kadar sulfat adalah:

$$\text{Kadar sulfat}(\%) = \frac{P \times 0,4116}{\text{Berat sampel}(g)} \times 100\%$$

keterangan: 0,4116 = massa atom relative SO₄
dibagi massa atom relative BaSO₄,
P = bobot endapan BaSO₄

Kandungan air dalam agar di uji dengan memasukkan sampel 5 g ke dalam cawan yang telah dikeringkan dalam oven 100-102° C selama 15 menit dan telah diketahui bobotnya. Sampel dalam cawan dikeringkan selama 6 - 16 jam (suhu 100-102° C). Cawan kemudian dipindahkan ke dalam desikator sampai bobotnya tetap kemudian ditimbang kembali. Kadar air (%) diperoleh dari:

$$\frac{\text{Berat sampel}(\text{awal}(g) - \text{kering}(g))}{\text{Berat sampel awal}(g)} \times 100\%$$

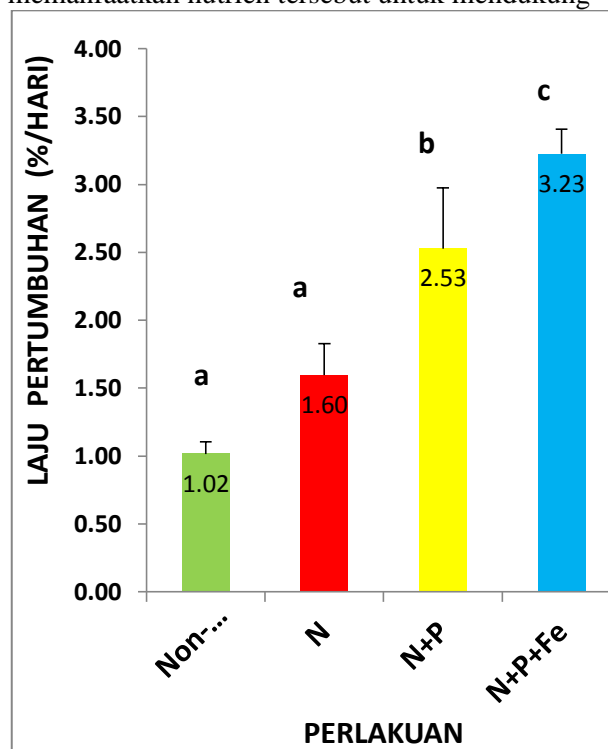
Data hasil penelitian diolah dengan analisis ragam (oneway anova, $p < 0.05$), dilanjutkan dengan *posthoc Fisher* (LSD) menggunakan program *MS Excel* dan *SPSS*. Hubungan antar parameter dianalisis menggunakan *pearson correlation*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknologi pengkayaan berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan *G. verrucosa* pada penelitian ini ($p < 0.05$). Laju pertumbuhan rumput laut dapat mencapai hingga 3.23±0.18 % perhari setelah dibudidayakan dalam bak-bak terkontrol (Gambar 1). *Posthoc comparison* menunjukkan bahwa pengkayaan N+P+Fe memberi pengaruh yang lebih tinggi terhadap pertumbuhan *G. verrucosa* dan berbeda secara signifikan dengan perlakuan lainnya ($p < 0.05$).

Pengkayaan berbagai nutrisi dalam media budidaya pada penelitian ini telah meningkatkan pertumbuhan *G. verrucosa* secara signifikan ($p < 0.05$). Review oleh Briggs dan Smith (1993) menyebutkan bahwa pengkayaan nutrisi yang dilakukan dengan menggunakan konsentrasi yang

tepat menyebabkan *Gracilaria* mampu memanfaatkan nutrisi tersebut untuk mendukung



Gambar 1. Laju pertumbuhan harian *Gracilaria verrucosa* pada berbagai perlakuan.

Diagram yang ditandai dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata ($p > 0.05$).

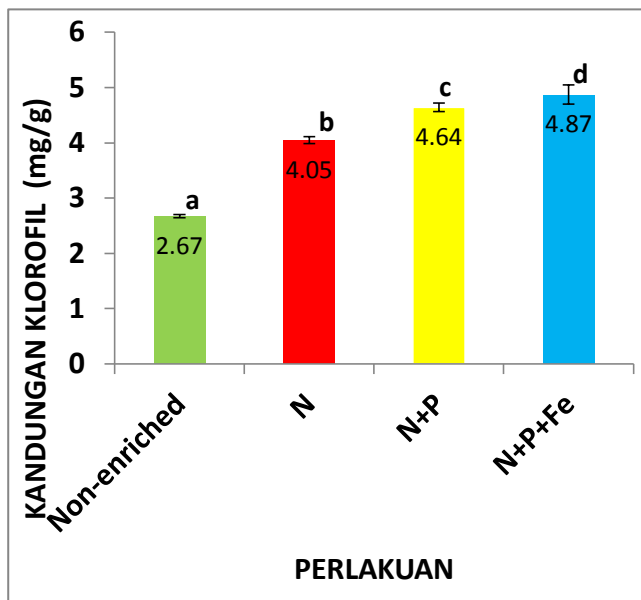
Figure 1. Daily growth rate of *G. verrucosa* in different treatments. Bars marked with the same letter indicate non-significant difference ($p > 0.05$)

pertumbuhan maksimumnya. Di samping itu, secara umum kualitas air pada saat penelitian berada pada kisaran yang memenuhi persyaratan dalam mendukung pertumbuhan *Gracilaria* (DO: 3.3-3.8, pH: 7.7-8.3, temperatur: 25-30°C, and salinitas: 18-20 %).

Perlakuan pengkayaan yang berbeda pada media kultur juga berpengaruh signifikan terhadap kandungan klorofil *G. verrucosa* setelah dibudidayakan ($p < 0.05$) (Gambar 2). Klorofil pada perlakuan N+P+Fe adalah yang tertinggi dibanding perlakuan lainnya dan berbeda nyata terhadap perlakuan lainnya ($p < 0.05$).

Ahmad et al. (2011) menyatakan kandungan klorofil rumput laut meningkat terhadap respon kandungan nitrogen dalam kolom air. Korelasi linier antara nutrisi (utamanya total phosphor dan total nitrogen) dan klorofil telah ditunjukkan

oleh beberapa peneliti sebelumnya (Brown et al., 2000). Penelitian ini memperkuat asumsi tersebut bahwa pemberian nutrisi berpengaruh nyata terhadap kandungan klorofil rumput laut *Gracilaria* sp. ($p < 0,05$). Di samping itu, pada penelitian ini didapatkan adanya korelasi

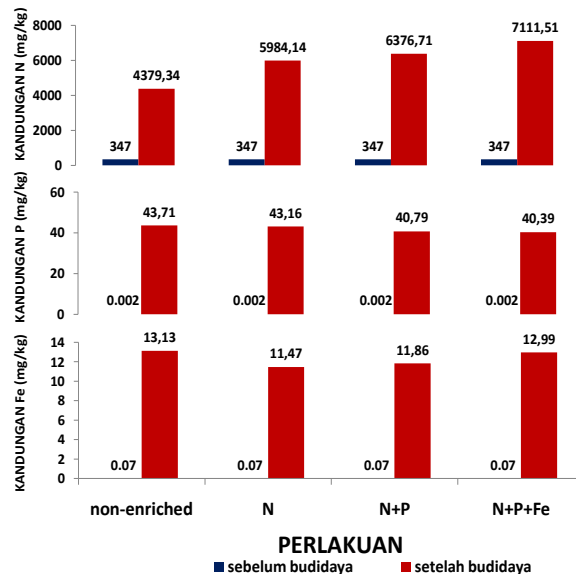


Gambar 2. Kandungan klorofil *Gracilaria verrucosa* setelah dibudidayakan pada berbagai perlakuan. Diagram yang ditandai dengan huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata ($p < 0,05$).
 Figure 2. Chlorophyll content of *G. verrucosa* over cultivation in different treatments. Bars marked with different letter indicate significant difference ($p < 0.05$)

yang kuat antara pertumbuhan dengan jumlah klorofil pada *G. verrucosa* ($r = 0,71$). Pengkayaan nutrisi telah meningkatkan jumlah kandungan klorofil rumput laut dibanding perlakuan tanpa pengkayaan. Kandungan klorofil tertinggi terdeteksi pada alga yang dibudidayakan dengan medium pengkayaan N+P+Fe, dimana total nitrogen dalam jaringan thallusnya lebih tinggi dibanding perlakuan lainnya (Gambar 3). Keadaan serupa juga dilaporkan oleh Jones (1994), dimana ditemukan peningkatan klorofil *a* seiring dengan peningkatan total N pada jaringan rumput laut *Gracilaria*. Hasil ini diperkuat oleh penelitian Liu et al. (2000) yang menyimpulkan bahwa pada semua tumbuhan, peningkatan konsentrasi total nitrogen dan fiksasi karbon pada proses

fotosintesis terjadi secara bersamaan dan lebih dari 50% N dialokasikan pada kloroplas.

Aplikasi teknologi pengkayaan nutrisi pada penelitian ini menunjukkan meningkatnya kandungan unsur-unsur hara yang ditambahkan, utamanya unsur N, dimana kandungannya terdeteksi lebih tinggi pada rumput laut dengan perlakuan pengkayaan N+P+Fe dibanding dengan



Gambar 3. Kandungan N,P,Fe pada jaringan thallus *Gracilaria verrucosa* pada berbagai perlakuan.
 Figure 3. N, P, Fe tissue content of *G. verrucosa* in different treatments.

perlakuan lainnya. Kandungan N thallus yang tertinggi menunjukkan pertumbuhan rumput laut pada perlakuan tersebut lebih tinggi dibanding perlakuan lainnya. Hasil penelitian yang sama juga ditampilkan oleh Bird et al. (1981), dimana tingginya unsur N pada jaringan thallus berkorelasi dengan pertumbuhan rumput laut *G. verrucosa*. Pengkayaan zat besi (Fe), yang diberikan bersamaan dengan N dan P pada penelitian ini, kemungkinan telah membantu menstimulasi kerja enzim dalam proses respirasi dan fotosintesis. Di samping itu, dengan pengkayaan Fe memungkinkan metabolisme nitrogen dan asimilasi karbon meningkat sehingga pertumbuhan rumput laut menjadi lebih baik. Hal ini sesuai pendapat beberapa peneliti sebelumnya yang menyatakan bahwa selain sebagai co-faktor dalam mengaktivasi enzim (De Boer, 1981), unsur

Fe juga berperan membantu metabolisme nitrogen dan asimilasi karbon ((Liu et al. 2000; Cordover, 2007) dalam proses pertumbuhan rumput laut. Oleh sebab itu, Liu et al. (2000) melaporkan bahwa sel alga membutuhkan lebih banyak Fe untuk mempertahankan pertumbuhannya. Pengkayaan zat besi yang memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan *G.verrucosa* pada penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian pada spesies *Gracilaria* lainnya sebagaimana dilaporkan oleh Liu et al. (2000) serta Kakita dan Kamishima (2007). Disamping itu, hasil penelitian ini juga menambah referensi terkait regulasi Fe dalam metabolisme nitrogen terhadap makroalga.

Penyerapan Fe dan phosphor, juga tinggi pada perlakuan *non-enriched algae* pada penelitian ini. Terbatasnya N pada medium perlakuan non-enriched menyebabkan rumput laut menyerap unsur lainnya yang tersedia di dalam medium kultur. Asumsi ini berdasar pada Briggs dan Funge-Smith (1993) yang menyatakan bahwa sebagai tumbuhan penyaring/ filter, *Gracilaria* mempunyai kapasitas untuk mereduksi nutrien yang banyak terdapat di saluran pembuangan atau dalam media dimana rumput laut tumbuh. Tetapi walaupun pada thallus terdeteksi kandungan Fe yang tinggi, rendahnya kandungan N telah menyebabkan rendahnya pertumbuhan karena N diketahui sebagai substansi utama yang dibutuhkan untuk pertumbuhan sel tumbuhan.

Review oleh Briggs dan Funge-Smith (1993) menunjukkan bahwa konsentrasi nutrien atau pengkayaan nutrien dapat meningkatkan pertumbuhan, fotosintesis, kandungan protein dan *gel strength* agar dari *Gracilaria*. Pada penelitian ini, pengkayaan nutrien berpengaruh terhadap laju pertumbuhan, klorofil, dan juga *gel strength*, tetapi tidak berpengaruh terhadap kandungan agar. Hasil penelitian Bird et al. (1981), serta Lewis dan Hanisak (1996) menunjukkan tingginya kandungan N dalam jaringan thallus berbanding terbalik dengan kadar agar *G.verrucosa*. Hasil yang ditunjukkan dalam penelitian ini, meskipun perlakuan pengkayaan tidak berpengaruh nyata terhadap kadar agar, namun pada perlakuan pengkayaan N+P+Fe, dimana jaringan thallusnya mengandung unsur N yang lebih tinggi dibanding perlakuan lainnya, kadar agarnya terdeteksi lebih rendah dibanding yang tidak diberi perlakuan pengkayaan.

Kandungan agar (rendemen) dan physico-kimia agar hasil budidaya terdeteksi bervariasi antar perlakuan (Tabel 1). Agar yang berasal dari perlakuan N+P menunjukkan rendemen dan *gel strength* tertinggi dibanding perlakuan lainnya, tetapi kadar agar dan performa *gel strength* ini tidak berbeda dengan perlakuan N+P+Fe ($p>0,05$). *Gel strength* tertinggi pada perlakuan N+P diikuti dengan rendahnya kadar sulfat dan abu agar dibanding perlakuan lainnya. Kadar sulfat dan abu dari perlakuan pengkayaan N+P dapat dikategorikan memenuhi standar FAO, yaitu untuk sulfat dan abu masing-masing $< 5\%$ dan maksimal 4% . Pada penelitian ini, untuk semua perlakuan secara umum kadar sulfat menunjukkan hubungan terbalik dengan *gel strength* agar, dimana pada agar dengan kadar sulfat yang rendah memiliki *gel strength* yang tinggi. Sementara itu, kadar air terlihat lebih tinggi pada perlakuan dengan pengkayaan dibanding perlakuan tanpa pengkayaan, sedangkan viskositas adalah sebaliknya.

Tabel 1. Kadar agar dan karakteristik physico-kimia agar dari *Gracilaria verrucosa* hasil budidaya.
Table 1. Agar content and physico chemical properties of *G.verrucosa* after cultivation

KADAR DAN KARAKTERISTIK AGAR						
PERLAKUAN	RENDEMEN (%)	GEL STRENGTH (g/cm ²)	VISCOSITAS (cP)	KADAR SULFAT (%)	KADAR ABU (%)	KADAR AIR (%)
Non-Enriched	10.20±2.23 ^a	416.67±28.87 ^a	4.50±0.28	5.44±0.16	5.28±0.17	15.75±0.21
N	9.33±2.25 ^a	216.67±76.38 ^b	4.22±0.31	6.80±0.28	4.75±0.13	19.28±0.14
N+P	11.20±1.22 ^a	466.67±57.74 ^c	4.40±0.14	4.99±0.19	3.34±0.30	18.47±0.15
N+P+Fe	9.93±1.86 ^a	383.33±85.05 ^c	4.35±0.07	5.95±0.21	4.58±0.41	18.25±0.35

* Angka-angka yang diikuti superscript yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($p<0,05$).

Superscript marked with different letter indicate significant different ($p< 0.05$)

Sebagaimana penjelasan di atas, pengkayaan dengan N+P+Fe menunjukkan pertumbuhan yang lebih tinggi. Sedangkan, secara umum baik kuantitas maupun kualitas agar yang diperoleh dari perlakuan pengkayaan N+P lebih tinggi. Namun demikian, kadar agar dan *gel strength* yang diperoleh dari perlakuan ini tidak berbeda dengan perlakuan pengkayaan N+P+Fe, sehingga dapat dikatakan bahwa selain dapat meningkatkan produktivitas, pengkayaan dengan N+P+Fe dalam penelitian ini juga menghasilkan rumput laut dengan kadar agar dan performa *gel strength* yang cukup baik. Sejauh ini, belum ada studi terkait

mekanisme regulasi Fe terhadap kualitas agar. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu studi yang lebih detail dimasa yang akan datang, sehingga keterkaitan Fe sebagai nutrisi dalam media budidaya dengan kualitas agar yang dihasilkan oleh rumput laut dapat lebih dipahami.

KESIMPULAN DAN SARAN

Teknologi pengkayaan nutrisi dengan menggunakan kombinasi unsur hara makro (N,P) dan mikro (Fe) dalam budidaya *Gracilaria verrucosa* dapat meningkatkan laju pertumbuhan 2 kali lebih cepat dibanding tanpa pengkayaan, sehingga dapat dipertimbangkan untuk diaplikasikan dalam budidaya rumput laut. Meskipun secara umum perlakuan pengkayaan N+P memiliki karakteristik physico-kimia agar yang lebih baik, namun kadar agar dan *gel strength*nya tidak berbeda dengan perlakuan pengkayaan N+P+Fe.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dirjen Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan & Kebudayaan Republik Indonesia dan Dinas Kelautan & Perikanan Provinsi Sulawesi Tengah atas dukungan dana pada penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Balai Pengembangan Budidaya Air Payau dan Laut (BPBAPL) Karawang, Jawa Barat atas fasilitas selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, S.H., Surif, M., Wan Omar, W.M., Rosli, MN., & Nor, A.R. (2011). Nutrient uptake, growth and chlorophyll content of green seaweed, *Ulva reticulata*: Response to Different Source of Inorganic Nutrients. UMTAS.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. *Official methods of analysis* (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Inc. Gaithersburg, Maryland, USA.

Bird, K.T., Hanisak, M.D., & Ryther, J. (1981). Chemical quality and production of agars

extracted from *G. tikvahiae* grown in different nitrogen enrichment and condition. *Botanica Marina*, 24, 441-444.

Briggs, M.R.P., & Funge-Smith, S.J. (1993). *Macroalga in aquaculture: an overview and their possible roles in shrimp culture*. Paper presented at the Conference on Marine Biotechnology in the Asia Pacific Region, Bangkok, Thailand.

Brown, C.D., Hoyer, M.V., Bachmann, R.W., & Canfield, Jr.D.E. (2000). Nutrient-chlorophyll relationships: an evaluation of empirical nutrient-chlorophyll models using Florida and north-temperate lake data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57, 1574-1583.

Cole, K.M., & Sheath, R.G. (1990). *Biology of the red algae*. Cambridge University Press. Cambridge.

Cordova, R. (2007). *Seaweed agronomy: cropping in inland saline groundwater evaporation basins*. A report for the Rural Industries Research and Development Cooperation. Australia Government. 60 pp

De Boer, JA. (1981). Nutrients. In C.S. Lobban, & M.J. Wynne (Eds.). *The Biology of Seaweed* (Volume 17). Univ.of California Press, Berkeley and Los Angeles.

Jones, A.B. (1994). Influence of nitrogen source and availability on amino acids, pigments and tissue nitrogen of *Gracilaria edulis* (rhodophyta). Unpublish master's thesis, Dept.of Botany, Univ.of Queensland. Australia.

Kakita, H., & Kamishima, H. (2007). Effects of environmental factors and metal ions on growth of the red alga *Gracilaria chorda* Holmes (Gracilariales, Rhodophyta). *Proceedings of the International Seaweed Symposium 18*, 243-248.

Lewis, R.J. & Hanisak, M.D. (1996). Effect of phosphate and nitrate supply on productivity, agar content and physical properties of agar of *Gracilaria* Strain G-16S. *J. Appl. Phycol.* 8, 41-49

Liu, J.W., Dong, S.L., Liu, X.Y., & Ma, S. (2000). Responses of the macroalga *Gracilaria tenuistipitata* var.liui (Rhodophyta) to iron stress. *Journal of Applied Phycology* 12, 605-612.

- Lobban, C.S & Harrison, P.J. (1997). *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Macler, B.A. (1986). Regulation of carbon flow by nitrogen and light in the red algae, *Gelidium coulteri*. *Plant.Physiol.* 82, 136-141.
- Marinho-Soriano, E., Morales, C., & Moreira, W.S.C. (2002). Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) in shrimp ponds effluents in Brazil. *Aquaculture Research* 33, 1081-1086.
- Patadjai, R.S. (1993). Pengaruh pupuk TSP terhadap pertumbuhan dan kualitas rumput laut *Gracilaria gigas* Harv. Unpublish master's thesis, Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sakdiah, M. (2009). Pemanfaatan limbah nitrogen *udang* Vaname (*Litopenaeus Vannamei*) oleh *rumpuit laut* (*Gracilaria verrucosa*) pada sistem budidaya polikultur. Unpublish master's thesis, Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Truno, G.C. (1988). *Manual on seaweed culture, "pond culture of Caulerpa and pond culture of Gracilaria*. ASEAN/SF/1988/Manual No.3.
- Villanueva, R.D., Hilliou, L., & Sousa-Pinto, I. (2009). Short communication: postharvest culture in the dark: an eco-friendly alternative to alkali treatment for enhancing the gel quality of k/t- hybrid carrageenan from *Chondrus crispus* (*Gigartinales, Rhodophyta*). *Bior. Tech*, 100, 2633-2638.