

PEUBAH KUALITAS AIR YANG MEMPENGARUHI PERTUMBUHAN RUMPUT LAUT (*Gracilaria verrucosa*) DI TAMBAK TANAH SULFAT MASAM KECAMATAN ANGKONA KABUPATEN LUWU TIMUR PROVINSI SULAWESI SELATAN

Akhmad Mustafa¹⁾, Rachmansyah²⁾, Dody Dharmawan Trijuno³⁾, dan Ruslaini⁴⁾

¹⁾ Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau
Jl. Makmur Dg. Sitakka, Maros, Sulawesi Selatan 90511
E-mail: akhmadmustafa@yahoo.com

²⁾ Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10, Makassar, Sulawesi Selatan

³⁾ Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Haluoleo
Kampus Bumi Tridharma, Kendari, Sulawesi Tenggara 93232

Naskah diterima: 3 Maret 2009; Diterima publikasi: 24 April 2009

ABSTRAK

Rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) telah dibudidayakan di tambak tanah sulfat masam dengan kualitas dan kuantitas produksi yang relatif tinggi. Oleh karena itu, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui peubah kualitas air yang mempengaruhi laju pertumbuhan rumput laut di tambak tanah sulfat masam Kecamatan Angkona Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan. Pemeliharaan rumput laut dilakukan di 30 petak tambak terpilih selama 6 minggu. Bibit rumput laut dengan bobot 100 g basah ditebar dalam hapa berukuran 1,0 m x 1,0 m x 1,2 m. Peubah tidak bebas yang diamati adalah laju pertumbuhan relatif, sedangkan peubah bebas adalah peubah kualitas air yang meliputi: intensitas cahaya, salinitas, suhu, pH, karbondioksida, nitrat, amonium, fosfat, dan besi. Analisis regresi berganda digunakan untuk menentukan peubah bebas yang dapat digunakan untuk memprediksi peubah tidak bebas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pertumbuhan relatif rumput laut di tambak tanah sulfat masam berkisar antara 1,52% dan 3,63%/hari dengan rata-rata $2,88\% \pm 0,56\%$ /hari. Di antara 9 peubah kualitas air yang diamati ternyata hanya 5 peubah kualitas air yaitu: nitrat, salinitas, amonium, besi, dan fosfat yang mempengaruhi pertumbuhan rumput laut secara nyata. Untuk meningkatkan pertumbuhan rumput laut di tambak tanah sulfat masam Kecamatan Angkona Kabupaten Luwu Timur dapat dilakukan dengan pemberian pupuk yang mengandung nitrogen untuk meningkatkan kandungan amonium dan nitrat serta pemberian pupuk yang mengandung fosfor untuk meningkatkan kandungan fosfat sampai pada nilai tertentu, melakukan remediasi untuk menurunkan kandungan besi serta memelihara rumput laut pada salinitas air yang lebih tinggi, tetapi tidak melebihi 30 ppt.

KATA KUNCI: tanah sulfat masam, peubah kualitas air, pertumbuhan, rumput laut, tambak, Luwu Timur

ABSTRACT: *Water quality variables influencing the growth of seaweed (Gracilaria verrucosa) in acid sulfate soils-affected brackishwater ponds of Angkona Sub-district East Luwu Regency South Sulawesi Province. By: Akhmad Mustafa, Rachmansyah, Dody Dharmawan Trijuno, and Ruslaini*

Seaweed (Gracilaria verrucosa) has been cultivated in acid sulfate soil-affected ponds with relatively high quality and quantity of seaweed production. A research has been conducted to study water quality variables that influence the growth of seaweed in acid sulfate soil-affected ponds of Angkona Sub-district East Luwu Regency South Sulawesi Province. Cultivation of seaweed was done for six weeks in 30 selected brackishwater ponds. Seeds of seaweed with weight of 100 g were stocked in hapa sized 1.0 m x 1.0 m x 1.2 m. Dependent variable that was observed was specific growth rate, whereas independent variables were water quality variables including light intensity, salinity, temperature, pH, carbondioxide, nitrate, ammonium, phosphate, and iron. Analyses of multiple regressions were used to determine the independent variables which could be used to predict the dependent variable. Research result indicated that relative growth rate of seaweed in acid sulfate soils-affected brackishwater ponds ranged from 1.52% to 3.63%/day with $2.88\% \pm 0.56\%$ /day in average. Among nine observed water quality variables, only five variables namely: nitrate, salinity, ammonium, phosphate and iron influence significantly on the growth of seaweed in acid sulfate soils-affected brackishwater ponds. The growth of seaweed in acid sulfate soils-affected brackishwater ponds of Angkona District East Luwu Regency, can be improved by using nitrogen-based fertilizers to increase ammonium and nitrate contents and also fertilizers which contain phosphorus to improve phosphate content to a certain level. Pond remediation to decrease iron content and also rearing seaweed at higher salinity (but less than 30 ppt) can also be alternatives to increase the growth of seaweed.

KEYWORDS: *water quality variables, growth, seaweed, acid sulfate soils, brackishwater ponds, East Luwu Regency*

PENDAHULUAN

Tanah sulfat masam adalah nama umum yang diberikan kepada tanah yang mengandung besi sulfida atau pirit (FeS_2) (Dent, 1986; van Wijk & Widjaja-Adhi, 1992; Sammut & Lines-Kelly, 2000; Lin *et al.*, 2004; Schaetzl & Anderson, 2005). Pirit ini terbentuk karena adanya besi dan bahan organik dari tanah serta adanya sulfat dari air laut yang diubah menjadi sulfida oleh mikroba. Oleh karena itu, tanah sulfat masam umumnya dijumpai di kawasan pesisir.

Di Indonesia, tanah sulfat masam mencapai luas 6,7 juta hektar dan diperkirakan 2,4 juta hektar di antaranya berasosiasi dengan tanah salin di kawasan pesisir (Noor, 2004). Di Sulawesi Selatan, tanah sulfat masam banyak dijumpai di Pantai Timur yang meliputi Kabupaten Sinjai, Bone, Wajo, Luwu, Luwu Utara, dan Luwu Timur serta Kota Palopo (Mustafa, 2007). Tanah sulfat masam banyak dikonversi menjadi tambak, karena keberadaannya di kawasan pesisir yang memiliki sumber air laut untuk usaha budidaya tambak. Di Kabupaten Luwu Timur, luas tambak tanah sulfat masam diperkirakan 9.000 ha. Khusus di Kecamatan Angkona Kabupaten Luwu Timur, tanah sulfat masam dicirikan dengan kandungan pirit berkisar antara 0,49% dan 5,56% dengan rata-rata 1,70%.

Tanah sulfat masam tergolong lahan bermasalah dan marjinal yang banyak dijumpai di lahan pasang surut. Secara umum, tanah sulfat masam dinilai kurang cocok bagi tambak udang karena produktivitasnya rendah. Produktivitas tanah yang rendah disebabkan oleh pirit yang apabila teroksidasi karena digali untuk konstruksi tambak akan menyebabkan penurunan pH tanah yang drastis, peningkatan kelarutan unsur-unsur toksik seperti besi, aluminium, dan mangan serta penurunan ketersediaan fosfat (Thomas & Hargrove, 1984; Dent, 1986; Sammut *et al.*, 1996). Pada tanah dengan pH sangat rendah, seperti pada tanah sulfat masam, fosfat terikat kuat oleh besi dan aluminium (Tu *et al.*, 1993) dalam bentuk FePO_4 dan AlPO_4 yang tidak larut (Kselik *et al.*, 1992). Kualitas tanah adalah suatu faktor produksi penting dalam budidaya tambak sebab akan mempengaruhi kualitas air, proses biologis dan rekayasa tambak (Boyd, 1995; Sammut, 1999).

Budidaya rumput laut merupakan alternatif kegiatan yang berwawasan lingkungan dan produktif bagi penduduk di kawasan pesisir (Trono, 1995; Sukadi, 2006). Di antara rumput laut, *Gracilaria* sp. (Rhodophyta) adalah alga bernilai ekonomis penting sebab dapat menghasilkan agar (Nicotri, 1977; Westermeier *et al.*, 1993; Marinho-Soriano & Bourret, 2003;

Freile-Pelegrin & Murano, 2005; Sukadi, 2006) dan produk alami dengan berbagai bioaktif penting (Haglund & Pedersén, 1988; Santelices & Doty, 1989) serta sebagai makanan manusia (Armisen & Galatas, 1987; Glenn *et al.*, 1999), sebagai makanan untuk organisme bernilai ekonomis penting seperti bulu babi dan abalon (Santelices & Doty, 1989) dan sebagai perekat pada pakan ikan dan udang (Peñaflorida & Golez, 1996; Valente *et al.*, 2006).

Rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) adalah salah satu komoditas unggulan perikanan Provinsi Sulawesi Selatan dan telah dibudidayakan di tambak tanah sulfat masam. Luwu Raya, termasuk Kabupaten Luwu Timur merupakan sentra pengembangan budidaya rumput laut di Provinsi Sulawesi Selatan. Kuantitas dan kualitas rumput laut yang dibudidayakan di tambak di Luwu Raya tergolong tinggi, bahkan kualitasnya merupakan salah satu yang terbaik di Indonesia (Mustafa & Rachmansyah, 2007). Telah dilaporkan oleh Mustafa & Sammut (2008) bahwa produksi rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam Kabupaten Luwu dipengaruhi oleh kandungan besi, padatan tersuspensi total dan nitrat serta suhu air. Sebelumnya, Mustafa & Ratnawati (2005) melaporkan bahwa produksi rumput laut (*G. verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam Kabupaten Luwu dapat ditingkatkan melalui peningkatan dosis kapur dan dosis pupuk Urea, SP-36, KCl, dan ZA sebagai pupuk dasar.

Suhu dan salinitas yang ekstrem dapat berdampak kurang baik terhadap kualitas agar dari rumput laut (*G. verrucosa*) (Daugherty & Bird, 1988) dan mempunyai korelasi positif dengan pertumbuhan dan produksi rumput laut (*Gracilariaopsis bailinae*) (Guanzon Jr. *et al.*, 2004). Periode aerasi harian mempunyai pengaruh terhadap produksi *Gracilaria* sp., tetapi tidak mempunyai pengaruh terhadap kandungan agar dan kekuatan gel (Guerin & Bird, 1987). Nitrogen dalam bentuk amonium dan fosfor dalam bentuk fosfat adalah bentuk sumber hara yang disukai oleh banyak jenis rumput laut (Matos *et al.*, 2006). Intensitas cahaya, pH, penggunaan pupuk dan ketersediaan karbondioksida adalah faktor-faktor penting dalam budidaya rumput laut dalam tangki (Braud & Amat, 1996). Hubungan yang sangat erat antara kandungan amonium dalam air dengan produksi rumput laut (*Gracilaria parvispora*) juga telah dilaporkan

oleh Glenn *et al.* (1999). Informasi mengenai kondisi lingkungan termasuk kualitas air untuk budidaya rumput laut khususnya jenis *G. verrucosa* di tambak tanah sulfat masam masih sangat terbatas. Penelitian variasi ekologi produksi menjadi penting dalam pengembangan berbagai metode budidaya dan peningkatan kebutuhan untuk budidaya rumput laut *Gracilaria* sp. di masa akan datang yang sangat mungkin untuk mempercepat munculnya pendekatan-pendekatan baru (Santelices & Doty, 1989). Identifikasi kondisi lingkungan yang tidak mempengaruhi produksi rumput laut perlu diketahui supaya dapat diikuti oleh pembudidaya dengan memanipulasi kondisi lingkungan untuk mengefektifkan biaya produksi tanpa mempengaruhi produksi rumput laut. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengetahui faktor dominan kualitas air yang mempengaruhi pertumbuhan rumput laut (*G. verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret sampai dengan Juni 2008 di Kecamatan Angkona Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan. Kecamatan tersebut dipilih karena telah ditetapkan oleh Pemerintah Kabupaten Luwu Timur sebagai wilayah pengembangan rumput laut (*G. verrucosa*).

Penelitian diawali dengan melihat secara keseluruhan tambak yang ada di Kecamatan Angkona. Titik-titik pengamatan atau tambak terpilih ditentukan dengan teknik pengambilan contoh blok (*block sampling*) dan selanjutnya dalam lokasi hasil pengambilan contoh blok yang sama dilakukan penentuan titik-titik pengamatan dengan teknik pengambilan contoh secara acak (*random sampling*). Titik pengamatan ditentukan posisinya dengan *Global Positioning System* (GPS).

Pemeliharaan rumput laut dilakukan di dalam 30 petak tambak terpilih. Hapa ukuran panjang, lebar dan tinggi berturut-turut 1,0 m; 1,0 m; dan 1,2 m dengan ukuran mata jaring 5 mm dipasang di setiap tambak terpilih seperti disarankan oleh Guanzon *et al.* (2004). Hapa ditempatkan dalam saluran keliling tambak dengan dasar hapa sekitar 0,1 m di atas tanah dasar saluran keliling. Tinggi air dipertahankan pada kedalaman 0,4 m - 0,5 m di atas dasar hapa (Kaladharan *et al.*, 1996). Bibit rumput laut yang baik berupa talus yang muda, bercabang banyak, rimbun, sehat, tidak terdapat bercak,

dan tidak ada luka ataupun terkelupas yang diambil dari lokasi budidaya untuk selanjutnya ditebar dalam hapa. Bibit ditebar di dasar hapa dengan satu ikatan. Padat penebaran rumput laut yang diaplikasikan adalah 1.000 kg basah/ha atau 100 g basah/hapa (Mubarak *et al.*, 1990; Mustafa & Rachmansyah, 2007).

Pengukuran peubah kualitas air secara *in situ* seperti intensitas cahaya dengan Lux-meter, pH dengan pH-meter, suhu dengan termometer, salinitas dengan refraktometer dan karbondioksida (CO₂) dengan metode titrasi dilakukan setiap 2-3 hari antara pukul 07:00-9:00. Khusus untuk intensitas cahaya, juga dilakukan pengukuran antara pukul 08:00 dan 17:00 dengan interval pengukuran setiap jam pada akhir penelitian. Intensitas cahaya dalam air diukur pada dasar hapa. Pengambilan contoh air untuk peubah nitrat (NO₃), amonium (NH₄), fosfat (PO₄), dan besi (Fe) dilakukan setiap minggu dan contoh air tersebut dipreservasi mengikuti petunjuk APHA (2005). Analisis peubah kualitas air dilaksanakan di Laboratorium Air Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau, Maros. Nitrat dianalisis dengan metode reduksi kadmium (*cadmium reduction method*), amonium dengan metode fenat (*phenate method*), fosfat dengan metode asam askorbik (*ascorbic acid method*) dan besi dengan metode fenantrolin (*phenanthroline method*) (APHA, 2005).

Pengumpulan data pertumbuhan dilakukan dengan cara menimbang bobot basah rumput laut setiap minggu selama enam minggu masa pemeliharaan dengan menggunakan timbangan elektrik yang memiliki tingkat ketelitian ± 0,1 g. Sebelum rumput laut ditimbang, terlebih dahulu dibersihkan dan ditiriskan. Laju pertumbuhan relatif rumput laut ditentukan dengan menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Leopold & Kriedemann (1975), Nelson *et al.* (2001) dan Nagler *et al.* (2003):

$$LPR = [100 (\ln W_t - \ln W_o)] / t$$

di mana:

- LPR = Laju pertumbuhan relatif (%/hari)
- W_t = Bobot rumput laut pada waktu t (g)
- W_o = Bobot rumput laut awal (g)
- t = Waktu (hari)

Statistik deskriptif digunakan untuk mengetahui gambaran umum (minimum, maksimum, rata-rata, simpangan baku) dari data yang ada. Dalam penghitungan rata-rata pH,

maka nilai-nilai diantilogkan terlebih dahulu dan setelah didapatkan nilai rata-ratanya maka nilai tersebut dilogkan kembali. Grafik plot PP (Probabilitas harapan dan probabilitas pengamatan) digunakan untuk menguji kenormalan distribusi data. Matriks korelasi digunakan untuk mengetahui adanya gejala multikolinearitas. Uji DW (Durbin-Watson) digunakan untuk mendeteksi adanya gejala autokorelasi. Dalam memilih persamaan regresi ganda 'terbaik' maka digunakan metode *backward* (Draper & Smith, 1981).

Uji R² yang disesuaikan (*adjusted R²*) digunakan untuk mengetahui besarnya peubah bebas menjelaskan peubah tidak bebas. Uji F atau analisis ragam digunakan untuk menguji signifikansi model regresi. Sebagai peubah tidak bebas dalam penelitian ini adalah laju pertumbuhan relatif rumput laut. Peubah bebas adalah peubah kualitas air yang meliputi: intensitas cahaya, suhu, salinitas, pH, karbondioksida, nitrat, amonium, fosfat, dan besi. Model persamaan regresi berganda yang diuji adalah (Sokal & Rohlf, 1981; Tabachnick & Fidell, 1996):

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad \text{(Persamaan 1)}$$

di mana:

- Y = Laju pertumbuhan relatif
- a = Koefisien konstanta
- b₁, b₂, ... b_n = Koefisien regresi
- X₁, X₂, ... X_n = Peubah bebas meliputi: intensitas cahaya, suhu, pH, salinitas, CO₂, NO₃, NH₄, PO₄ dan Fe

Seluruh data dianalisis dengan bantuan Program *Statistical Product and Service Solution* (SPSS) versi 15,0 (SPSS, 2006; Coakes *et al.*, 2008).

HASIL DAN BAHASAN

Laju pertumbuhan relatif rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam Kecamatan Angkona berkisar antara 1,52% dan 3,63%/hari dengan rata-rata 2,88% ± 0,56%/hari (Tabel 1). Salah satu penyebab bervariasinya laju pertumbuhan relatif rumput laut tersebut adalah bervariasinya juga kualitas air terutama salinitas, nitrat, amonium, fosfat, dan besi dalam air di tambak tanah sulfat masam seperti terlihat pada Tabel 1. Laju pertumbuhan relatif yang didapatkan dalam penelitian ini relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan laju pertumbuhan

Tabel 1. Statistik deskriptif semua peubah yang diamati dalam budidaya rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam di Kecamatan Angkona Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan

Table 1. Descriptive statistics of all observed variables in seaweed culture in acid sulfate soils-affected brackishwater ponds of Angkona Sub-district East Luwu Regency South Sulawesi Province

Peubah Variable	Minimum	Maksimum Maximum	Rata-rata Average	Simpangan baku Standard deviation
Laju pertumbuhan relatif (%/hari) <i>Relative growth rate (%/day)</i>	1.52	3.63	2.88	0.56
Intensitas cahaya <i>Light intensity (lux)</i>	349	1,935	1,251	215
Salinitas <i>Salinity (ppt)</i>	9	23	15	2
Suhu <i>Temperature (°C)</i>	25	31.7	29.4	0.4
pH	7.2	8.5	7.9	0.2
Karbon dioksida <i>Carbon dioxide (mg/L)</i>	<0.1	7.3	3.4	1.5
Nitrat <i>Nitrate (mg/L)</i>	0.0010	0.4783	0.0481	0.0230
Amonium <i>Ammonium (mg/L)</i>	0.0063	0.4443	0.1044	0.0363
Fosfat <i>Phosphate (mg/L)</i>	0.0006	0.4900	0.0432	0.0244
Besi <i>Iron (mg/L)</i>	0.0007	0.1430	0.0114	0.0119

rumpun laut (*G.parvispora*) yang dipelihara dalam tangki pada kecepatan arus sampai 13,7 cm/dtk yang berkisar dari 2,8% sampai 8,9%/hari (Ryder *et al.*, 2004). Laju pertumbuhan relatif sejumlah spesies *Gracilaria* sp. yang dibudidayakan di bawah kondisi penelitian yang berbeda memperlihatkan variasi yang kecil, umumnya 5%-10%/hari, tetapi pada periode pemeliharaan yang lebih lama, laju pertumbuhan relatif menjadi lebih rendah (MacLachlan & Bird, 1986). Nelson *et al.* (2001) melaporkan bahwa laju pertumbuhan relatif rumput laut (*Gracilaria parvispora*) berkisar antara 4,3 dan 5,3 dengan rata-rata 4,7%/hari yang dipelihara pada saluran tambak pembuangan udang yang berbeda. Guanzon Jr *et al.* (2004) mendapatkan laju pertumbuhan relatif rumput laut (*Gracilariopsis bailinae*) sebesar 2,27% dan 2,54%/hari masing-masing pada kepadatan bibit rumput laut 1 dan 2 kg basah/hapa 2,0 m x 2,0 m x 0,5 m dan relatif

lebih rendah daripada laju pertumbuhan relatif rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) dalam penelitian ini. Adanya perbedaan laju pertumbuhan relatif dari rumput laut (*Gracilaria* sp.) secara umum sebagai akibat perbedaan spesies rumput laut, sistem budidaya maupun kondisi lingkungan budidaya.

Pada Lampiran 1 terlihat bahwa R^2 yang disesuaikan (*adjusted R^2*) tertinggi (0,369) didapat pada model Model 5, berarti model regresi terbaik pada Model 5, karena peubah bebas dapat menjelaskan peubah tidak bebas lebih besar. Dalam hal ini, 36,9% laju pertumbuhan relatif rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam dapat dijelaskan oleh peubah kualitas air yang meliputi nitrat, besi, amonium, fosfat, dan salinitas, sedangkan sisanya (63,1%) dijelaskan oleh faktor lain yang tidak diamati dalam penelitian ini. Dari Lampiran 1 terlihat bahwa standar galat estimasi (*standard error of*

estimate) terendah 0,44319%/hari dijumpai juga pada Model 5. Selain itu, karena standar galat estimasi lebih kecil dari standar baku laju pertumbuhan relatif yang besarnya 0,56%/hari (Tabel 1), maka model regresi lebih baik dalam bertindak sebagai prediktor laju pertumbuhan relatif rumput laut daripada rata-rata laju pertumbuhan relatif rumput laut itu sendiri. Selanjutnya dari hasil analisis ragam atau Uji F (Lampiran 2) menunjukkan Model 5 memiliki nilai *P* sebesar 0,006; maka model regresi dari Model 5 dapat digunakan untuk memprediksi laju pertumbuhan relatif rumput laut di tambak tanah sulfat masam.

Hasil analisis lebih lanjut didapatkan nilai koefisien konstanta dan koefisien regresi dari persamaan regresi yang terpilih dan selanjutnya digunakan untuk memprediksi produksi rumput laut di tambak tanah sulfat masam. Peubah kualitas air yang berperan dalam menentukan laju pertumbuhan relatif rumput laut di tambak tanah sulfat masam digambarkan dalam persamaan regresi sebagai berikut:

$$Y = 0,017 + 18,463X_1 + 0,158X_2 + 4,688X_3 - 126,045X_4 + 6,791X_5$$

(Persamaan 2)

di mana:

Y = Laju pertumbuhan relatif (%/hari)

X₁ = Nitrat (mg/L)

X₂ = Salinitas (ppt)

X₃ = Amonium (mg/L)

X₄ = Besi (mg/L)

X₅ = Fosfat (mg/L)

Dari 9 peubah kualitas air yang dikaji dalam penelitian ini ternyata hanya 5 peubah yaitu: nitrat, salinitas, amonium, besi, dan fosfat (Persamaan 2) merupakan peubah kualitas air yang berpengaruh secara nyata dalam menentukan laju pertumbuhan relatif rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam, sedangkan 4 peubah kualitas air lainnya yaitu: intensitas cahaya, suhu, pH, dan karbondioksida belum memberikan pengaruh yang nyata terhadap laju pertumbuhan relatif rumput laut. Dari Persamaan 2 terlihat bahwa koefisien konstanta sebesar 0,017 yang berarti pertumbuhan rumput laut dapat diprediksi mencapai 0,017%/hari kalau tidak ada kontribusi dari peubah kualitas air di tambak tanah sulfat masam. Hal ini menunjukkan bahwa peubah kualitas air yang meliputi

nitrat, salinitas, amonium, besi, dan fosfat berpengaruh besar terhadap laju pertumbuhan relatif rumput laut, sebab tanpa kontribusi peubah tersebut maka laju pertumbuhan relatif rumput laut sangat rendah yaitu hanya 0,017%/hari.

Koefisien regresi dari nitrat sebesar +18,463 yang berarti setiap kenaikan nitrat sebesar 1 mg/L dapat meningkatkan (tanda +) laju pertumbuhan relatif rumput laut sebesar 18,463%/hari. Nitrat merupakan salah satu senyawa yang berperan dalam mendukung pertumbuhan tanaman akuatik termasuk rumput laut. Menurut Atmaja (1996), rumput laut membutuhkan kisaran kandungan nitrat sebesar 0,9-3,5 mg/L. Karena kandungan nitrat air yang hanya rata-rata 0,0481 mg/L di tambak tanah sulfat masam dan lebih rendah dari kebutuhan nitrat untuk rumput laut sehingga menyebabkan peningkatan kandungan nitrat sampai pada nilai tertentu akan meningkatkan pula laju pertumbuhan relatif rumput laut. Peningkatan kandungan nitrat dapat dilakukan dengan pemberian pupuk yang mengandung unsur nitrogen seperti pupuk urea dan telah diketahui bahwa nitrogen merupakan unsur hara makro bagi rumput laut yang berarti nitrogen dibutuhkan dalam jumlah besar. Nitrogen diperlukan untuk pertumbuhan dan produksi tanaman termasuk rumput laut serta memainkan peranan penting dalam perkembangan dan fungsi protoplasma.

Koefisien regresi dari salinitas sebesar +0,158 yang berarti setiap kenaikan salinitas sebesar 1 ppt dapat meningkatkan (tanda +) laju pertumbuhan relatif rumput laut sebesar 0,158%/hari. Dari Tabel 1 terlihat bahwa rata-rata salinitas air di tambak tanah sulfat masam selama penelitian hanya sebesar 15 ppt dan tergolong rendah untuk budidaya rumput laut. Menurut Trono (1995), salinitas yang layak untuk pertumbuhan dan perkembangan *Gracilaria verrucosa* dan *G. lichenoides* berkisar antara 18-30 ppt dan optimum pada salinitas 24 ppt. Mustafa *et al.* (2007) mendapatkan produksi tertinggi rumput laut (*G. verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam pada salinitas 25,6 ppt. Temuan lainnya menunjukkan bahwa rumput laut tumbuh paling cepat pada salinitas 25 ppt (Lin, 1974; Tseng & Borowitzka, 2003) dan antara 18 dan 30 ppt (Chen, 1976). Oleh karena itu, peningkatan salinitas air sampai 30 ppt di tambak tanah sulfat masam juga akan meningkatkan pertumbuhan rumput laut.

Begitupula dengan amonium, peningkatan kandungan sebesar 1 mg/L dapat meningkatkan laju pertumbuhan relatif rumput laut sebesar 4,688%/hari di tambak tanah sulfat masam. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan amonium air tambak tanah sulfat yang rata-rata 0,1044 mg/L (Tabel 1) masih tergolong rendah sehingga peningkatan kandungan amonium sampai pada nilai tertentu dapat meningkatkan laju pertumbuhan relatif rumput laut. Hal yang sama telah dilaporkan pula oleh Glenn *et al.* (1999) yang menyatakan bahwa terdapat suatu hubungan kuat antara konsentrasi amonium dengan pertumbuhan rumput laut (*Gracilaria parvispora*). *Gracilaria* sp. menyerap amonium lebih cepat daripada nitrat (Ryther *et al.*, 1981), namun demikian, produksi *Gracilaria* sp. tidak dipengaruhi oleh bentuk nitrogen kalau kandungan nitrogen di atas kandungan minimum dalam air (Lapointe & Ryther, 1978). Pada *G. tikvahiae* dan *G. cornea* memiliki laju pertumbuhan sama apabila nitrogen diberikan dalam bentuk amonium, nitrat, atau bentuk keduanya secara bersamaan (Lapointe & Ryther, 1978; Navarro-Angulo & Robledo, 1999). Dilaporkan pula bahwa pada *G. foliifera* dan *G. pacifica* terjadi laju penyerapan amonium yang lebih tinggi daripada laju penyerapan nitrat (D'Elia & DeBoer, 1978; Naldi & Wheeler, 2002). Rumput laut (*G. lemaneiformis*) dapat menyerap amonium, nitrat, dan nitrit berturut-turut 68,44%; 23,03%; dan 13,04% selama 24 jam (Yang *et al.*, 2006). Pupuk urea yang juga merupakan sumber amonium sangat sedikit diaplikasikan oleh pembudidaya rumput laut di Luwu Raya, termasuk di Kabupaten Luwu Timur. Mustafa & Ratnawati (2005) melaporkan bahwa pembudidaya rumput laut di tambak tanah sulfat masam Kabupaten Luwu hanya mengaplikasikan pupuk urea sebanyak 39,52 kg/ha/tahun.

Telah disebutkan sebelumnya bahwa salah satu ciri tanah sulfat masam adalah pH tanah yang rendah dan kandungan unsur toksik seperti besi, aluminium, dan mangan yang tinggi. Hal ini berdampak pula pada pertumbuhan rumput laut di tambak tanah sulfat masam, di mana setiap peningkatan kandungan besi sebesar 1 mg/L dapat menurunkan laju pertumbuhan relatif rumput laut sebesar 126,045%/hari. Kecenderungan hasil yang sama telah dilaporkan oleh Mustafa & Sammut (2008) dan Mustafa *et al.* (2007) di tambak tanah sulfat masam Kabupaten Luwu. Besi adalah unsur esensial bagi semua

organisme, termasuk rumput laut. Dalam tanaman, termasuk rumput laut, besi berfungsi sebagai pembentuk sitokrom dan klorofil (Effendi, 2003). Dikatakan oleh (Boyd, 1995) konsentrasi Fe pada perairan alami berkisar antara 0,05 dan 0,20 mg/L. Konsentrasi Fe air yang lebih tinggi dari 1,0 mg/L dianggap membahayakan kehidupan organisme akuatik (Moore, 1991). Selain itu, kandungan besi yang tinggi dapat menghambat fiksasi unsur lainnya. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan tambak tanah sulfat masam melalui remediasi untuk meningkatkan pH dan menurunkan konsentrasi besi, aluminium, dan mangan. Remediasi pada tanah sulfat masam yang dapat dilakukan adalah dalam bentuk oksidasi dan pembilasan tanah maupun dalam bentuk pengapuran. Prinsip remediasi melalui oksidasi dan pembilasan tanah adalah pengeringan tanah untuk mengoksidasi pirit, perendaman untuk melarutkan dan menetralkan kemasaman atau menurunkan produksi kemasaman lanjut dan pembilasan untuk membuang hasil oksidasi dan meminimumkan unsur-unsur toksik dan penyebab kemasaman dalam tanah (Mustafa & Sammut, 2007). Bentuk lain remediasi berupa pengapuran dapat dilakukan untuk mengurangi unsur-unsur toksik dan penyebab kemasaman yang masih tersisa dalam tanah.

Seperti halnya nitrat dan amonium, maka peningkatan kandungan fosfat sampai pada nilai tertentu juga nyata dapat meningkatkan laju pertumbuhan relatif rumput laut di tambak tanah sulfat masam di mana apabila kenaikan kandungan fosfat 1 mg/L dapat meningkatkan laju pertumbuhan relatif rumput laut sebesar 6,791%/hari. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa salah satu ciri tanah sulfat masam adalah rendahnya kandungan fosfat tanah yang dapat berdampak pada rendahnya pula kandungan fosfat air. Kebutuhan fosfat untuk pertumbuhan optimum bagi alga dipengaruhi oleh bentuk senyawa nitrogen. Batas tertinggi konsentrasi fosfat akan lebih rendah jika nitrogen berada dalam bentuk amonium, sebaliknya apabila nitrogen dalam bentuk nitrat, kandungan tertinggi fosfat yang diperlukan akan lebih tinggi (Andarias, 1991). Batas terendah kandungan fosfat untuk pertumbuhan optimum alga berkisar antara 0,018 sampai 0,090 mg/L dan batas tertinggi berkisar antara 8,90 sampai 17,8 mg/L apabila nitrogen dalam bentuk nitrat, bila nitrogen dalam bentuk amonium batas tertinggi fosfat berkisar pada 1,78 mg/L. Peningkatan

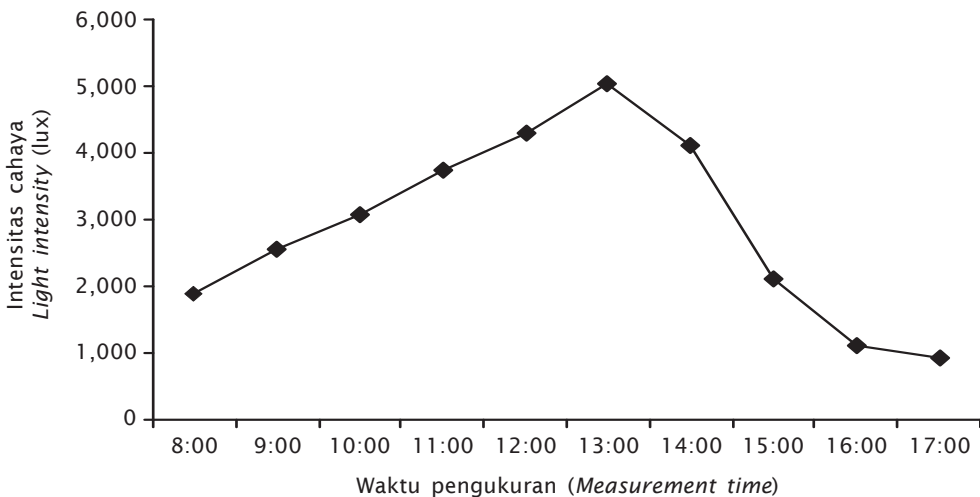
kandungan fosfat air dapat dilakukan melalui pemberian pupuk yang mengandung fosfor seperti SP-36. Agar pupuk yang mengandung fosfor tersebut lebih efektif pada tambak tanah sulfat masam maka disarankan untuk melarutkan terlebih dahulu pupuk yang akan diberikan supaya tidak mengendap ke dasar tambak yang dapat diikat oleh tanah. Remediasi tanah dasar tambak juga dapat meningkatkan ketersediaan fosfat dalam tanah, sebab dengan remediasi dapat mengurangi unsur besi dan aluminium sehingga ketersediaan fosfat menjadi lebih tinggi.

Telah disebutkan sebelumnya bahwa hanya peubah kualitas air yang meliputi: nitrat, salinitas, amonium, besi, dan fosfat yang dapat digunakan untuk memprediksi pertumbuhan rumput laut di tambak tanah sulfat masam Kecamatan Angkona Kabupaten Luwu Timur. Peubah kualitas air lainnya seperti: intensitas cahaya, suhu, pH, dan karbondioksida belum dapat digunakan untuk memprediksi pertumbuhan rumput laut di tambak tanah sulfat masam. Hal ini diduga sebagai akibat variasi dari masing-masing peubah tersebut relatif kecil sehingga pengaruhnya terhadap laju pertumbuhan relatif rumput laut juga menjadi relatif kecil.

Intensitas cahaya dibutuhkan untuk pertumbuhan rumput laut (*Gracilaria* sp.) (Sijian, 1987). Dari Tabel 1 terlihat bahwa

intensitas cahaya dalam air tambak tanah sulfat masam berkisar 349 dan 1.935 lux dengan rata-rata 1.251 lux yang merupakan intensitas cahaya yang diukur pada pukul 07:00-09:00. Mubarak *et al.* (1990), menyatakan *Gracilaria* sp. tumbuh optimum pada intensitas cahaya 5.000 lux. Intensitas cahaya dalam air tambak tanah sulfat masam dapat juga lebih tinggi jika dilakukan pengukuran pada pukul 12:00 sampai 14:00 seperti terlihat pada Gambar 1. Dengan demikian, intensitas cahaya dalam air tambak tanah sulfat masam dapat mendukung pertumbuhan rumput laut. Intensitas cahaya secara substansial akan mempengaruhi pertumbuhan dan penampilan fisiologi rumput laut (*Gracilaria chilensis*) (Gómez *et al.*, 2005). Intensitas cahaya sangat diperlukan dalam proses fotosintesis tanaman, termasuk rumput laut. Pada umumnya, kecepatan fotosintesis tanaman bertambah dengan naiknya intensitas cahaya dan hubungan ini bersifat hampir linear dengan kisaran yang kecil (Anonim, 1985).

Suhu air di tambak tanah sulfat masam berkisar antara 25,0°C sampai 31,7°C dengan rata-rata 29,4°C (Tabel 1). Di tambak tanah sulfat masam untuk budidaya rumput laut yang berlokasi di Kabupaten Luwu didapatkan suhu air rata-rata 31,7°C (Mustafa *et al.*, 2007) dan di Kabupaten Luwu Utara didapatkan suhu air rata-rata 32,65°C pada musim hujan dan 33,14°C pada musim kemarau (Mustafa &



Gambar 1. Intensitas cahaya dalam air tambak tanah sulfat masam di Kecamatan Angkona Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan pada berbagai waktu pengukuran

Figure 1. Light intensity in the water of acid sulfate soils-affected brackishwater pond of Angkona Sub-district East Luwu Regency South Sulawesi Province measured in different times

Rachmansyah, 2007). Suhu air 25°C-30°C adalah suhu yang baik untuk budidaya rumput laut (Hurtado-Ponce & Umezaki, 1987). Yang *et al.* (2006) menyatakan bahwa banyak spesies rumput laut tumbuh baik pada suhu 20°C atau lebih, tetapi pada suhu yang lebih tinggi lagi dapat menurunkan pertumbuhan rumput laut. Pada musim dingin di mana suhu air lebih rendah akan membatasi pertumbuhan rumput laut (MacLachlan & Bird, 1986). Dengan demikian variasi suhu yang relatif kecil dan suhu air yang berada pada kisaran yang mendukung pertumbuhan rumput laut, merupakan penyebab suhu air tidak dapat digunakan untuk memprediksi pertumbuhan rumput laut di tambak tanah sulfat masam.

Walaupun salah satu ciri tanah sulfat masam adalah pH tanah yang rendah, tetapi karena tambak tanah sulfat masam dibiarkan terus tergenang selama budidaya rumput laut menyebabkan tanah sulfat masam tidak teroksidasi sehingga pH air tergolong netral. Seperti terlihat pada Tabel 1 di mana pH air di tambak tanah sulfat masam yang digunakan untuk budidaya rumput laut berkisar 7,2 dan 8,5 dengan rata-rata 7,9. Menurut Matos *et al.* (2006), tidak pernah terjadi pH yang membuat kritis *Gracilaria* sp. Buschmann *et al.* (1994) mengamati bahwa penambahan karbondioksida yang cukup banyak dengan konsekuensi terjadi penurunan pH tidak menyebabkan perubahan pertumbuhan *Gracilaria chilensis*. Untuk budidaya *Gracilaria* sp., pH yang sesuai adalah antara 6 dan 9 dengan pH optimum antara 8,2 dan 8,7 (Guanzon Jr *et al.*, 2004). Variasi pH air yang relatif kecil dan kisaran pH yang masih mendukung pertumbuhan rumput laut, merupakan penyebab pH tidak dapat bertindak sebagai prediktor pertumbuhan rumput laut di tambak tanah sulfat masam.

Karbondioksida merupakan senyawa penting dalam proses fotosintesis. Konsentrasi karbondioksida yang diperoleh selama penelitian berkisar antara < 0,1 dan 7,3 mg/L dengan rata-rata 3,4 mg/L, seperti disajikan pada Tabel 1. Rendahnya konsentrasi karbondioksida dalam air tambak sebagai akibat dari rumput laut yang memiliki kemampuan dalam menurunkan konsentrasi karbondioksida dalam air tambak (Schuenhoff *et al.*, 2003). Sebagai akibatnya, kisaran konsentrasi karbondioksida dalam air tambak masih layak untuk pertumbuhan rumput laut. Effendi (2003) menyatakan karbondioksida bebas 10 mg/L masih dapat ditolerir oleh organisme akuatik untuk tumbuh, sedangkan

Boyd (1995) menyatakan sebagian besar organisme akuatik masih dapat bertahan hidup sampai karbondioksida bebas mencapai 60 mg/L. Dengan demikian, konsentrasi karbondioksida yang masih berada dalam kisaran konsentrasi yang mendukung pertumbuhan rumput laut di semua tambak belum dapat dijadikan prediktor pertumbuhan rumput laut di tambak tanah sulfat masam.

KESIMPULAN DAN SARAN

Di antara 9 peubah kualitas air yang diamati ternyata hanya 5 peubah kualitas air yaitu: nitrat, salinitas, amonium, besi, dan fosfat yang mempengaruhi laju pertumbuhan rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) secara nyata di tambak tanah sulfat masam Kecamatan Angkona Kabupaten Luwu Provinsi Sulawesi Selatan. Peningkatan kandungan nitrat, amonium, fosfat, dan salinitas serta penurunan kandungan besi dalam air dapat meningkatkan laju pertumbuhan rumput laut di tambak tanah sulfat masam. Oleh karena itu, untuk meningkatkan laju pertumbuhan rumput laut di tambak tanah sulfat masam Kecamatan Angkona Kabupaten Luwu Timur, maka dapat dilakukan dengan pemberian pupuk urea untuk meningkatkan kandungan amonium dan nitrat sampai pada nilai tertentu serta pemberian pupuk SP-36 untuk meningkatkan kandungan fosfat sampai pada nilai tertentu, melakukan remediasi untuk menurunkan kandungan besi serta memelihara rumput laut pada salinitas yang lebih tinggi, namun tidak melebihi 30 ppt.

UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terima kasih kepada Ramlah Latief atas bantuannya dalam pelaksanaan penelitian di lapangan dan kepada Sutrisyani, Rohani, Andi Sahrijanna, dan Kurnia atas bantuannya dalam analisis kualitas air di laboratorium.

DAFTAR ACUAN

- Andarias, I. 1991. *Pengaruh Pupuk Urea dan TSP Terhadap Produksi Kelekap*. Disertasi S3. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 155 hlm.
- Anonim. 1985. *Klimatologi Dasar*. Jurusan Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pasti Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 115 hlm.
- APHA (American Public Health Association). 2005. *Standard Methods for Examination*

- of Water and Wastewater. 21st edition, Centennial edition. APHA-AWWA-WEF, Washington, DC, 1,288 pp.
- Armisen, R. & Galatas, F. 1987. Production, properties and uses of agar. In: D.J. Mchugh (Ed.), *Production and Utilization of Products from Commercial Seaweeds*. Paper No. 288. FAO Fish Technology, FAO, Rome, p. 1-49.
- Atmaja, W.S. 1996. *Pengenalan Jenis-jenis Rumput Laut Indonesia*. Puslitbang Oseanologi-LIPI, Jakarta, 10 hlm.
- Boyd, C.E. 1995. *Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture*. Chapman and Hall, New York, 348 pp.
- Braud, J.P. & Amat, M.A.. 1996. *Chondrus crispus* (Gigartinales, Rhodophyta) tank cultivation: optimising carbon input by a fixed pH and use of a salt water well. *Hydrobiologia*, 326/327: 335-340.
- Buschmann, A.H., Mora, O.A., Gümez, P., Böttger, M., Buitano, S., Retamales, C., Vergara, P.A., & Gutierrez, A. 1994. *Gracilaria chilensis* outdoor tank cultivation in Chile: use of land-based salmon culture effluents. *Aquacultural Engineering*, 13: 283-300.
- Chen, T.P. 1976. Culture of *Gracilaria*. In: *Aquaculture Practices in Taiwan*. Page Bros., London, p. 145-149.
- Coakes, S.J., Steed, L., & Price, J. 2008. *SPSS: Analysis without Anquish: Version 15.0 for Windows*. John Wiley & Sons Australia, Ltd., Milton, Qld, 270 pp.
- Daugherty, B.K. & Bird, K.T. 1988. Salinity and temperature effects on agar production from *Gracilaria verrucosa* Strain G-16. *Aquaculture*, 75: 105-113.
- D'Elia, C.F. & DeBoer, J.A. 1978. Nutritional studies of two red algae: II. Kinetics of ammonium and nitrate uptake. *Journal of Phycology*, 14: 266-272.
- Dent, D. 1986. *Acid Sulphate Soils: A Baseline for Research and Development*. ILRI Publication 39. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, 204 pp.
- Draper, N.R. & Smith, H. 1981. *Applied Regression Analysis*. 2nd edition. John Wiley & Sons, New York, 709 pp.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta, 258 hlm.
- Freile-Pelegrin, Y. & Murano, V. 2005. Agars from three species of *Gracilaria* (Rhodophyta) from Yucatán Peninsula. *Bioresource Technology*, 96: 295-302.
- Glenn, E.P., Moore, D., Akutagawa, A., Himler, A., Walsh, T., & Nelson, S.G. 1999. Correlation between *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) biomass production and water quality factors on a tropical reef in Hawaii. *Aquaculture*, 178: 323-331.
- Gómez, I., Figueroa, F.L., Huovinen, P., Ulloa, N., & Morales, V. 2005. Photosynthesis on the red alga *Gracilaria chilensis* under natural solar radiation in an estuary in southern Chile. *Aquaculture*, 244: 369-382.
- Guanzon Jr, N.G., de Castro-Mallare, T.R., & Lorque, F.M. 2004. Polyculture of milkfish *Chanos chanos* (Forsskal) and the red seaweed *Gracilaria bailinae* (Zhang et Xia) in brackish water earthen ponds. *Aquaculture Research*, 35: 423-431.
- Guerin, J.M. & Bird, K.T. 1987. Effects of aeration period on the productivity and agar quality of *Gracilaria* sp. *Aquaculture*, 64: 105-110.
- Haglund, K. & Pedersén, M. 1988. Spray cultivation of seaweeds in recirculating brackish water. *Aquaculture*, 72: 181-189.
- Hurtado-Ponce, A.Q. & Umezaki, I. 1987. Growth rate studies of *Gracilaria verrucosa* (Gigartinales, Rhodophyta). *Botanica Marina*, 30: 223-226.
- Kaladharan, P., Vijayakumaran, K., & Chennubhotla, V.S.K. 1996. Optimization of certain physical parameters the mariculture of *Gracilaria edulis* (Gmelin) Silva in Minicoy lagoon (Laccadive Archipelago). *Aquaculture*, 139: 265-270.
- Kselik, R.A.L., Smilde, K.W., Ritzema, H.P., Subagyono, K., Saragih, S., Damanik, M., & Suwardjo, H. 1992. Integrated research on water management, soil fertility and cropping systems on acid sulphate soils in South Kalimantan, Indonesia. In: Dent, D.L. and M.E.F. van Mensvoort (Eds.), *Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils*. ILRI Publication 53. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, p. 177-194.
- Lapointe, B.E. & Ryther, J.H. 1978. Some aspects of the growth and yield of *Gracilaria tikvahiae* in culture. *Aquaculture*, 15: 185-193.
- Leopold, A.C. & P.E. Kriedemann. 1975. *Plant Growth and Development*. 2nd edition. McGraw-Hill, New York. 531 pp.

- Lin, C., Wood, M., Heskins, P., Ryffel, T., & Lin, J. 2004. Controls on water acidification and de-oxygenation in an estuarine waterway, eastern Australia. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 61: 55-63.
- Lin, M.N. 1974. *Culture of Gracilaria*. Fish Research Institute, Keelung, Taipei, p. 1-8.
- MacLachlan, J. & Bird, C.J. 1986. *Gracilaria* (Gigartinales, Rhodophyta) and productivity. *Aquatic Botany*, 26: 27-49.
- Marinho-Soriano, E. & Bourret, E. 2003. Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria* species (Gracilariaceae, Rhodophyta). *Bioresource Technology*, 90: 329-333.
- Matos, J., Costa, S., Rodrigues, A., Pereira, R., & Pinto, I.S. 2006. Experimental integrated aquaculture of fish and red seaweeds in Northern Portugal. *Aquaculture*, 251: 31-42.
- Moore, J.W. 1991. *Inorganic Contaminants of Surface Water*. Springer-Verlag, New York, 334 pp.
- Mubarak, H., Ilyas, S., Ismail, W., Wahyuni, I.S., Hartati, S.T., Pratiwi, E., Jangkaru, Z., & Arifudin, R. 1990. *Petunjuk Teknis Budidaya Rumput Laut*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan, Jakarta, 93 hlm.
- Mustafa, A. 2007. *Improving Acid Sulfate Soils for Brackish Water Ponds in South Sulawesi, Indonesia*. Ph.D. Thesis. The University of New South Wales, Sydney, 418 pp.
- Mustafa, A. & Ratnawati, E. 2005. Faktor pengelolaan yang berpengaruh terhadap produksi rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam (studi kasus di Kabupaten Luwu, Provinsi Sulawesi Selatan). *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 11(7): 67-77.
- Mustafa, A. & Sammut, J. 2007. Effect of different remediation techniques and dosages of phosphorus fertilizer on soil quality and klekap production in acid sulfate soil-affected aquaculture ponds. *Indonesian Aquaculture Journal*, 2(2): 141-157.
- Mustafa, A. & Rachmansyah. 2007. Optimalisasi sumberdaya lahan untuk budidaya tambak di bagian utara pantai timur Sulawesi Selatan. Disampaikan pada Sosialisasi dan Temu Konsultasi Perikanan Budidaya di Hotel Remaja Indah, Masamba pada tanggal 17 Desember 2007. Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau, Maros, 28 hlm.
- Mustafa, A. & Sammut, J. 2008. Dominant factors that effect on the seaweed (*Gracilaria verrucosa*) production in acid sulfate soils-affected ponds of Luwu Regency, Indonesia. Research Institute for Coastal Aqua-culture, Maros, 28 pp.
- Mustafa, A., Sapu, I., Hasnawi, & Sammut, J. 2007. Hubungan antara faktor kondisi lingkungan dan produktivitas tambak untuk penajaman kriteria kelayakan lahan: 1. kualitas air. *Jurnal Riset Akuakultur*, 2(3): 289-302.
- Nagler, P.L., Glenn, E.P., Nelson, S.G., & Napoleon, S. 2003. Effects of fertilization treatment and stocking density on the growth and production of the economic seaweed *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in cage culture at Molokai, Hawaii. *Aquaculture*, 219: 379-391.
- Naldi, M. & Wheeler, P. 2002. ¹⁵N measurements of ammonium and nitrate uptake by *Ulva fenestrata* (Chlorophyta) and *Gracilaria facifica* (Rhodophyta): comparison of net nutrient disappearance, release of ammonium and nitrate, and ¹⁵N accumulation in algal tissue. *Journal of Phycology*, 38: 135-144.
- Navarro-Angulo, L. & Robledo, D. 1999. Effects of nitrogen source, N:P ratio and N-pulse concentration and frequency on the growth of *Gracilaria cornea* (Gracilariales Rhodophyta) in culture. *Hydrobiologia*, 398/399: 305-320.
- Nelson, S.G., Glenn, E.P., Conn, J., Moore, D., Walsh, T., & Akutagawa, M. 2001. Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in shrimp-farm effluent ditched and floating cages in Hawaii: a two-phase polyculture system. *Aquaculture*, 193: 239-248.
- Nicotri, M.E. 1977. The impact of crustacean herbivores on cultured seaweed populations. *Aquaculture*, 12: 127-136.
- Noor, M. 2004. *Lahan Rawa: Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah Sulfat Masam*. PT RajaGrafindo Persada, Jakarta, 241 hlm.
- Peñaflorida, V.D. & Golez, N.V. 1996. Use of seaweed meals from *Kappaphycus alvarezii* and *Gracilaria heteroclada* as binders in diets for juvenile shrimp *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 143: 393-401.
- Ryder, E., Nelson, S.G., McKeon, C., Glenn, E.P., Fitzsimmons, K., & Napoleon, S. 2004. Effect of water motion on the cultivation of the economic seaweed *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) on Molokai, Hawaii. *Aquaculture*, 238: 207-219.

- Ryther, J.H., Corwin, N., DeBusk, T.A., & Williams, L.D. 1981. Nitrogen uptake and storage by the red alga *Gracilaria tikvahiae* (McLachlan, 1979). *Aquaculture*, 26: 107-115.
- Sammut, J. 1999. Amelioration and management of shrimp ponds in acid sulfate soils: key researchable issues. In: Smith, P. T. (Ed.), *Towards Sustainable Shrimp Culture in Thailand and the Region*. ACIAR Proceedings No. 90. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, p. 102-106.
- Sammut, J., White, I., and Melville, M.D. 1996. Acidification of an estuarine tributary in eastern Australia due to drainage of acid sulfate soil. *Marine and Freshwater Research*, 47: 669-684.
- Sammut, J. & Lines-Kelly, R. 2000. *An Introduction to Acid Sulfate Soils*. Natural Heritage Trust, Australia, 27 pp.
- Santelices, B. & Doty, M.S. 1989. A review of *Gracilaria* farming. *Aquaculture*, 78: 95-133.
- Schaetzl, R.J. and S. Anderson. 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, Cambridge. 817 pp.
- Schuenhoff, A., Shpigel, M., Lupatsch, I., Ashkenazi, A., Msuya, F.E., & Neori, A. 2003. A semi-recirculating, integrated system for the culture of fish and seaweed. *Aquaculture*, 221: 167-181.
- Sijian, L. 1987. Study on the commercial cultivation of *Gracilaria* in South China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 5(3): 281-283.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. 1981. *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. 2nd edition. W.H. Freeman and Co., New York, 859 pp.
- SPSS (Statistical Product and Service Solution). 2006. *SPSS 15.0 Brief Guide*. SPSS Inc., Chicago, 217 pp.
- Sukadi, M.F. 2006. Perkembangan budidaya rumput laut di Indonesia: kinerja dan prospeknya. Dalam: Cholikh, F., S. Moeslim, E.S. Heruwati, T. Ahmad, dan A. Jauzi (Eds.), *60 Tahun Perikanan Indonesia*. Masyarakat Perikanan Nusantara, Jakarta, hlm. 213-223.
- Tabachnick, B.G. & Fidell, L.S. 1996. *Using Multivariate Statistics*. 3rd edition. Harper Collins College Publishers, New York, 880 pp.
- Thomas, G.W. & Hargrove, W.L. 1984. The chemistry of soil acidity. In: Adams, F. (Ed.), *Soil Acidity and Liming*. 2nd edition. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, p. 3-56.
- Trono, G.C.Jr. 1995. Seaweed farming: an alternative livelihood for fishers. In: Juinio-Meñes, M.A. and G.F. Newkirk (Eds.), *Philippine Coastal Resources Under Stress*. Marine Science Institute, University of the Philippines, Quezon City, p. 205-211.
- Tseng, C.K. & Borowitzka, M. 2003. Algae culture. In: Lucas, J.S. and P.C. Southgate (Eds.), *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants*. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, p. 253-275.
- Tu, S.X., Guo, Z.F., & Chen, S.S. 1993. Transformation of applied phosphorus in a calcareous fluvisol. *Pedosphere*, 3: 277-283.
- Valente, L.M.P., Gouveia, A., Rema, P., Matos, J., Gomes, E.F., & Pinto, I.S. 2006. Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria cornea* as dietary ingredients in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 252: 85-91.
- Westermeier, R., Gómez, I., & Rivera, P. 1993. Suspended farming of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta, Gigartinales) at Cariquilda River, Maullín, Chile. *Aquaculture*, 113: 215-229.
- van Wijk, A.L.M. & Widjaja-Adhi, I.P.G. 1992. Introduction. In: *Acid Sulphate Soil in the Humid Tropics: Simulation Model of Physical and Chemical Processes to Evaluate Water Management Strategies*. Agency for Agricultural Research and Development, Jakarta and Land and Water Research Group, Wageningen, p. 11-14.
- Yang, Y.-F., Fei, X.-G., Song, J.-M., Hu, H.-Y., Wang, C.-G., & Chung, I.K. 2006. Growth of *Gracilaria lemaneiformis* under different cultivation conditions and its effects on nutrient removal in Chinese coastal waters. *Aquaculture*, 254: 248-255.

Lampiran 1. Ringkasan model dalam penentuan peubah kualitas air yang berpengaruh terhadap laju pertumbuhan relatif rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam Kecamatan Angkona Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan

Appendix 1. Model summary to determine water quality variables that affects the relative growth rate of seaweed cultured in acid sulfate soils-affected brackishwater ponds of Angkona Sub-district, East Luwu Regency, South Sulawesi Province

Model	R	R ²	R ² yang disesuaikan <i>Adjusted R2</i>	Standar galat estimasi <i>Standard error of estimate</i>	Durbin-Watson
1	0.712	0.506	0.284	0.47188	
2	0.711	0.506	0.318	0.46068	
3	0.709	0.503	0.345	0.45137	
4	0.705	0.498	0.367	0.44390	
5	0.691 ^a	0.478	0.369	0.44319	
6	0.658	0.433	0.342	0.45239	
7	0.641	0.411	0.343	0.45195	
8	0.598	0.358	0.310	0.46323	1.977

Keterangan (Note):

^a: Prediktor (*Predictors*): Konstanta (*Constant*), Salinitas (*Salinity*), Nitrat (*Nitrate*), Fosfat (*Phosphate*), Amonium (*Ammonium*), Besi (*Iron*)

Lampiran 2. Analisis ragam atau Uji F dari peubah kualitas air yang berpengaruh terhadap laju pertumbuhan relatif rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan

Appendix 2. Variance analysis or F Test of water quality variables that affects the relative growth rate of seaweed cultured in acid sulfate soils-affected brackishwater ponds of Angkona Sub-district, East Luwu Regency, South Sulawesi Province

Model	Jumlah kuadrat tengah <i>Sum of squares</i>	Derajat bebas <i>Degrees of freedom</i>	Kuadrat tengah <i>Mean square</i>	F	P
1 Regresi (<i>Regression</i>)	4.569	9	0.508	2.280	0.060
Sisa (<i>Residual</i>)	4.453	20	0.223		
Total	9.022	29			
2 Regresi (<i>Regression</i>)	4.566	8	0.571	2.689	0.033
Sisa (<i>Residual</i>)	4.457	21	0.212		
Total	9.022	29			
3 Regresi (<i>Regression</i>)	4.540	7	0.649	3.183	0.017
Sisa (<i>Residual</i>)	4.482	22	0.204		
Total	9.022	29			
4 Regresi (<i>Regression</i>)	4.490	6	0.748	3.798	0.009
Sisa (<i>Residual</i>)	4.532	23	0.197		
Total	9.022	29			
5 Regresi (<i>Regression</i>)	4.308	5	0.862	4.387	0.006 ^a
Sisa (<i>Residual</i>)	4.714	24	0.196		
Total	9.022	29			
6 Regresi (<i>Regression</i>)	3.906	4	0.976	4.771	0.005
Sisa (<i>Residual</i>)	5.116	25	0.205		
Total	9.022	29			
7 Regresi (<i>Regression</i>)	3.711	3	1.237	6.057	0.003
Sisa (<i>Residual</i>)	5.311	26	0.204		
Total	9.022	29			
8 Regresi (<i>Regression</i>)	3.228	2	1.614	7.523	0.003
Sisa (<i>Residual</i>)	5.794	27	0.215		
Total	9.022	29			

Keterangan (*Note*):

^a: Prediktor (*Predictors*): Konstanta (*Constant*), Salinitas (*Salinity*), Nitrat (*Nitrate*), Fosfat (*Phosphate*), Amonium (*Ammonium*), Besi (*Iron*)