

Morfologi *Gracilaria* spp. yang dibudidaya di tambak Desa Pantai Sederhana, Muara Gembong

Gracilaria spp. morphology cultured in brackish water pond Pantai Sederhana Village, Muara Gembong

Dinar Tri Soelistyowati*, Ida Ayu Amarilia Dewi Murni, Wiyoto

Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
Kampus IPB Dramaga Bogor, Jawa Barat 16680

*Surel: sdinarts@yahoo.com

ABSTRACT

Gracilaria spp. is a euryhaline species of seaweed which can live in the marine and brackish water. Development of *Gracilaria* spp. culture in Bekasi is potential because this seaweed can be cultured in ex shrimp pond by polyculture system. The objective of this research was to evaluate the phenotype morphological characteristic of *Gracilaria* spp. based on and its relationship with shrimp pond water quality. *Sampling* was done at three shrimp ponds with a salinity range at 13.7–19.2 g/L. Phenotypical characteristics of *Gracilaria* spp. consisted of colour and thallus morfometrics, while measurement of water quality consisted of physical and chemical characters of shrimp pond. The result showed that *Gracilaria* spp. generally had light brown colour. At salinity higher than 13.7 g/kg, the number of secondary thalli increased, the distance among internode tertiary thalli declined, and the number of ramification index increased. Salinity showed a positive correlation with ramification index which was 0.571.

Keywords: *Gracilaria* spp., ramification index, phenotype, salinity, brackishwater culture

ABSTRAK

Gracilaria spp. merupakan spesies rumput laut eurihalin yang dapat hidup di laut dan di perairan payau. Pengembangan budidaya *Gracilaria* spp. di Bekasi potensial dilakukan karena memanfaatkan tambak bekas budidaya udang dengan sistem polikultur. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik fenotipe morfologi *Gracilaria* spp. dan hubungannya dengan kualitas air di tambak budidaya. *Sampling* dilakukan pada tiga tambak dengan kisaran salinitas 13,7–19,2 g/L. Karakterisasi fenotipe meliputi warna dan morfometrik talus *Gracilaria* spp., sedangkan parameter kualitas air meliputi karakter fisika dan kimia air tambak. Hasil menunjukkan talus *Gracilaria* spp. umumnya berwarna coklat muda dan pada salinitas di atas 13,7 g/L menunjukkan jumlah talus sekunder meningkat, jarak internode talus tersier menurun, dan indeks percabangan meningkat ($P < 0,05$). Salinitas berkorelasi positif dengan indeks percabangan sebesar 0,571.

Kata kunci: *Gracilaria* spp., indeks percabangan, fenotipe, salinitas, budidaya air payau

PENDAHULUAN

Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) telah menetapkan komoditas unggulan perikanan budidaya, yaitu udang, rumput laut, ikan bandeng (*Chanos chanos*) dan ikan patin (*Pangasionodon hypophthalmus*). Rumput laut sebagai salah satu komoditas budidaya laut yang diunggulkan telah diekspor ke lebih dari 30 negara tujuan di antaranya Tiongkok, Filipina, Vietnam, Hongkong dan Korea Selatan (Surono *et al.*, 2009). Komoditas ini merupakan sumber pangan dan memiliki nilai ekonomis tinggi sebagai sumber devisa serta usaha padat karya yang mampu menyerap banyak tenaga kerja.

Tingginya permintaan rumput laut untuk kebutuhan industri di dalam dan luar negeri harus diimbangi dengan upaya penyediaan bahan baku yang berkualitas dan berkesinambungan. Program peningkatan produksi perikanan budidaya dengan sasaran produksi perikanan sebesar 16.891.000 ton pada tahun 2014, atau meningkat sebesar 353% bila dibandingkan dengan tahun 2009, telah dilakukan oleh Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya Departemen Kelautan dan Perikanan. Rumput laut merupakan salah satu komoditas utama yang dikembangkan dalam program tersebut. Sasaran produksi rumput laut pada tahun 2014 adalah sebesar 10.000.000 ton (Surono *et al.*, 2009).

Gracilaria merupakan salah satu jenis rumput laut penghasil agar (agarofit) yang banyak terdapat di perairan Indonesia. Agar mengandung senyawa hidrokoloid bersifat gelatin yang umum digunakan sebagai agen pengental pada industri makanan (Murdinah & Sinurat, 2011). Rumput laut *Gracilaria* sebagai salah satu komoditas unggulan, produksinya terus dipacu di wilayah Pantai Utara (Pantura) Jawa Barat. Salah satu tempat pengembangan rumput laut *Gracilaria* spp. adalah di Bekasi, yang perairannya bersalinitas 15–20 g/L. Potensi pengembangan budidaya rumput laut di Bekasi sangat besar karena banyak lahan kosong bekas tambak udang yang terbengkalai dan tidak termanfaatkan (KKP, 2012). Masalah utama yang dihadapi industri pengolahan rumput laut di Indonesia adalah kualitas agar yang tidak konsisten karena teknologi budidaya dan pembibitan yang dikembangkan oleh masyarakat maupun petani rumput laut sampai saat ini masih tradisional dengan cara menyisihkan talus hasil budidaya milik sendiri secara terus menerus dengan keterampilan seadanya tanpa pengelolaan dan seleksi yang terukur.

Gracilaria dapat hidup pada kisaran salinitas yang luas, yaitu kurang dari 15 g/L sampai 50 g/L. Salinitas mempunyai hubungan erat dengan daya hantar listrik (konduktivitas). Salinitas juga menunjukkan korelasi positif dengan pertumbuhan, kekuatan gel, bobot, diameter talus, panjang talus utama dan panjang talus sekunder pada *Gracilaria* spp. yang dibudidayakan dengan salinitas <30 g/L (Choi *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2009; Bunsom & Prathep 2012). Kualitas gel rumput laut sangat beragam yang dipengaruhi oleh daya adaptasi rumput laut terhadap salinitas perairan (Kumar *et al.*, 2010). Karakterisasi sifat fenotipe rumput laut *Gracilaria* pada berbagai tingkat salinitas di tambak dapat menjadi acuan untuk pendugaan produktivitas yang optimal

dalam hubungannya dengan kualitas gel dan strategi pengelolaan kualitas air selama budidaya sehingga menghasilkan produksi yang kontinu dan seragam. Analisis keragaman fenotipe dan hubungannya dengan kualitas air tambak dapat digunakan sebagai acuan untuk pendugaan fenotipe kompeten dalam pemilihan bibit dan strategi budidaya yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik fenotipe rumput laut *Gracilaria* spp. yang dibudidaya dengan sistem polikultur di tambak yang memiliki salinitas berbeda dan hubungannya dengan parameter kualitas perairan.

BAHAN DAN METODE

Materi uji

Sampel rumput laut dan air dikoleksi dari tambak budidaya rumput laut *Gracilaria* spp. di Desa Pantai Sederhana, Kecamatan Muara Gembong, Kabupaten Bekasi, Propinsi Jawa Barat yang berjarak sekitar 100 km dari ibukota Kabupaten Bekasi. Curah hujan rata-rata di wilayah ini 1.697 mm dan yang tertinggi adalah pada bulan Januari dan Februari saat penelitian. Angin musim barat bertiup dari arah Utara (pantai) pada awal bulan Desember sampai dengan Februari. Topografi lahan yaitu datar dengan ketinggian 0–5 m di atas permukaan laut. Area *sampling* berada pada koordinat 5°59" LS dan 107°68" BT. *Sampling* dilakukan satu bulan masa peremajaan pascapanen sebelumnya pada tiga petak tambak budidaya polikultur rumput laut dengan ikan bandeng yang memiliki kisaran salinitas 13,7–19,2 g/L. Koleksi rumput laut dan transek karakteristik perairan dilakukan pada bagian *inlet* dan *middle* setiap petak tambak masing-masing tiga ulangan (Gambar 1) dan variasi salinitas pada masing-masing lokasi *sampling* disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Lokasi titik pengambilan sampel *Gracilaria* spp. dan pengukuran kualitas air *in situ* di Tambak Desa Pantai Sederhana. (–) Aliran sungai.

Tabel 1. Nomor pengamatan, kode, dan salinitas pada titik *sampling* di tambak

Tambak	Pengamatan ke-	Kode	Salinitas (g/L)
1	1	A1	19,2
	2	A2	17,2
	3	A3	16,0
	4	B1	15,7
	5	B2	13,7
	6	B3	16,8
2	1	A1	18,1
	2	A2	18,6
	3	B1	18,1
	4	B2	18,3
3	1	A1	18,6
	2	A2	18,1
	3	A3	17,5
	4	B1	16,8
	5	B2	16,8
	6	B3	16,2

Teknik budidaya

Persiapan tambak untuk budidaya rumput laut *Gracilaria* spp. di Muara Gembong meliputi penyurutan air, pengangkatan tanah dasar ke pematang dan pengairan. Air yang ada di dalam tambak dikeluarkan melalui pintu air pada saat air laut surut, hingga kedalaman tambak dari permukaan air setelah disurutkan sekitar 5–15 cm. Ketebalan lumpur dikurangi hingga 10–15 cm. Proses pengairan ditambak tergantung pada pasang air laut. Pintu air dibuka sehingga air mengalir ke tambak sampai ketinggian air mencapai 50–80 cm, kemudian pintu air ditutup kembali.

Bibit rumput laut yang ditanam adalah talus muda yang rimbun dari sisa pemanenan, tidak patah, segar dan cerah. Rumput laut ditanam dengan metode lepas dasar pada titik-titik dengan jarak sekitar 1 m berupa tumpukan. Setiap tumpukan terdiri atas 2–3 kg bibit rumput laut. Perawatan rumput laut selama pemeliharaan berupa peremajaan dan penjarangan. Gumpalan besar rumput laut pada setiap titik (*spot*) diambil dan digerak-gerakkan dengan tangan agar lumpur atau penempel lain terlepas, kemudian dibagi-bagi menjadi tumpukan yang lebih kecil setiap dua minggu sekali dan diletakkan di bagian tambak yang masih kosong atau belum padat. Pemeliharaan rumput laut dilakukan secara polikultur. Polikultur rumput laut *Gracilaria* spp. dengan ikan bandeng memerlukan benih

ikan bandeng sebanyak 1.000–2.000 ekor/petak tambak dengan luas tambak 2–4 ha/petak. Benih ikan bandeng diperoleh dari daerah Kabupaten Karawang.

Pemupukan dilakukan tiga minggu setelah tanam. Pupuk yang diberikan adalah pupuk NPK dengan dosis 10 kg/ha. Pemupukan ini hanya dilakukan saat pertama kali penanaman rumput laut di tambak, selanjutnya tidak dilakukan pemupukan lagi. Pergantian air dilakukan sesuai dengan pasang surut air laut umumnya pasang terjadi pada pagi hari pukul 07.00 WIB dan surut pada sore hari pukul 14.00 WIB. Dua jam menjelang pasang, pintu air dibuka agar air yang ada di tambak keluar, sedangkan saat air laut pasang maka air laut akan kembali masuk ke dalam tambak. Persentase pergantian air tambak sebanyak 75–80%.

Pemanenan rumput laut pertama kali dilakukan pada umur tiga bulan dan selanjutnya pemanenan secara bertahap dilakukan 1–1,5 bulan sekali. Ciri-ciri rumput laut yang sudah siap panen adalah warnanya coklat tua atau gelap dan mempunyai sedikit talus muda. Ikan bandeng dipanen pada umur 5 bulan dengan bobot sekitar 250 g/ekor (*size 4*).

Koleksi sampel rumput laut

Pengambilan sampel rumput laut untuk karakterisasi warna dan morfometrik dilakukan secara acak setiap transek dengan mengambil

sampel rumput laut sekitar 100 g, kemudian dikemas dalam plastik klip yang diberi lubang aerasi dan ditempatkan dalam toples plastik yang berisi air tambak dari lokasi *sampling*. Selanjutnya, rumput laut ditampung dalam akuarium berukuran 30x20x20 cm³ yang berisi air tambak dari lokasi *sampling* dan diberi aerasi.

Pengukuran kualitas air

Parameter kualitas air yang diukur secara in situ meliputi salinitas, kedalaman, suhu, redoks potensial air, konduktivitas, kekeruhan, *total dissolved solid* (TDS), *dissolved oxygen* (DO), ketebalan lumpur menggunakan multichecker HORIBA U-50[®]. Pengukuran kualitas air secara *ex situ* berupa nitrat dan fosfat dilakukan dengan metode kolorimetri menggunakan alat Spektrofotometer Optima SP-300[®].

Pengamatan warna dan morfometrik rumput laut

Rumput laut yang digunakan untuk pengamatan fenotipe sebanyak lima individu setiap transek dengan kriteria memiliki talus yang lengkap yaitu terdapat talus utama, talus sekunder, talus tersier dan blade. Rumput laut hidup dikeluarkan dari kantongnya dan dikeringkan dari sisa air laut di atas kertas tisu, kemudian dilakukan penimbangan bobot individual dengan timbangan digital. Setiap rumpun dibentangkan di atas permukaan datar sehingga terlihat seluruh bagian talusnya. Pengamatan fenotipe kualitatif berupa warna rumput laut berdasarkan persentase warna per transek. Setelah itu dilakukan pengukuran diameter talus utama dengan jangka sorong plastik. Selanjutnya rumput laut diawetkan menggunakan alkohol 10% dan disimpan kembali dalam kantong plastik kering dan diberi label untuk pengamatan morfometrik. Parameter morfometrik yang diukur adalah panjang talus utama (PTU), panjang talus sekunder (PTS), panjang talus tersier (PTT), internode talus sekunder (ITS), internode talus tersier (ITT), jumlah talus sekunder (JTS), jumlah talus tersier (JTT), jumlah blade dan indeks percabangan (IP). Talus utama adalah tempat menempelnya talus sekunder, talus sekunder adalah tempat menempelnya talus tersier, talus tersier adalah tempat menempelnya blade. Pengukuran panjang talus diukur dari titik tumbuh (*apical growing point*) hingga ke ujung terakhir (Stekoll *et al.*, 2006). Internode talus sekunder adalah jarak antara dua titik penempelan talus sekunder pada talus utama dan internode talus tersier adalah

jarak antara dua titik penempelan talus tersier pada talus sekunder. Indeks percabangan dihitung dengan menjumlahkan seluruh percabangan talus sekunder, talus tersier, dan blade kemudian dibagi dengan bobot individu (Pickering *et al.*, 1995).

Analisis data

Fenotipe rumput laut, parameter kualitas air dan ketebalan lumpur dianalisis dengan *Microsoft Excel* 2010 dan MANOVA yang meliputi analisis korelasi, cluster, komponen utama (*principal component analyze*, PCA) menggunakan program MINITAB 16. Keragaman intrapopulasi dan interpopulasi rumput laut *Gracilaria* spp. serta hubungan antara keragaman fenotipe dengan kualitas air dianalisis dengan tingkat keyakinan 65–95%. Analisis cluster digunakan untuk melihat struktur interpopulasi dan mengkaji hubungannya dengan variabel kualitas air pada salinitas lokasi *sampling* yang berbeda. Analisis PCA dilakukan untuk menggambarkan variabel kompeten yang saling mempengaruhi berdasarkan sebaran data fenotipe morfometrik dan kualitas air dalam bentuk diagram PCA.

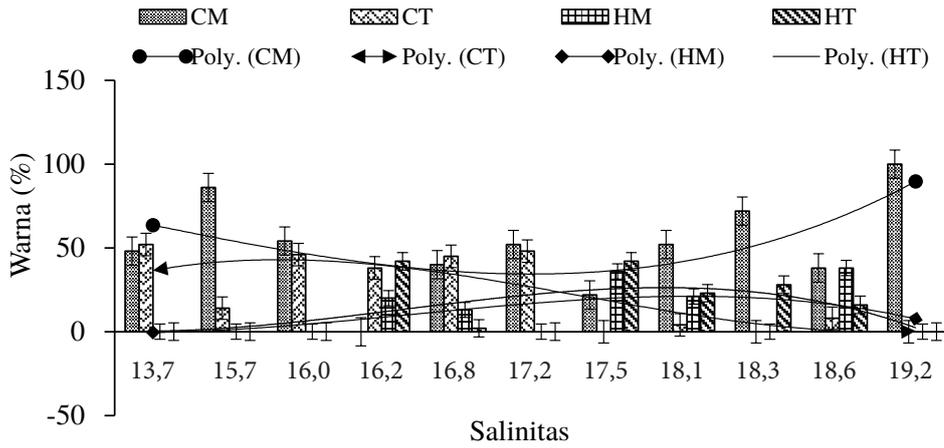
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

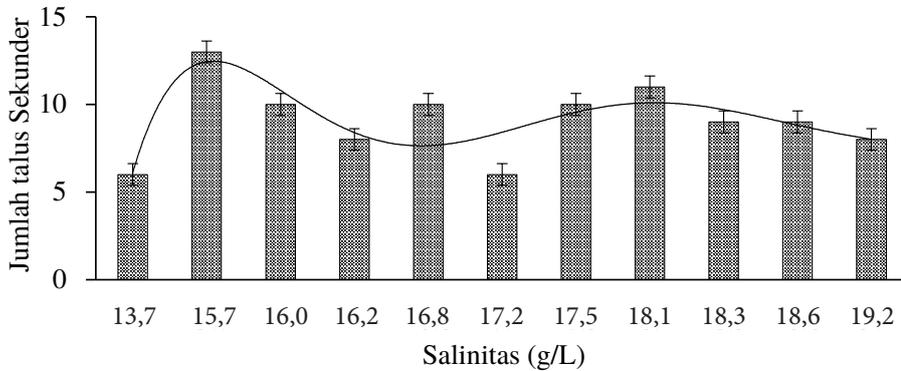
Karakteristik fenotipe rumput laut Gracilaria spp.

Karakterisasi fenotipe rumput laut *Gracilaria* spp. dari lokasi tambak Desa Pantai Sederhana meliputi karakter fenotipe warna talus dan morfometrik. Warna talus rumput laut *Gracilaria* spp. yang dibudidayakan di tambak dengan sistem polikultur pada salinitas 13,7–19,2 g/L bervariasi, yaitu warna coklat muda (CM), coklat tua (CT), hijau muda (HM) dan hijau tua (HT). Warna coklat muda secara umum terlihat pada rumput laut jenis *Gracilaria* spp. dengan persentase lebih besar dari 20% dan paling tinggi mencapai 100% pada sampel dari tambak salinitas 19,2 g/L. Warna coklat tua ditemukan hingga 50% pada salinitas yang lebih rendah dari 17,2 g/L. Warna hijau muda dan hijau tua ditemukan pada rumput laut yang ditanam pada salinitas antara 16,2–16,8 g/L dengan persentase paling tinggi 40%. Secara umum persentase warna hijau muda lebih rendah dari hijau tua (Gambar 3).

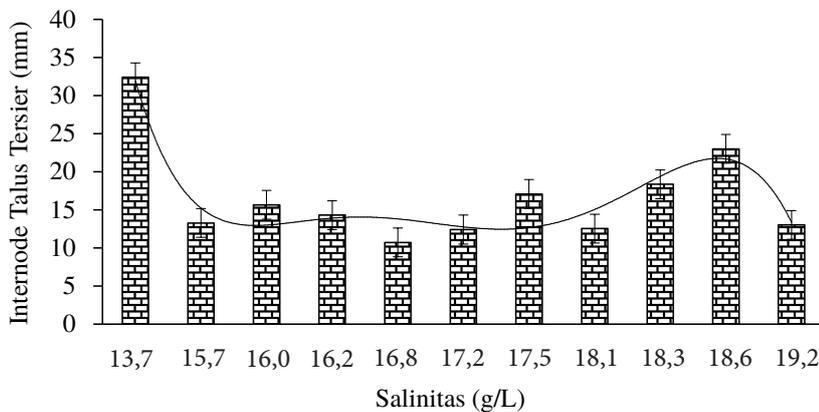
Keragaman fenotipe morfometrik rumput laut *Gracilaria* spp. menunjukkan perbedaan yang nyata pada salinitas yang berbeda ($p < 0,35$) yaitu pada jumlah talus sekunder (Gambar 4), jarak internode talus tersier (Gambar 5), dan indeks



Gambar 2. Sebaran warna talus rumput laut *Gracilaria* spp. di tambak pada salinitas 13,7–19,2 g/L (CM=coklat muda, CT=coklat tua, HM=hijau muda, HT=hijau tua, Poly=polygon).



Gambar 3. Jumlah talus sekunder (JTS) rumput laut *Gracilaria* spp. di tambak pada salinitas 13,7–19,2 g/L.

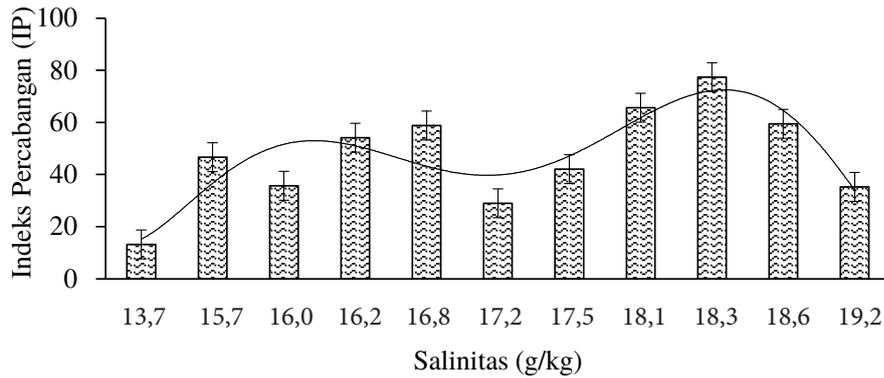


Gambar 4. Rata-rata jarak internode talus tersier (JTT) rumput laut *Gracilaria* spp. di tambak pada salinitas 13,7–19,2 g/L.

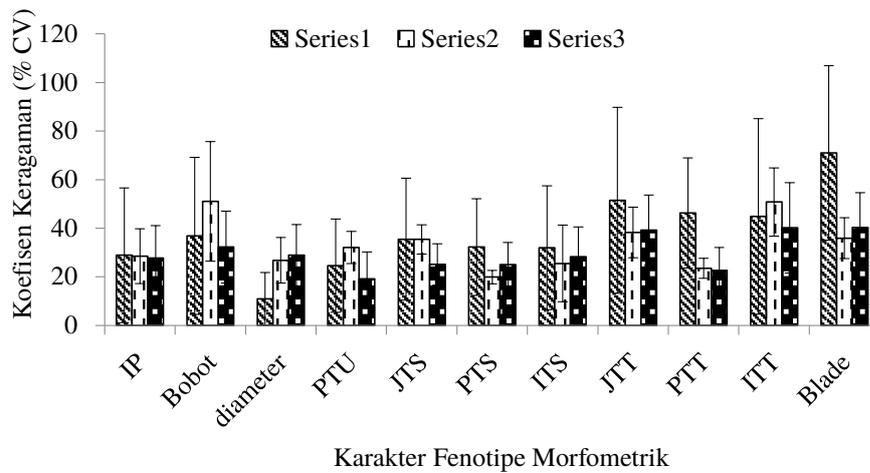
percabangan (Gambar 6). Rata-rata jumlah talus sekunder sampel rumput laut *Gracilaria* spp. pada salinitas 13,7–19,2 g/L bervariasi dari $5,80 \pm 1,30$ sampai $12,60 \pm 5,03$ (Gambar 4). Rata-rata indeks percabangan rumput laut *Gracilaria* spp. pada salinitas 13,7–19,2 g/L di tambak berkisar antara $13,13 \pm 3,40$ sampai $77,33 \pm 19,69$ dengan IP paling tinggi adalah pada sampel rumput laut dari salinitas 18,3 g/L dan yang terendah pada salinitas 13,7 g/L (Gambar 6).

Keragaman intrapopulasi dan interpopulasi rumput laut Gracilaria spp.

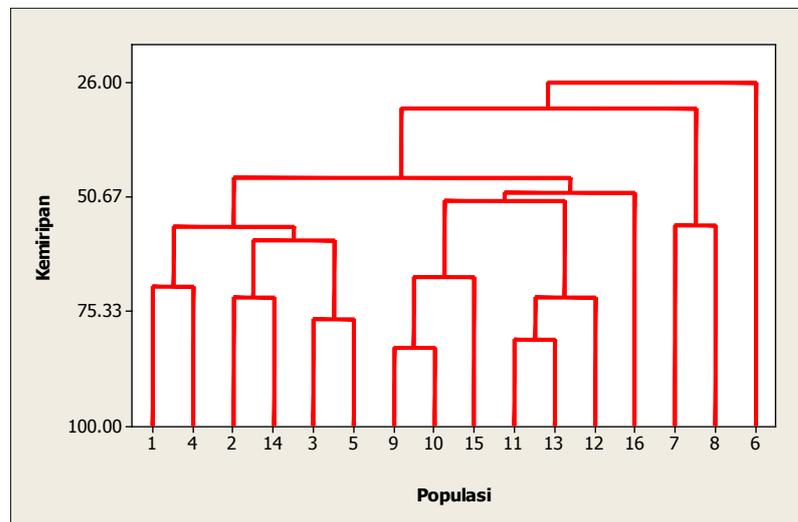
Keragaman intrapopulasi rumput laut *Gracilaria* spp. pada masing-masing tambak berdasarkan karakter morfometrik dinyatakan dalam koefisien keragaman (CV). Berdasarkan uji Levene yang dilakukan diperoleh bahwa hampir seluruh karakter morfometrik menunjukkan tingkat keragaman tinggi ($P < 0,05$) kecuali pada panjang talus utama (PTU), panjang talus tersier



Gambar 5. Rata-rata indeks percabangan (IP) rumput laut *Gracilaria* spp. di tambak pada salinitas 13,7–19,2 g/L.



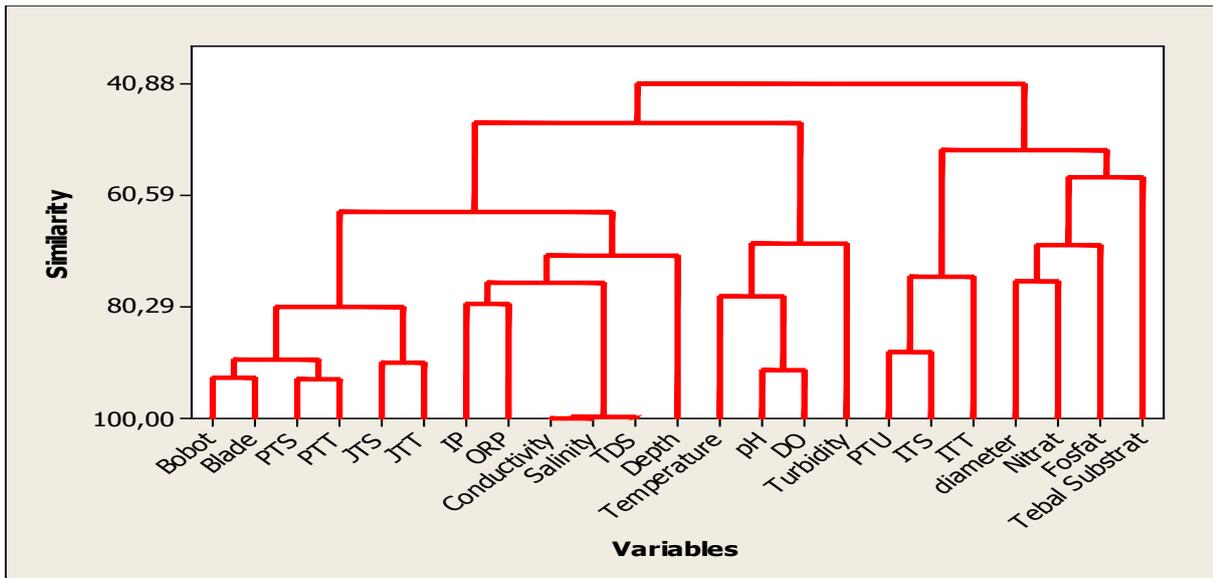
Gambar 6. Keragaman intrapopulasi rumput laut *Gracilaria* spp. di tambak berdasarkan karakter morfometrik (series 1, 2, 3: tambak-1, 2, 3).



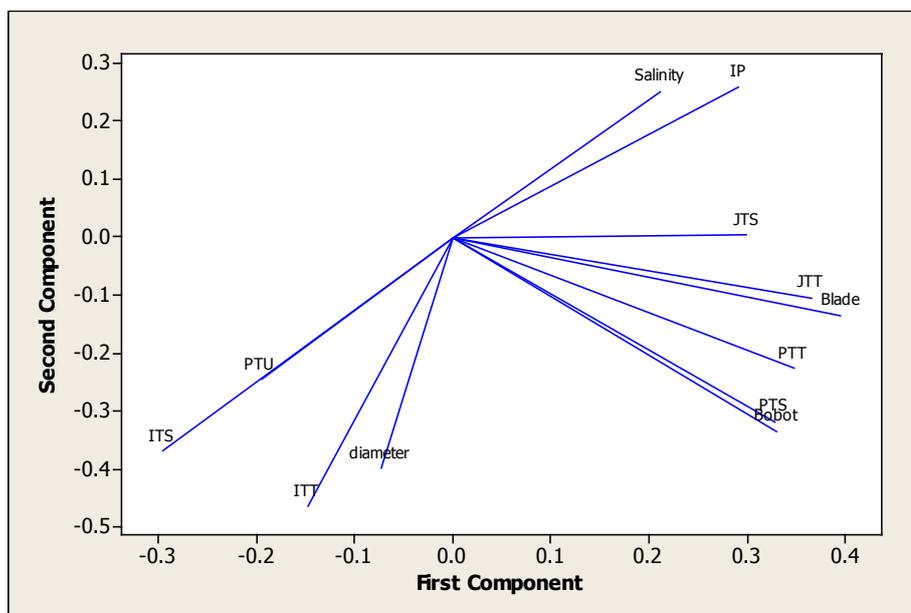
Gambar 7. Dendrogram interpopulasi rumput laut *Gracilaria* spp. di tambak bersalinitas 13,7–19,2 g/L berdasarkan karakter morfometrik.

(PTT), dan indeks percabangan (IP). Koefisien keragaman tertinggi yaitu jumlah blade sebesar 71% dan koefisien keragaman terendah adalah diameter talus sebesar 10,9% pada populasi di tambak 1 dengan kisaran salinitas 13,7–19,2 g/L (Gambar 7).

Berdasarkan kemiripan karakter atau sifat morfometrik interpopulasi rumput laut *Gracilaria* spp. di tambak pada salinitas 13,7–19,2 g/L yang digambarkan dalam dendrogram (Gambar 7), pengelompokan populasi dapat dibagi ke dalam tiga kategori (Gambar 8) dengan



Gambar 8. Dendrogram intervariabel 12 parameter kualitas air dan morfometrik rumput laut di tambak pada salinitas 13,7–19,2 g/L. Sumbu Y: salinitas. Sumbu X: parameter kualitas air.



Gambar 9. Diagram hasil analisis komponen utama hubungan salinitas dengan fenotipe morfometrik rumput laut *Gracilaria* spp. di tambak. Sumbu Y: salinitas. Sumbu X: parameter kualitas air.

tingkat keragaman yang berbeda. Kelompok I menunjukkan metapopulasi yang terdiri atas 13 populasi yaitu populasi 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 dengan tingkat kemiripan sebesar 46,49%, sedangkan kelompok II terdiri atas populasi 7 dan 8 pada salinitas 18,1 g/L dan 18,6 g/L. Kelompok II menunjukkan tingkat kemiripan yang tertinggi dengan presentase sebesar 31,66%, dan kelompok III menghasilkan tingkat kemiripan paling rendah yaitu sebesar 26% yang terdapat pada populasi 6 dengan nilai salinitas sebesar 16,8 g/L.

Kualitas air di tambak pada salinitas 13,7–19,2 g/kg

Berdasarkan hasil pengukuran 12 parameter kualitas air di setiap titik *sampling* dan dilakukan uji MANOVA, parameter salinitas memberikan pengaruh yang nyata terhadap konduktivitas dan TDS ($P < 0,05$). Pada dendrogram intervariabel kualitas perairan di tambak dan karakter fenotipe morfometrik rumput laut *Gracilaria* spp. pada salinitas 13,7–19,2 g/L (Gambar 9) menunjukkan pengelompokan bobot, jumlah blade, PTS, PTT, JTS, JTT, IP, redoks air, konduktivitas, salinitas,

TDS dan kedalaman dengan tingkat keterkaitan tertinggi yaitu 63,54 %. Kelompok 2 terdiri atas suhu, pH, oksigen terlarut dan kekeruhan pada tingkat keselarasan 47,82%, sedangkan kelompok 3 (40,88%) terdiri atas karakter fenotipe PTU, ITS, ITT, diameter, fosfat, nitrat dan ketebalan substrat. Sebaran jumlah blade, jumlah talus sekunder (JTS), dan indeks percabangan (IP) memiliki kesamaan pola dengan salinitas, TDS, redoks perairan, konduktivitas dan memiliki hubungan secara tidak langsung dengan suhu dan kekeruhan. Karakter internode talus tersier (ITT) memiliki kesamaan pola dengan fosfat, nitrat dan ketebalan substrat sebagai penyedia nutrisi di perairan dimana karakter ITT memiliki hubungan secara tidak langsung dengan indeks percabangan.

Hubungan salinitas dan fenotipe morfometrik rumput laut Gracilaria spp.

Hasil analisis komponen utama fenotipe morfometrik dengan salinitas menunjukkan tiga komponen variabel utama yang mempunyai nilai eigen di atas 1 mampu menjelaskan 86,1% tingkat keragaman. Komponen utama pertama terdiri atas panjang talus sekunder, jumlah talus tersier, panjang talus tersier dan jumlah blade mampu menjelaskan 45,9% keragaman sedangkan komponen utama kedua terdiri atas karakter bobot, diameter talus utama, internode talus sekunder dan internode talus tersier mampu menjelaskan 20,9% keragaman (Gambar 10). Salinitas memiliki hubungan positif dengan karakter morfometrik dan indeks percabangan serta berhubungan negatif terjauh dengan internode talus tersier dan internode talus sekunder.

Pembahasan

Fenotipe warna talus rumput laut *Gracilaria* spp. di tambak pada salinitas 13,7–19,2 g/L pada umumnya coklat muda dengan persentase meningkat seiring dengan peningkatan salinitas, sedangkan warna hijau muda dan hijau tua ditemukan sampai salinitas 17,5 g/L dan persentasenya menurun pada salinitas yang lebih tinggi. Secara umum persentase warna hijau muda lebih rendah dari hijau tua. Warna pada talus rumput laut dipengaruhi oleh kandungan klorofil-a dan protein phycobily (phycoerithrin, allophycocyanin, dan phycocyanin). Kandungan protein phycobily menunjukkan respons yang bervariasi pada salinitas yang berbeda. Menurut Kumar *et al.* (2010), *Gracilaria corticata* yang berasal dari area intertidal menunjukkan

konsentrasi klorofil berkurang hampir setengah dari nilai awalnya dan derajat peningkatan protein phycobily pada salinitas rendah lebih kecil dibandingkan salinitas tinggi. Akumulasi kandungan protein phycobily ini berfungsi pada mekanisme aklimatisasi yaitu sebagai cadangan protein untuk biosintesis saat mengalami stres yang diakibatkan oleh salinitas. Selain itu, berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ding *et al.* (2013) pigmentasi rumput laut sangat dipengaruhi oleh salinitas.

Aklimatisasi terhadap intensitas cahaya juga memberikan pengaruh terhadap perubahan warna pada *Gracilaria* spp. Perubahan pigmen warna talus menjadi warna hijau disebabkan oleh rendahnya kandungan phycoerithrin yaitu merupakan respons adaptasi rumput laut terhadap tingginya radiasi sinar matahari. Kedalaman tambak yang digunakan dalam penelitian ini sekitar 1 m. Hal ini didukung dengan pernyataan Ramus dan John (1983) bahwa radiasi rendah cenderung memperkaya phycoerithrin dibandingkan klorofil-a, sedangkan rasio phycocyanin cenderung stabil dibandingkan klorofil-a. Perubahan warna ini juga berkaitan dengan panjang gelombang cahaya matahari yang diterima rumput laut. Semakin tinggi salinitas, panjang gelombang cahaya matahari yang diterima semakin pendek. Cahaya memiliki spektrum warna yang berbeda sesuai dengan panjang gelombang. Pemaparan cahaya dengan panjang gelombang atau spektrum warna yang berbeda akan mempengaruhi pertumbuhan dan pigmentasi rumput laut (Godines-Ortega, 2008).

Warna rumput laut berubah seiring perubahan phycoerithrin (Yu & Yang, 2008). Perubahan kandungan pigmen ini juga dipengaruhi oleh ketersediaan nitrogen (N) dan fosfat (P) dalam suatu perairan. Ketika konsentrasi nitrogen dalam rumput laut tidak cukup, kandungan phycoerithrin juga menurun. Ribeiro *et al.* (2013) serta Yu dan Yang (2008) juga menyampaikan hal yang sama yaitu keterbatasan nitrogen dalam perairan menyebabkan penurunan kandungan phycoerithrin dalam alga merah (Rhodophyta). Rumput laut berubah warna dimana warna yang terbentuk dari merah tua, merah muda, pirang, coklat, hijau, kuning terang dan dapat menyebabkan pertumbuhannya berhenti. Ketika konsentrasi nitrogen terlalu tinggi dan mencapai kapasitas maksimum deposit nitrogen dalam *Gracilaria lemaneiformis*, akan terjadi histosis; rangkaian reaksi fisiologis dan biokimia yang akan membatasi perkembangan kandungan

warna dan juga akan menghambat pertumbuhan dimana kloroplas dalam talus rumput laut *G. lemaneiformis* menjadi rusak dengan ciri-ciri antara lain jumlah tilakoid meningkat dan talus mulai membusuk, percabangan menjadi tidak menentu hingga akhirnya melarut dalam air, volume kloroplas meningkat dan butiran *starch grains* di dalam kloroplas berakumulasi secara signifikan.

Berdasarkan hasil analisis MANOVA, salinitas mempengaruhi perubahan fenotipe morfometrik yaitu jumlah talus sekunder, internode talus tersier dan indeks percabangan. Pola hubungan antara masing-masing karakter tersebut terhadap salinitas yaitu semakin meningkatnya salinitas hingga 19,2 g/L dapat meningkatkan fenotipe jumlah talus sekunder, memperpendek jarak internode talus tersier sehingga menghasilkan indeks percabangan yang semakin meningkat. Nilai indeks percabangan yang tinggi dapat menjadi salah satu indikator kualitas *Gracilaria* yang baik.

Berdasarkan hasil pengamatan keragaman morfometrik intrapopulasi, karakter panjang talus utama, panjang talus tersier dan indeks percabangan masing-masing populasi rumput laut yang ditanam pada salinitas 13,7–16,8 g/kg menunjukkan keseragaman yang tinggi. Sedangkan pada rumput laut yang ditanam dengan salinitas lebih tinggi menunjukkan kemiripan yang lebih rendah, kecuali pada rumput laut yang ditanam dengan salinitas 19,2 g/kg menunjukkan kemiripan dengan kelompok rumput laut yang ditanam pada salinitas lebih rendah. Secara umum nilai koefisien variasi suatu karakter mengindikasikan tingkat variabilitas individual pada suatu populasi terkait dengan perbedaan respon adaptasi interindividu yang dikontrol secara genetis. Variabilitas karakter fenotipik mencerminkan variabilitas genotipe populasi dan dipengaruhi oleh lingkungan (Tave, 1999). Variabilitas genetik berhubungan dengan variasi genotipe individual. Semakin banyak proporsi homozigot keragaman genetiknya semakin rendah dan sebaliknya semakin banyak proporsi heterozigot, variabilitas genetiknya akan semakin tinggi. Fenotipe pada karakter atau sifat indeks percabangan berpotensi sebagai indikator kualitas *Gracilaria* spp. yaitu menunjukkan hubungan positif antara ekspresi genotipe rumput laut dengan salinitas di tambak (13,7–19,2 g/kg) yaitu sebesar 0,571 .

Berdasarkan hubungan kemiripan karakter morfometrik interpopulasi pada kisaran salinitas

13,7–19,2 g/L dapat digambarkan dalam bentuk dendrogram pengelompokan populasi rumput laut, secara umum seluruh populasi menunjukkan kemiripan hingga 50% kecuali populasi dengan salinitas 16,8 g/L menunjukkan perbedaan paling tinggi (74%). Sumber rumput laut *Gracilaria* spp. di tambak pada salinitas 13,7–19,2g/L menggunakan stok budidaya melalui propogasi secara vegetatif dari sumber yang terbatas. Menurut Tave (1999), keragaman fenotipe berasal dari penjumlahan keragaman genetik, keragaman lingkungan, serta adanya interaksi antara variasi lingkungan dan genetik. Perbanyak rumput laut secara vegetatif tidak akan memunculkan variasi genetik namun mampu menghasilkan perbaikan pertumbuhan (Parenrengi *et al.*, 2006).

Perbedaan salinitas dan parameter kualitas air lainnya dapat mempengaruhi fenotipe morfometrik melalui berbagai proses fisiologis yang dilakukan oleh rumput laut *Gracilaria* yaitu proses fotosintesis dan penyesuaian tekanan osmotik. Rumput laut *Gracilaria* di tambak dipengaruhi oleh pasang surut air laut sehingga penyesuaian terhadap tekanan osmotik dilakukan dalam rangka mencapai keseimbangan dengan lingkungan yaitu dengan mengatur konsentrasi ion anorganik (K⁺, Na⁺, Cl⁻) dan beragam molekul organik (floridoside, isofloridoside, digeneside) (Sivakumar & Arunkumar, 2009). Salinitas, TDS, konduktivitas, kedalaman dan redoks air merupakan parameter yang mendukung terjadinya pergerakan nutrisi dari lingkungan ke dalam sel rumput laut *Gracilaria* spp. sedangkan suhu, pH, oksigen terlarut dan kekeruhan merupakan parameter yang mendukung proses fotosintesis pada *Gracilaria* spp. Fosfat, nitrat dan ketebalan substrat merupakan parameter yang berperan sebagai penyedia nutrisi di perairan. Perubahan salinitas diikuti dengan perubahan konduktivitas dan perubahan TDS berhubungan dengan kandungan ion-ion dalam air.

Peningkatan indeks percabangan *Gracilaria* spp. diduga karena salinitas berkorelasi positif dengan konduktivitas. Konduktivitas merupakan gambaran numerik dari kemampuan air untuk meneruskan aliran listrik sehingga sering disamakan dengan daya hantar listrik (DHL). Nilai DHL ini berkaitan erat dengan nilai TDS. Jadi air laut yang memiliki TDS yang tinggi karena banyak mengandung senyawa garam dan mengakibatkan tingginya nilai salinitas dan daya hantar listrik (Sowers *et al.*, 2005). Daya hantar listrik mempengaruhi laju penyerapan nutrisi dari lingkungan oleh sel. Penyerapan nutrisi

meningkat dan didukung dengan nilai turbiditas (kekeruhan) yang rendah sehingga intensitas cahaya matahari dapat masuk ke perairan dengan baik maka menyebabkan laju fotosintesis meningkat. Laju fotosintesis yang tinggi dapat meningkatkan pertumbuhan *Gracilaria* spp. Hal tersebut dapat dilihat dari banyaknya talus rumput laut yang tumbuh sebagai individu baru sehingga indeks percabangannya pun meningkat.

Nutrisi di perairan tambak terutama terdiri atas nitrogen (N), fosfor (P), dan silikat (Si). Unsur N adalah nutrisi kunci yang membatasi pertumbuhan rumput laut. NO_3^- adalah bentuk utama N dalam ekosistem bahari dan senyawa ini direduksi menjadi NH_4^+ sebelum masuk ke dalam metabolisme N tanaman akuatik di tambak. Hasil pada pengamatan menunjukkan nitrat berkorelasi positif dengan diameter talus dan kadar fosfat berkorelasi positif dengan indeks percabangan. Menurut Yu dan Yang (2008), unsur fosfor dalam bentuk senyawa organik yang terlarut (ortofosfat dan polifosfat) merupakan unsur esensial bagi tumbuhan tingkat tinggi dan alga serta mempengaruhi tingkat produktivitas perairan. Kadar fosfat yang tinggi di tambak akan mendukung pertumbuhan *Gracilaria* spp. (Xu *et al.*, 2008).

Rumput laut memiliki kemampuan menyerap nitrogen (N) dan fosfat (P) sebagai hasil dari penguraian bahan organik di perairan oleh kerja bakteri pengurai melalui reaksi nitrifikasi dan denitrifikasi. Sumber nitrogen di perairan tambak tersebut yaitu N alami yang terdapat di tambak serta hasil metabolisme dari ikan bandeng yang dibudidayakan secara polikultur dengan rumput laut. Talus tumbuh baik pada semua sistem polikultur yang dicobakan dalam penelitian mengenai kemampuan *G. lemaneiformis* dalam menyerap limbah N dan P dari kegiatan budidaya ikan *Sebastes fuscescens* yang dipelihara secara polikultur dengan rumput laut ini pada musim panas dan musim semi di Cina (Zhou *et al.*, 2006).

Hasil penelitian menyatakan bahwa rata-rata laju pengambilan N and P oleh talus rumput laut ini diperkirakan sebesar 10,64 dan 0,38 $\mu\text{mol/g}$ bobot kering per hari. Komposisi N dan P di perairan juga mempengaruhi pertumbuhan rumput laut. Hasil penelitian Yu dan Yang (2008) memperlihatkan bahwa rumput laut memerlukan perbandingan N dan P tertentu. Konsentrasi N/P yang tinggi pada perairan yang mengalami eutrofikasi memerlukan upaya remediasi perairan menggunakan rumput laut sebagai bioremediator untuk mengatasi titik kritis tambak.

KESIMPULAN

Fenotipe rumput laut *Gracilaria* spp. yang dibudidayakan dengan sistem polikultur di tambak pada salinitas 13,7–19,2 g/L cenderung menunjukkan warna talus coklat muda. Pada salinitas 18,3 g/L rumput laut menunjukkan indeks percabangan tertinggi 77,33 dan berkorelasi positif dengan salinitas, TDS dan hara (nitrat, fosfat). Perbedaan salinitas berkorelasi dengan TDS dan konduktivitas (99,85%), pH dan kekeruhan (65,80%), serta ketersediaan fosfat dan nitrat (38,93%).

DAFTAR PUSTAKA

- Bunsom C, Prathep A. 2012. Effects of salinity, light intensity and sediment on growth, pigments, agar production and reproduction in *Gracilaria tenuistipitata* from Songkhla Lagoon in Thailand. *Phycological Research* 60: 169–178.
- Choi HG, Kim YS, Kim JH, Lee SJ, Park EJ, Ryu J, Nam KW. 2006. Effects of temperature and salinity on the growth of *Gracilaria verrucosa* and *Gracilaria chorda*, with the potential for mariculture in Korea. *Journal of Applied Phycology* 18: 269–277.
- Ding L, Ma Y, Huang B, Chen S. 2013. Effects of Seawater Salinity and Temperature on Growth and Pigment Contents in *Hypnea cervicornis* J. Agardh (Gigartinales, Rhodophyta). *BioMed Research International* 2013: 1–10.
- Godínez-Ortega JL, Snoeijs P, Robledo D, Freile-Pelegrín Y, Pedersén M. 2008. Growth and pigment composition in the red alga *Halymenia floresii* cultured under different light qualities. *Journal of Applied Phycology* 20: 253–260.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2012. Siaran Pers: Pacu produksi rumput laut, kkp kembangkan pola budidaya polikultur. <http://www.kkp.go.id/> [4 Oktober 2012].
- Kumar M, Puja K, Vishal G, Reddy CRK, Bhavanath J. 2010. Biochemical responses of red alga *Gracilaria corticata* (Gracilariales, Rhodophyta) to salinity induced oxidative stress. *Experimental Marine Biology and Ecology* 391: 27–34.
- Murdinah, Sinurat E. 2011. Perbaikan sifat fungsional agar-agar dengan penambahan berbagai jenis gum. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan* 6: 91–100.
- Parentrengi A, Sulaeman, Suryati E, Tenriulo

- A. 2006. Karakterisasi genetika rumput laut *Kappaphycus alvarezii* yang dibudidayakan di Sulawesi Selatan. *Jurnal Riset Akuakultur* 1: 1–11.
- Pickering TD, Margaret EG, Lennard JT. 1995. A preliminary trial of spray culture technique for growing the agarophyte *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta). *Aquaculture* 130: 43–49
- Ramus J, John PM. 1983. A physiological test of the theory of complementary of chromatic adaptation color mutants of a red seaweed. *Journal of Phycology* 19: 86–91.
- Ribeiro ALNL, Tesima KE, Souza JMC, Yokoya NS. 2013. Effects of nitrogen and phosphorus availabilities on growth, pigment, and protein contents in *Hypnea cervicornis* J. Agardh (Gigartinales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology* 25: 1.151–1.157.
- Sivakumar SR, Arunkumar K. 2009. Sodium, Potassium and Sulphate composition in some seaweeds occurring along the coast of gulf of Mannar, India. *Asian Journal of Plant Sciences* 8: 500–504.
- Sowers AD, Gatlin DM, Young SP, Isely JJ, Browdy CL, Tomasso JR. 2005. Responses of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in water containing low concentrations of total dissolved solids 36: 819–823.
- Stekoll M, Deysler L, Hess M. 2006. A remote sensing approach to estimating harvestable kelp biomass. *Journal of Applied Phycology* 18: 323–334.
- Surono A, Danakusumah E, Sulistijo, Zalnika A, Effendi I, Basmal J, Runtuboy N, Paryanti TS, Ahda A. 2009. Profil Rumput Laut Indonesia. Direktorat Produksi: Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya.
- Tave D. 1999. Inbreeding and brood stock management. Fisheries Technical Paper. No. 392. Italy: FAO.
- Xu Y, Fang J, Wei W. 2008. Application of *Gracilaria lichenoides* (Rhodophyta) for alleviating excess nutrients in aquaculture. *Journal of Applied Phycology*. 20: 199–203.
- Xu Y, Wei W, Fang J. 2009. Effects of salinity, light and temperature on growth rates of two species of *Gracilaria* (Rhodophyta). *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 27: 350–355
- Yu J, Yang F. 2008. Physiological dan biochemical responses of seaweed *Gracilaria lemaneiformis* to concentration changes N and P. *Experimental Marine Biology and Ecology* 367: 142–148.
- Zhou Y, Yang H, Hu H, Liu Y, Mao Y, Zhou H, Xu X, Zhang F. 2006. Bioremediation potential of the macroalga *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) integrated into fed fish culture in coastal waters of North China. *Aquaculture*. 252: 264–276.