

TINGKAT PENYERAPAN NITROGEN DAN FOSFOR PADA BUDIDAYA RUMPUT LAUT BERBASIS IMTA (*INTEGRATED MULTI-TROPHIC AQUACULTURE*) DI TELUK GERUPUK, LOMBOK TENGAH, NUSA TENGGARA BARAT

Erna Yuniarsih^{*)}, Kukuh Nirmala^{**)}, dan I Nyoman Radiarta^{***)}

^{*)} Sekretariat Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya
Gedung Menara 165 Lt. 23, Jl. T.B. Simatupang Kav. 1, Cilandak Timur, Jakarta
E-mail: *ceu2_rna@yahoo.com*

^{**)} Departemen Budidaya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB
Jl. Agatis, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

^{***)} Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya
Jl. Ragunan 20, Pasar Minggu, Jakarta Selatan 12540

(Naskah diterima: 6 Juni 2014; Revisi final: 16 Oktober 2014;
Disetujui publikasi: 10 November 2014)

ABSTRAK

Pengembangan budidaya laut berbasis IMTA (*Integrated Multi-Trophic Aquaculture*) merupakan suatu metode yang dirancang untuk mengatasi masalah lingkungan yang terkait dengan penggunaan pakan pada kegiatan akuakultur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat penyerapan nitrogen dan fosfor pada budidaya rumput laut berbasis IMTA di Teluk Gerupuk Kabupaten Lombok Tengah. Rumput laut jenis *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma spinosum* dibudidayakan dengan metode rawai (*long line*). Pengamatan terhadap rumput laut dan kondisi perairan dilakukan setiap 15 hari; mulai hari ke-0 sampai hari ke-45. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya perbedaan tingkat penyerapan nitrogen dan fosfor antara dua jenis rumput laut yang dibudidayakan. Total penyerapan nitrogen rumput laut *K. alvarezii* di lokasi IMTA mencapai 86,95 ton N/ha/tahun atau lebih tinggi 24,6% dibandingkan dengan *E. spinosum* yang mencapai 69,78 ton N/ha/tahun. Sedangkan untuk tingkat penyerapan fosfor, *K. alvarezii* mencapai 20,56 ton P/ha/tahun atau lebih tinggi 136,7% dibandingkan dengan *E. spinosum* yang hanya mencapai 8,69 ton P/ha/tahun. Berdasarkan luasan kawasan potensial budidaya rumput laut di Teluk Gerupuk, maka potensi penyerapan nitrogen dan fosfor untuk rumput laut *K. alvarezii* di kawasan ini masing-masing mencapai 27.996,93 ton N/tahun dan 6.619,16 ton P/tahun. Sedangkan untuk *E. spinosum* potensi penyerapan nitrogen dan fosfor masing-masing mencapai 22.470,02 ton N/tahun dan 2.796,82 ton P/tahun. Penerapan budidaya rumput laut berbasis IMTA secara jelas memberikan keuntungan ekonomi dan ekologi dengan adanya peningkatan biomassa dan perbaikan kondisi lingkungan budidaya.

KATA KUNCI: IMTA, penyerapan nitrogen dan fosfor, *Kappaphycus alvarezii*, *Eucheuma spinosum*, Teluk Gerupuk

ABSTRACT: *Nitrogen and phosphorus absorption levels on the seaweed aquaculture based on IMTA (Integrated multi-trophic aquaculture) system in Gerupuk Bay, Central Lombok, West Nusa Tenggara. By: Erna Yuniarsih, Kukuh Nirmala, and I Nyoman Radiarta*

Mariculture development based on IMTA (Integrated Multi-Trophic Aquaculture) is a method that design to address the issues on environmental problems related to the use of feed in aquaculture. The aims of this research was to analyze the level of nitrogen and phosphorus absorption from seaweed aquaculture based on IMTA system in Gerupuk Bay, Central Lombok. Two difference species of seaweeds, *Kappaphycus alvarezii* and *Eucheuma spinosum*, were cultured using long line system. Seaweed and sea water parameter were investigated and analyzed every 15 days starting from day 0 to 45. The result showed that there were different level of nitrogen and phosphorus uptake between two species of seaweeds. The total nitrogen absorption of *K. alvarezii* in IMTA area was about 86.95 ton N/ha/year or 24.6% higher than *E. spinosum* in the same area that was reached 69.78 ton N/ha/year. Meanwhile the level of phosphorus absorption of *K. alvarezii* in IMTA area was accounted for 20.56 ton P/ha/year or 136.7% higher than *E. spinosum* that was only reached 8.69 ton P/ha/year. Based on potential area of seaweed aquaculture in Gerupuk Bay, the potential of nitrogen and phosphorus absorption for *K. alvarezii* in this area was reached 27,996.93 ton N/year and 6,619.16 ton P/year, respectively. While for *E. spinosum*, the potential of nitrogen and phosphorus absorption was reached 22,470.02 ton N/year and 2,796.82 ton P/year, respectively. Seaweeds culture using IMTA system obviously give an economical and ecological advantaged by increasing the biomass and improving water quality condition.

KEYWORDS: *IMTA, nitrogen and phosphorus absorption, Kappaphycus alvarezii, Eucheuma spinosum, Gerupuk Bay*

PENDAHULUAN

Budidaya laut dengan konsep budidaya multi-trofik terintegrasi (*Integrated Multi-Trophic Aquaculture/IMTA*) merupakan salah satu metode budidaya yang dapat diterapkan untuk mengatasi masalah lingkungan, seperti akumulasi limbah dari penggunaan pakan pada kegiatan akuakultur (Soto, 2009). Prinsip dasar dari penerapan IMTA adalah mendaur ulang limbah budidaya yang dihasilkan oleh spesies utama menjadi sumber energi dan nutrisi bagi komoditas budidaya lainnya, sehingga menghasilkan produk yang dapat dipanen, dan sekaligus dapat mengurangi dampak lingkungan (Ren *et al.*, 2012). Konsep IMTA adalah menggabungkan kegiatan pemeliharaan beberapa spesies dari tingkat trofik yang berbeda yaitu antara organisme akuakultur yang diberi pakan (ikan) dengan organisme akuakultur penyerap bahan inorganik (rumput laut), dan organisme akuakultur penyerap bahan organik (*suspension* dan *deposit feeder*, contoh kekerangan) (Troell *et al.*, 2009). Efektivitas sistem ini telah teruji di beberapa negara di antaranya Kanada, Cina, Norwegia, dan Amerika (Soto, 2009).

Rumput laut merupakan salah satu komoditas ekonomi penting yang menjadi unggulan Indonesia. Menurut statistik FAO tahun 2010, produksi rumput laut Indonesia menempati peringkat kedua setelah Cina,

dengan total produksi sebesar 3,90 juta ton atau 20,60% dari total produksi rumput laut dunia (FAO, 2012). Spesies rumput laut yang banyak dibudidayakan di perairan Indonesia adalah jenis *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma spinosum* (Atmadja *et al.*, 2012). Hal ini disebabkan oleh teknik budidaya yang mudah dan permintaan pasar yang cukup tinggi. Sentra pengembangan budidaya rumput laut di Indonesia tersebar di beberapa provinsi di antaranya: Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Timur, Bali, Jawa Timur, Sulawesi Tenggara, dan Nusa Tenggara Barat. Metode budidaya rumput laut yang telah berkembang saat ini dan dikenal secara umum oleh masyarakat meliputi metode lepas dasar, metode rakit apung, dan metode rawai (Parenrengi *et al.*, 2011). Budidaya rumput laut yang berkembang pada umumnya masih bersifat monokultur. Berdasarkan perkembangan budidaya laut sekarang ini, penerapan IMTA dalam sistem budidaya laut di Indonesia perlu dikembangkan. Kegiatan budidaya rumput laut berbasis IMTA dapat dijadikan salah satu aktivitas yang mendukung penerapan kebijakan ekonomi biru yang tengah menjadi perhatian utama Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) saat ini. Pembangunan kelautan dan perikanan berbasis pada kebijakan ekonomi biru didasarkan pada beberapa pendekatan yaitu adanya integrasi yang selaras; pengembangan

berdasarkan kawasan; sistem produksi bersih (*zero waste*); bermanfaat bagi seluruh masyarakat; dan berkelanjutan dengan cara menjaga keseimbangan antara pemanfaatan sumber daya alam dan pelestarian lingkungan dan antara produksi dan konsumsi (KKP, 2013).

Dalam kerangka IMTA, rumput laut memiliki peranan sebagai *biofilter* dan penghasil biomassa yang bernilai ekonomis, di mana limbah budidaya yang terbuang di laut baik berupa hasil metabolisme ataupun sisa pakan yang tidak termakan merupakan sumber nutrisi yang sangat bermanfaat untuk pertumbuhan rumput laut (Troell *et al.*, 2003). Beberapa kajian tentang budidaya rumput laut berbasis IMTA telah dilakukan namun umumnya kajian tersebut dilakukan di kawasan subtropis (Soto, 2009). Hasil penelitian Troell *et al.* (1997) di Teluk Metri, Chili menunjukkan bahwa *Gracilaria* yang dibudidayakan pada jarak 10 m dari karamba jaring apung (KJA) ikan salmon mengalami peningkatan biomassa 40% lebih tinggi dibandingkan dengan pertumbuhan *Gracilaria* pada jarak 150 m dan 1 km dari KJA. Hasil penelitian Huo *et al.* (2012) juga menunjukkan adanya keuntungan dengan mengombinasikan budidaya alga merah *G. verrucosa* dengan ikan di perairan Timur Laut Cina, di mana biomassa *G. verrucosa* mengalami peningkatan 42 kali lipat dibandingkan dengan biomassa awal. Berdasarkan Nobre *et al.* (2010), penerapan IMTA pada budidaya abalon dengan rumput laut telah menurunkan kadar nitrogen (N) dan fosfor (P) perairan sebesar 44% dan 23% dibandingkan dengan budidaya abalon monokultur. Sedangkan menurut Abreu *et al.* (2009), 100 ha *Gracilaria* dapat menyerap 80% limbah nitrogen yang dihasilkan oleh 1.500 ton ikan salmon.

Dalam rangka mengkaji penerapan budidaya laut berbasis IMTA di Indonesia, maka perlu dilakukan kajian tentang peran rumput laut sebagai komponen IMTA dalam mendukung peningkatan biomassa dan perbaikan kondisi lingkungan perairan agar aktivitas tersebut dapat berkelanjutan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji tingkat penyerapan nitrogen dan fosfor pada budidaya rumput laut, *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma spinosum*, berbasis IMTA di Teluk Gerupuk Kabupaten Lombok Tengah, NTB. Selain tingkat penyerapan nitrogen dan fosfor, kondisi kualitas perairan secara umum di sis-

tem IMTA juga dianalisis. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi data dasar pengembangan budidaya laut berbasis IMTA di Indonesia, sehingga dapat meningkatkan produktivitas budidaya laut dengan tetap menjaga kondisi lingkungan akuakultur, sehingga aktivitasnya dapat berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September-Oktober 2013 di Perairan Teluk Gerupuk Kabupaten Lombok Tengah Provinsi Nusa Tenggara Barat. Secara geografis Teluk Gerupuk terletak antara 116°19'40"-116°21'00" Lintang Selatan dan 9°53'45"-9°55'45" Bujur Timur (Gambar 1A). Berbagai aktivitas pemanfaatan kawasan telah berkembang di Teluk Gerupuk, meliputi: budidaya laut, penangkapan benih lobster, dan pariwisata (*surfing*). Pemanfaatan kawasan tersebut terbagi dengan baik sesuai dengan karakteristik perairan dan kedalaman perairan (Radiarta & Rasidi, 2012).

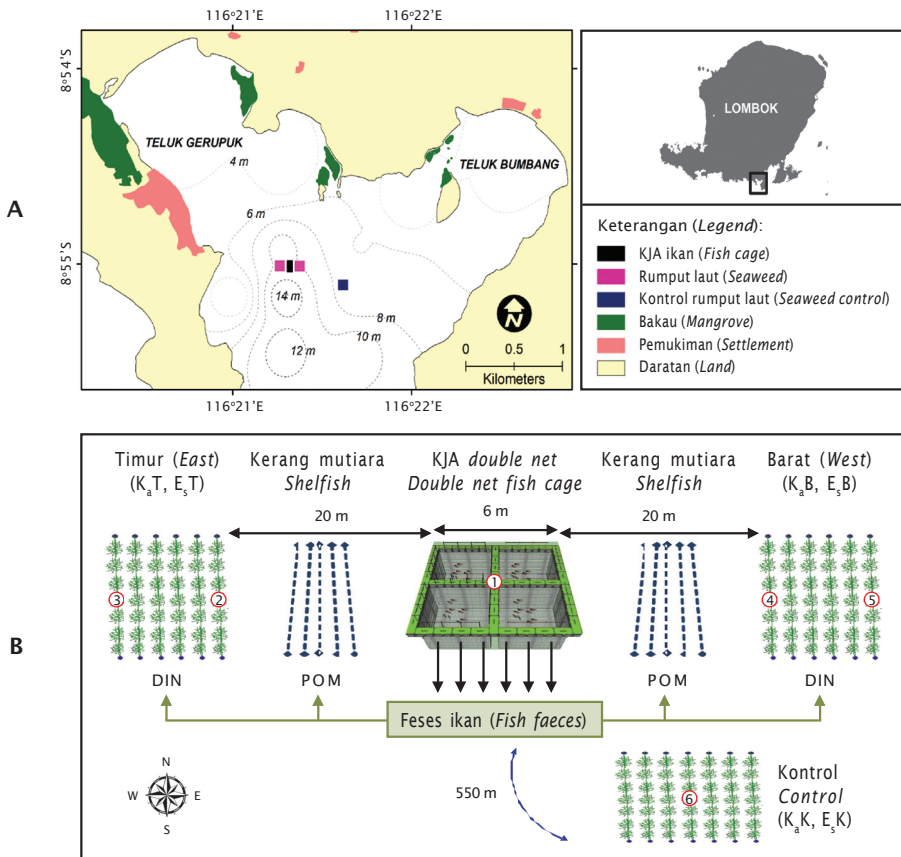
Metode budidaya rumput laut yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan SNI 7579.2:2010 tentang produksi budidaya rumput laut kotoni (*Eucheuma cottonii*). Bibit rumput laut yang digunakan adalah jenis *Kappaphycus alvarezii* strain Maumere dan *Eucheuma spinosum* yang berasal dari *National Seaweed Center*, Balai Budidaya Laut Lombok. Budidaya rumput laut menggunakan metode rawai (*long line*) dengan ukuran 50 m x 50 m. Terdapat tiga unit *long line* rumput laut yang disiapkan dalam penelitian ini. Dua unit *long line* diletakkan pada sistem IMTA yaitu masing-masing di sisi barat ($K_B = K. alvarezii$ barat; $E_B = E. spinosum$ barat) dan sisi timur ($K_T = K. alvarezii$ timur; $E_T = E. spinosum$ timur) unit karamba jaring apung (KJA), dengan jarak masing-masing 20 m (Gambar 1B). KJA merupakan titik tengah dari sistem IMTA yang diaplikasikan. KJA yang digunakan adalah jaring ganda yang terdiri atas empat lubang dengan ukuran masing-masing lubang adalah 3 m x 3 m x 3 m. Jaring bagian atas dipergunakan untuk memelihara ikan kerapu cantang (500 ekor ikan/lubang) dan jaring bagian bawah dipergunakan untuk ikan baronang (200 ekor/lubang). Selanjutnya satu unit *long line* rumput laut digunakan sebagai kontrol ($K_K = K. alvarezii$ kontrol; $E_K = E. spinosum$ kontrol) diletakkan pada lokasi dekat mulut teluk dengan jarak sekitar 550 m dari sistem IMTA (Gambar 1B).

Parameter yang diamati pada penelitian ini meliputi performa pertumbuhan rumput laut dan kondisi kualitas perairan. Waktu *sampling* kualitas air dilakukan bersamaan dengan *sampling* rumput laut yaitu setiap 15 hari dimulai dari hari ke-0, 15, 30, dan 45. Alat dan metode yang digunakan dalam pengukuran parameter kualitas air dan rumput laut seperti tercantum pada Tabel 1. Pengukuran dan pengambilan sampel air laut dilakukan secara vertikal di enam stasiun pada kedalaman 0 m, 3 m, dan dekat dasar perairan (Gambar 1B).

Metode pengambilan dan preservasi sampel air mengacu pada APHA (2005).

Data kualitas air yang dikumpulkan kemudian dianalisis secara deskriptif dan spasial. Analisis spasial ditampilkan secara vertikal. Perangkat lunak yang digunakan dalam analisis ini adalah *Ocean Data View* (ODV). Untuk melakukan analisis spasial, seluruh data yang terkumpul diinterpolasi dengan teknik *VG gridding* (Schlitzer, 2011).

Untuk sampel rumput laut, analisis data yang dilakukan meliputi laju pertumbuhan



Keterangan (Note):

1 = Titik *sampling* air KJA (Fish cage water sampling spot), 2 & 3 = Titik *sampling* air Barat (West water sampling spot), 4 & 5 = Titik *sampling* air Timur (East water sampling spot), 6 = Titik *sampling* kontrol (Control water sampling spot). DIN = Nutrien inorganik terlarut (Dissolved inorganic nutrient). Lingkaran merah menunjukkan lokasi stasiun pengamatan kualitas perairan (The red circle indicate water quality sampling stations)

Gambar 1. Lokasi penelitian di Teluk Gerupuk, Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat (A) dan desain budidaya laut berbasis IMTA (B)

Figure 1. The study area in Gerupuk Bay, Central Lombok, West Nusa Tenggara (A) and mariculture based on IMTA system design (B)

Tabel 1. Pengamatan parameter kualitas air dan rumput laut di Teluk Gerupuk

Table 1. Observation of water quality parameters and seaweeds aquaculture in Gerupuk Bay

Parameter Parameters	Jenis sampel Type of sample	Metode Methods	Lokasi analisis Analyze location
Total N (<i>N total</i>)	Rumput laut (<i>Seaweed</i>)	Kjeldahl	Seameo Biotrop
Total P (<i>P total</i>)	Rumput laut (<i>Seaweed</i>)	HNO ₃ -HClO ₄ ⁻ Spektrofometri	Seameo Biotrop
Karbohidrat (<i>Carbohydrate</i>)	Rumput laut (<i>Seaweed</i>)	Luff Schoorl	Seameo Biotrop
Suhu (<i>Temperature</i>)	Air laut (<i>Sea water</i>)	YSI Pro	In situ
Salinitas (<i>Salinity</i>)	Air laut (<i>Sea water</i>)	YSI Pro	In situ
Oksigen terlarut (DO) <i>Dissolved oxygen</i>	Air laut (<i>Sea water</i>)	DO meter	In situ
pH	Air laut (<i>Sea water</i>)	YSI Pro	In situ
TDS (<i>Total dissolved oxygen</i>)	Air laut (<i>Sea water</i>)	YSI Pro	In situ
Nitrat (NO ₃ -N)	Air laut (<i>Sea water</i>)	Spektrofotometri	BBL Lombok
Nitrit (NO ₂ -N)	Air laut (<i>Sea water</i>)	Spektrofotometri	BBL Lombok
Amonium (NH ₃ -N)	Air laut (<i>Sea water</i>)	Spektrofotometri	BBL Lombok
Fosfor (PO ₄ -P)	Air laut (<i>Sea water</i>)	Spektrofotometri	BBL Lombok
Kecerahan (<i>Transparency</i>)	Air laut (<i>Sea water</i>)	Secchi disc	In situ
Kecepatan arus <i>Water current</i>	Air laut (<i>Sea water</i>)	Current-meter	In situ

harian rumput laut dan penyerapan nitrogen (N) dan fosfor (P) pada rumput laut. Laju pertumbuhan harian (*Daily growth rate/DGR*) dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Luning, 1990):

$$DGR (\%) = \frac{\ln (Wt / Wo)}{T_2 - T_1} \times 100 \%$$

di mana:

Wt = Bobot pada waktu T₂ (g)

Wo = Bobot pada waktu T₁ (g)

T₁ dan T₂ = Waktu pemeliharaan (hari)

Penyerapan N dan P rumput laut dapat dilihat dengan jumlah kandungan nitrogen dan fosfor pada rumput laut yang diamati setiap 15 hari sekali. Laju penyerapan N dan P pada rumput laut dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Kitadai *et al.*, 2007):

$$P_{ob} = (C_t - C_o) \times \alpha / t$$

di mana :

P_{ob} = Laju penyerapan N dan P rumput laut per area budidaya (mg/m²/hari)

C_o = Kandungan N dan P rumput laut di awal pemeliharaan (mg DW/g)

C_t = Kandungan N dan P rumput laut di akhir pemeliharaan (mg DW/g)

α = Biomassa kering rumput laut per area budidaya (g/m²)

t = Lama pemeliharaan (hari)

Data pertumbuhan dan penyerapan N dan P rumput laut selanjutnya diuji secara statistik menggunakan analisis ragam (ANOVA) pada selang kepercayaan 95% dengan *software* Minitab 16. Jika respons yang dihasilkan berbeda nyata maka dilakukan uji lanjut menggunakan Tukey test.

HASIL DAN BAHASAN

Kondisi Kualitas Perairan

Kondisi kualitas air merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam kegiatan budidaya rumput laut karena air merupakan media yang secara langsung memengaruhi aktivitas budidaya rumput laut. Parameter kualitas air yang memengaruhi pertumbuhan rumput laut antara lain: suhu, salinitas, intensitas cahaya, nutrien, dan kecepatan arus (Parenrengi *et al.*, 2011). Berdasarkan hasil pengukuran parameter kualitas air (parame-

ter fisik dan kimia perairan) selama pemeliharaan rumput laut *K. alvarezii* dan *E. spinosum*, menunjukkan bahwa kondisi kualitas air di Teluk Gerupuk masih mendukung kegiatan budidaya rumput laut (Tabel 2).

Menurut Tiongsungrumsee (1990), suhu perairan yang ideal untuk budidaya rumput laut *Eucheuma* adalah berkisar antara 25°C-30°C, sedangkan salinitas berkisar 28-34 g/L. Dari hasil pengujian kualitas air di lokasi penelitian, termasuk pada kisaran optimal untuk budidaya rumput laut yaitu berkisar antara 26,8°C-28°C dan 31-35 g/L (Parenrengi *et al.*, 2011). Kecerahan juga menjadi faktor yang penting yang berhubungan dengan ketersediaan sinar matahari untuk proses fotosintesis rumput laut untuk mendukung pertumbuhannya. Menurut Mubarak *et al.* (1990), kecerahan yang baik untuk pertumbuhan rumput laut berkisar 3-5 m. Hasil pemantauan di lokasi penelitian, menunjukkan bahwa tingkat kecerahan pada lokasi budidaya rumput laut berkisar 2,5-3 m (Tabel 2).

Secara umum telah diketahui rumput laut mendapatkan pertumbuhan yang lebih baik pada air yang bergerak (arus). Pergerakan air berfungsi untuk membersihkan tanaman,

menghadirkan nutrisi baru, merangsang pertumbuhan tanaman melalui gaya/kekuatan hidrolik gerakan air, dan mencegah adanya fluktuasi suhu air yang besar. Kecepatan arus yang ideal untuk budidaya rumput laut berkisar 20-40 cm/detik (Parenrengi *et al.*, 2011).

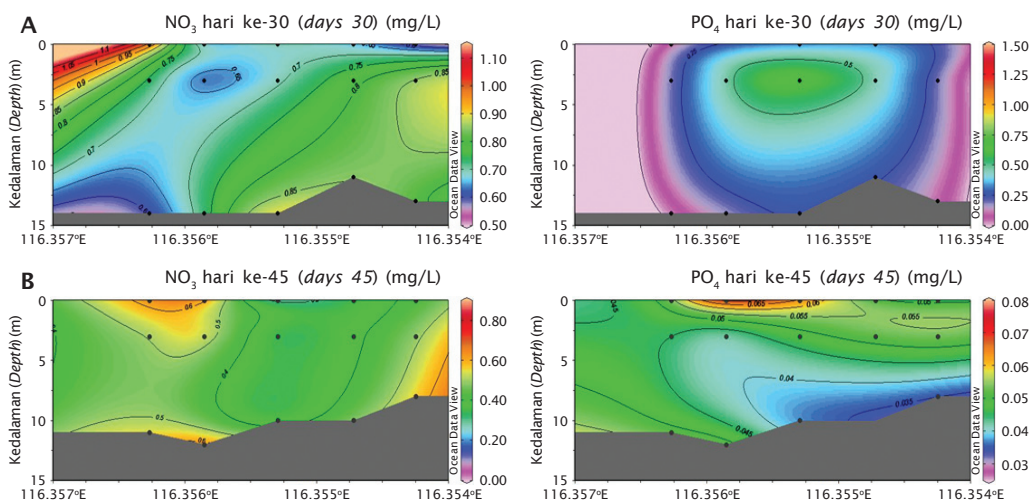
Dampak utama dari keberadaan aktivitas budidaya ikan yang menggunakan pakan buatan terhadap kualitas perairan di sekitarnya yaitu terjadinya peningkatan akumulasi partikel dan nutrisi terlarut di kolom air (Nordvang & Johansson, 2002). Nutrien sangat berperan dalam pertumbuhan rumput laut khususnya kandungan nitrogen dan fosfat (Parenrengi *et al.*, 2011).

Analisis vertikal parameter NO₃-N dan PO₄-P ditampilkan pada Gambar 2. Dari hasil analisis tersebut, terlihat secara jelas bahwa pada hari ke-30 sebaran konsentrasi NO₃-N perairan terakumulasi paling banyak pada sisi barat dari KJA IMTA dengan kisaran antara 0,5-1,1 mg/L. Sedangkan untuk sebaran konsentrasi PO₄-P tertinggi terdapat pada sisi timur KJA IMTA dengan kisaran nilai 0,05-0,39 mg/L (Gambar 2A). Di akhir masa penelitian rumput laut (hari ke-45) penyebaran nutrisi terlarut baik NO₃-N maupun PO₄-P terakumulasi paling

Tabel 2. Statistik deskriptif kualitas perairan di Teluk Gerupuk, Lombok Tengah
 Table 2. Descriptive statistic of water quality in Gerupuk Bay, Central Lombok

Parameter Parameters	Unit Unit	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	Rataan Mean	Standar deviasi Standard deviation	Baku mutu Standard value
Kecerahan (Transparency)	M	2.5	3	2.67	0.24	> 5 ^{*)}
Suhu (Temperature)	°C	26.86	28.05	27.31	0.49	25-30 ^{**)}
pH		8.18	8.92	8.58	0.28	
DO (Dissolved oxygen)	mg/L	4.1	6.89	5.99	0.76	> 5 ^{***)}
TDS (Total dissolved solid)	mg/L	31.02	34.58	33.16	1.14	
Konduktivitas (Conductivity)	µS/cm	51.51	53	53.59	1.47	
Salinitas (Salinity)	g/L	31	35.64	33.46	1.35	28-34 ^{**)}
Kecepatan arus Water current	m/s	0.40	0.6	0.50	0.14	0.20-0.40 ^{*)}
NO ₃ -N	mg/L	0.001	1.1	0.62	0.28	
NO ₂ -N	mg/L	0.01	0.5	0.06	0.13	
PO ₄ -P	mg/L	0.04	0.4	0.16	0.12	

Baku mutu berdasarkan (Standard value according to): ^{*)} Parenrengi *et al.* (2011); ^{**)} Tiongsungrumsee (1990); ^{***)} Kementerian Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 (Ministry of Demography and Live Environment agreement number 51, 2014)



Gambar 2. Analisis vertikal kualitas perairan di lokasi IMTA Teluk Gerupuk: hari ke-30 (A) dan hari ke-45 (B)

Figure 2. Vertical overview of water quality in IMTA area of Gerupuk Bay: days 30 (A) and days 45 (B)

banyak pada sisi barat KJA IMTA (Gambar 2B). Perbedaan distribusi nutrisi yang teramati selama penelitian dapat disebabkan oleh pola arus yang terjadi di Teluk Gerupuk. Arus di Teluk Gerupuk umumnya didominasi oleh arus pasang surut. Pola penyebaran nutrisi ini secara langsung akan memengaruhi pertumbuhan rumput laut yang dibudidayakan di sisi barat dan sisi timur KJA IMTA.

Perfomansi Pertumbuhan dan Produktivitas Rumput Laut

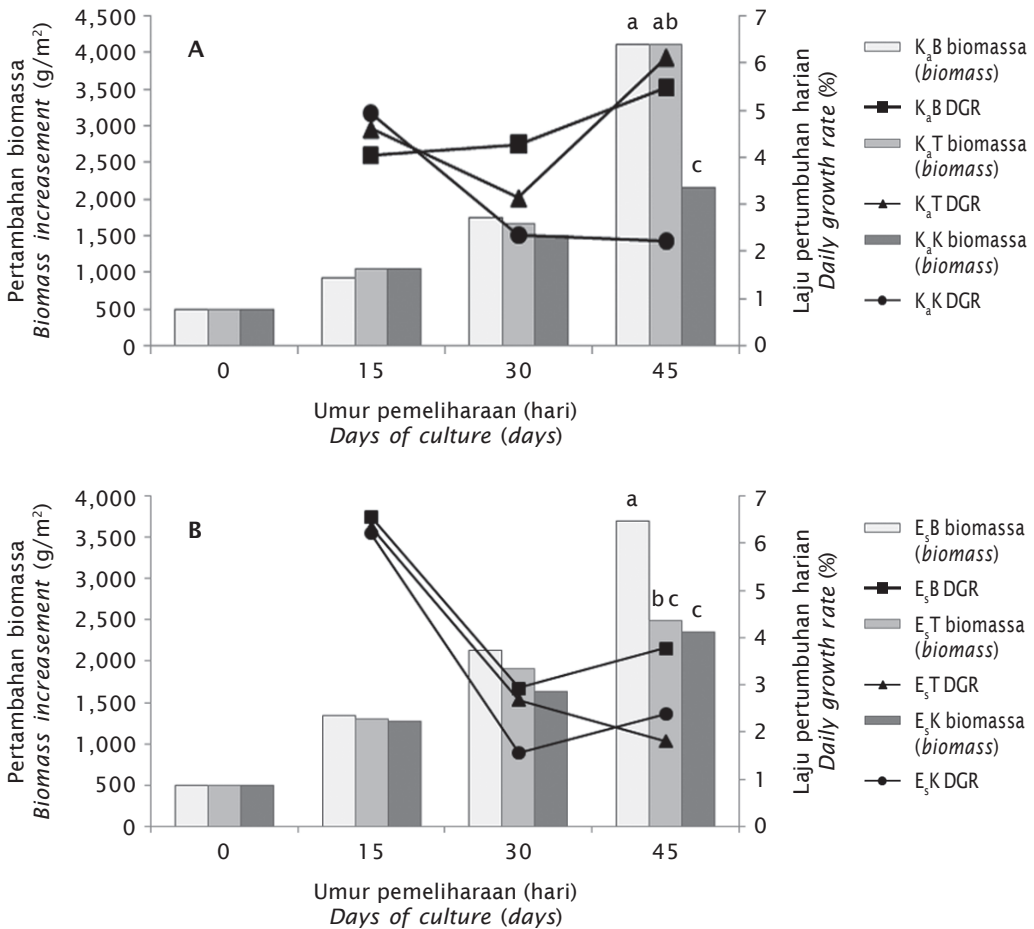
Peningkatan bobot rata-rata *K. alvarezii* yang dibudidayakan di lokasi IMTA mencapai 4.114,36 g/m² atau 89,87% lebih tinggi dibandingkan *K. alvarezii* di lokasi kontrol (Gambar 3A). Hal ini berkorelasi positif dengan peningkatan kandungan nitrogen pada jaringan rumput laut tersebut di lokasi IMTA (Gambar 2). Rumput laut sangat membutuhkan nitrogen karena fungsinya sebagai pemacu pertumbuhan (Anonim, 2002; Parenrengi *et al.*, 2011). Hasil analisis ragam (ANOVA) untuk biomassa rumput laut juga menunjukkan bahwa K_aB dan K_aT memiliki biomassa akhir yang secara signifikan berbeda dengan K_aK (P<0,05); sedangkan untuk antara K_aB dan K_aT biomassa akhir tidak berbeda nyata (P>0,05).

Parenrengi *et al.* (2011) mengungkapkan bahwa penggunaan nutrisi NH₄ pada konsentrasi 10 mM selama satu jam setiap tiga ha-

ri pada budidaya rumput laut *K. alvarezii* di tanki dan di laut memperlihatkan pertumbuhan dua kali lipat dibandingkan dengan kontrol. Glenn & Doty (1981) menunjukkan bahwa *Eucheuma* memanfaatkan 24% nitrat/nitrit ion dan 6% fosfat dari air yang melewati rumpun rumput laut tersebut dan rata-rata perbandingan N/P di air adalah 8,5 pada air laut tempat budidaya *Eucheuma*. Rumput laut biasanya memiliki laju pertumbuhan yang tinggi ketika berada di lingkungan yang kaya nitrogen dan fosfor (Oliveira *et al.*, 2012).

Pada rumput laut jenis *E. spinosum*, dengan bobot awal yang sama, rata-rata pertambahan bobot pada *long line* barat (E₃B) di hari ke-45 mencapai 3.698,2 g/m² atau lebih tinggi 57,55% daripada *long line* kontrol (E₃K) yaitu 2.347,3 g/m². *E. spinosum* yang ditanam pada *long line* timur (E₃T) mencapai bobot rata-rata pada akhir masa pemeliharaan yaitu 2.488,62 g/m², lebih tinggi 6,02% daripada *long line* kontrol (E₃K) yang mencapai bobot rata-rata akhir 2.347,3 g/m² (Gambar 3B). Hal ini diperkuat dengan hasil analisis ragam, di mana E₃B saja memiliki biomassa akhir yang berbeda signifikan dengan biomassa akhir E₃K (P<0,05).

Pada akhir masa pemeliharaan, nilai biomassa rumput laut *K. alvarezii* dan *E. spinosum* di lokasi IMTA mengalami peningkatan antara 211,07%-414,29%; peningkatan ini lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi kon-



Gambar 3. Pertambahan bobot dan laju pertumbuhan harian (DGR) rumput laut: *K. alvarezii* (A) dan *E. spinosum* (B). Huruf superscript yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada taraf uji 5% (uji Tukey)

Figure 3. Biomass increasement and daily growth rate (DGR) of seaweeds: *K. alvarezii* (A) and *E. spinosum* (B). Different superscript letters indicate significant differences at level test 5% (Tukey test)

trol. Kondisi ini dapat disebabkan karena adanya pelepasan bahan nutrisi terlarut yang dihasilkan oleh KJA ikan, terutama berasal dari limbah metabolik ikan. Wang *et al.* (2012) mengemukakan bahwa kegiatan budidaya ikan dapat menghasilkan limbah karbon (C), nitrogen (N), dan fosfor (P). Di mana N inorganik terlarut (NH_3) dilepaskan melalui proses ekskresi dan C inorganik seperti CO_2 dilepaskan melalui proses respirasi. Hal tersebut juga mengindikasikan bahwa baik *K. alvarezii* maupun *E. spinosum* dapat mengasimilasi nitrogen inorganik terlarut yang banyak terdapat di lokasi IMTA menjadi bahan organik yang

berperan penting bagi pertumbuhan melalui proses fotosintesis. Kemampuan kedua jenis rumput laut dalam mengasimilasi dan menyimpan nitrogen secara cepat untuk pertumbuhan membuat alga tersebut dapat memperoleh keuntungan dari melimpahnya konsentrasi nutrisi terlarut yang dihasilkan KJA (Troell *et al.*, 1997).

Produktivitas budidaya rumput laut *K. alvarezii* pada unit *long line* di lokasi IMTA (K_aB dan K_aT) yaitu 20,56-20,57 ton/ha/tahun, dua kali lebih tinggi dari *K. alvarezii* yang dibudidayakan pada *long line* kontrol (K_aK) yaitu

10,83 ton/ha/tahun. Sedangkan total biomassa panen *E. spinosum* pada lokasi IMTA lebih tinggi satu setengah kali (12,44-18,49 ton/ha/tahun) dibandingkan dengan kontrol yaitu 11,73 ton/ha/tahun (Tabel 3).

Laju Penyerapan Nitrogen dan Fosfor Rumput Laut

Nitrogen merupakan satu unsur utama penyusun sel organisme dalam pembentukan protoplasma. Dalam perairan, nitrogen hadir dalam bentuk nitrat, nitrit, amonium, dan amonia, serta senyawa-senyawa N-organik seperti urea dan asam amino (Effendi, 2003). *Dissolved Inorganic Nutrient/DIN* (meliputi NH_4 , NO_3 , dan NO_2) merupakan faktor pembatas yang menentukan produktivitas rumput laut di berbagai lingkungan laut (Troell *et al.*, 2009).

Hasil pengujian kandungan nitrogen pada jaringan rumput laut *K. alvarezii* di akhir masa pemeliharaan diperoleh bahwa kandungan nitrogen K_aB pada hari ke-45 mencapai 4,73 g N/m² atau lebih tinggi 148,1% dibandingkan dengan K_aK yaitu hanya mencapai 1,91 g N/m². Sedangkan untuk K_aT kandungan nitrogennya mencapai 4,40 g N/m² atau 130,8% lebih tinggi dibandingkan dengan K_aK (Gambar 4A). Kemampuan penyerapan nitrogen oleh rumput laut *E. spinosum*, hampir serupa dengan *K. alvarezii*, di mana kandung-

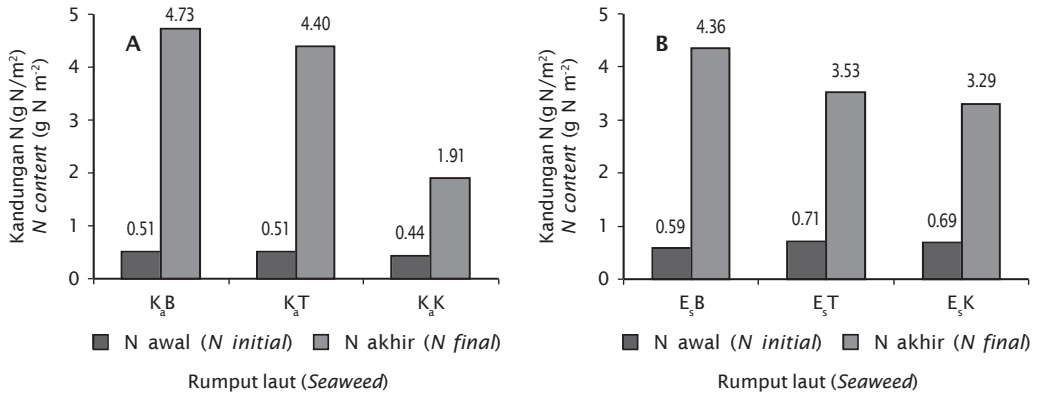
an nitrogen pada jaringan rumput laut E_5B pada hari ke-45 mencapai 4,36 g N/m²; lebih tinggi 32,79% dibandingkan dengan E_5K yaitu 3,29 g N/m². Sedangkan untuk E_5T kandungan nitrogennya mencapai nilai 3,53 g N/m²; atau lebih tinggi 7,54% dibandingkan dengan E_5K (Gambar 4B).

Berdasarkan analisis kandungan nitrogen pada jaringan rumput laut, biomassa rumput laut dan luasan areal budidaya dari dua spesies rumput laut yaitu *K. alvarezii* dan *E. spinosum* yang dibudidayakan pada *long line* IMTA dan kontrol, menunjukkan laju penyerapan nitrogen *K. alvarezii* pada lokasi IMTA memiliki nilai lebih tinggi dengan kisaran 80,03-86,95 ton/ha/tahun; dibandingkan dengan kontrol yaitu 15,61 ton/ha/tahun (Gambar 5). Untuk jenis *E. spinosum* laju penyerapan nitrogen di lokasi IMTA berkisar antara 35,14-69,78 ton/ha/tahun, lebih tinggi dibandingkan dengan *long line* kontrol yaitu sejumlah 30,53 ton/ha/tahun (Gambar 5). Hal tersebut terjadi akibat akumulasi nutrisi terlarut di unit IMTA, khususnya di *long line* barat dengan konsentrasinya cukup tinggi dibandingkan lokasi lainnya (*long line* timur dan kontrol) (Gambar 2). Penelitian Nishihara *et al.* (2010) menemukan bahwa kandungan nutrisi pada area rumpun *E. serra* 56% lebih sedikit dibandingkan di luar area rumpun rumput laut tersebut.

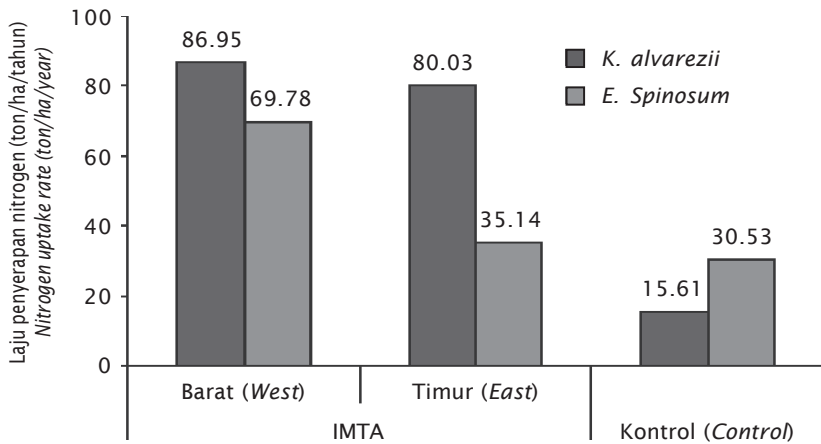
Tabel 3. Parameter budidaya rumput laut *K. alvarezii* dan *E. spinosum* pada sistem IMTA dan kontrol

Table 3. Parameters seaweed culture of *K. alvarezii* and *E. spinosum* at IMTA system and control

	Laju pertumbuhan harian Daily growth rate (%)	Biomassa panen/unit <i>long line</i> /siklus Harvest biomass/unit/cycle (kg)	Produktivitas (ton/ha/tahun) Productivity (ton/ha/year)	Persentase kenaikan biomassa Percentage biomass increase-ment (%)
<i>K. alvarezii</i>				
Barat (<i>West</i>)	4.68	2,571.48	20.57	414.29
Timur (<i>East</i>)	4.68	2,570.88	20.56	414.17
Kontrol (<i>Control</i>)	3.26	1,354.56	10.83	170.9
<i>E. spinosum</i>				
Barat (<i>West</i>)	4.45	2,311.38	18.49	362.27
Timur (<i>East</i>)	3.57	1,555.39	12.44	211.07
Kontrol (<i>Control</i>)	3.44	1,467.06	11.73	193.41



Gambar 4. Kandungan nitrogen pada rumput laut *K. alvarezii* (A) dan *E. spinosum* (B)
 Figure 4. Nitrogen content of seaweed *K. alvarezii* (A) and *E. spinosum* (B)



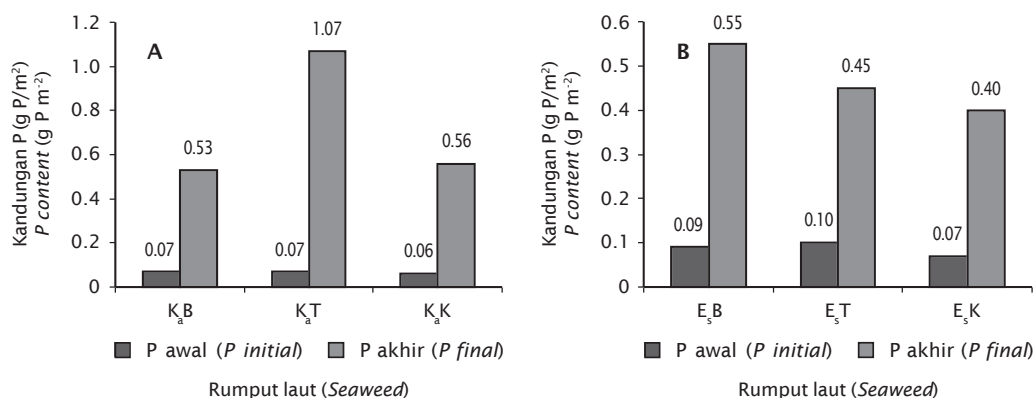
Gambar 5. Laju penyerapan nitrogen *K. alvarezii* dan *E. spinosum*
 Figure 5. The nitrogen absorption rate of *K. alvarezii* and *E. spinosum*

Fosfor juga merupakan unsur yang esensial bagi tumbuhan tingkat tinggi dan alga, sehingga unsur ini menjadi faktor pembatas bagi tumbuhan dan alga akuatik, serta sangat memengaruhi tingkat produktivitas perairan (Effendi, 2003). Kandungan fosfor pada rumput laut *K. alvarezii* dan *E. spinosum* yang dibudidayakan dengan sistem IMTA relatif lebih tinggi dengan kisaran 0,55-1,07 g P/m² dibandingkan dengan rumput laut yang dibudidayakan di lokasi kontrol (Gambar 6).

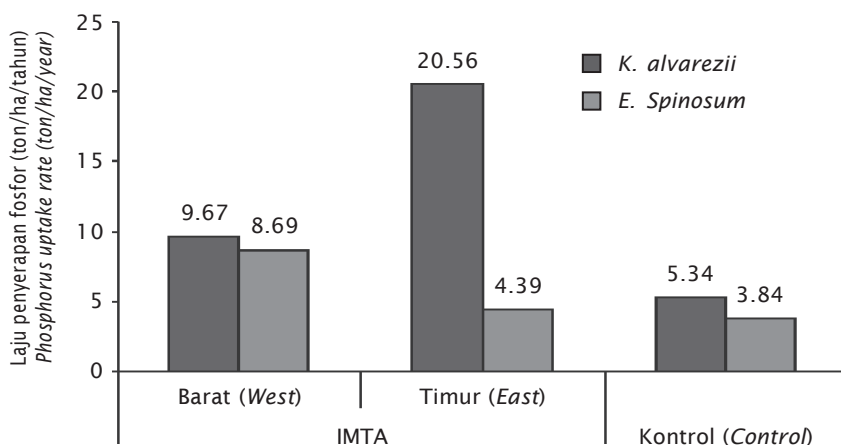
Pada rumput laut jenis *K. alvarezii*, kandungan fosfor terbaik terdapat pada K_aT dengan kandungan total P sejumlah 1,07 g P DW/m²; sedangkan untuk jenis *E. spinosum* kandungan total P pada jaringan rumput laut

tertinggi terdapat pada E_sB dengan nilai 0,55 g P/m²; lebih tinggi 39% dibandingkan dengan kontrol (E_sK). (Gambar 6).

Rumput laut *K. alvarezii* memiliki nilai laju penyerapan fosfor yang lebih tinggi dibandingkan dengan *E. spinosum* di semua lokasi budidaya. Laju penyerapan fosfor *K. alvarezii* tertinggi terdapat pada sisi timur KJA IMTA (K_aT) dengan nilai mencapai lima kali lipat yaitu 20,56 ton P/ha/tahun dibandingkan dengan laju penyerapan fosfor *E. spinosum* yaitu 4,39 ton P/ha/tahun. Sedangkan untuk *E. spinosum* laju penyerapan fosfor tertinggi terdapat pada sisi sebelah barat KJA IMTA (E_sB) dengan nilai mencapai 8,69 ton P/ha/tahun (Gambar 7).



Gambar 6. Kandungan fosfor pada rumput laut *K. alvarezii* (A) dan *E. spinosum* (B)
 Figure 6. Phosphorus content in seaweed *K. alvarezii* (A) and *E. spinosum* (B)



Gambar 7. Laju penyerapan fosfor *K. alvarezii* dan *E. spinosum*
 Figure 7. The phosphorus absorption rate of *K. alvarezii* and *E. spinosum*

Laju penyerapan fosfor yang tinggi mengindikasikan *K. alvarezii* pada *long-line* timur (K_aT) dapat mengasimilasi PO₄-P terlarut di air dengan baik. Hasil penelitian Neori *et al.* (2004) menunjukkan bahwa spesies alga yang berbeda memiliki kemampuan dalam menyerap nutrisi (N dan P) yang berbeda pula. Selain pengaruh dari arus, konsentrasi nutrisi, intensitas cahaya, dan bobot, keberadaan dari *biofouling* juga dapat membatasi kemampuan rumput laut dalam menyerap nutrisi (Troell *et al.*, 2003). Menurut Rees (2003), laju penyerapan nitrat, amonium, dan fosfat oleh rumput laut menunjukkan pola yang hampir sama, namun nilai pengambilannya lebih rendah untuk fosfat dan lebih tinggi untuk amonium.

Penyerapan Nitrogen dan Fosfor Rumput Laut di Teluk Gerupuk

Berdasarkan laju penyerapan nutrisi (N dan P), biomassa panen, dan luasan area budidaya, maka dapat dilakukan estimasi potensi penyerapan nitrogen dan fosfor oleh aktivitas budidaya rumput laut sebagai dampak positif dari penerapan IMTA pada kegiatan budidaya laut yang dilakukan di Teluk Gerupuk, Lombok Tengah. Dengan asumsi luas area potensial budidaya rumput laut mencapai 322 ha (Radiarta & Rasidi, 2012), maka potensi perairan teluk ini dalam menyerap nitrogen dan fosfat melalui kegiatan budidaya rumput laut berbasis IMTA masing-masing adalah 22.470,04-27.996,93 ton dan 2.796,82-

Tabel 4. Potensi penyerapan nitrogen dan fosfor oleh rumput laut di kawasan Teluk Gerupuk
 Table 4. Potency of nitrogen and phosphorus absorption by seaweed in Gerupuk Bay area

Spesies <i>Species</i>	Metode <i>Metode</i>	LPN	PPN	LPP	PPP
<i>K alvarezii</i>	IMTA	86.95	27,996.93	20.56	6,619.16
	Kontrol (<i>Control</i>)	15.61	5,025.43	5.34	1,718.69
<i>E spinosum</i>	IMTA	69.78	22,470.04	8.69	2,796.82
	Kontrol (<i>Control</i>)	30.53	9,830.41	3.84	1,234.95

Keterangan (*Note*):

LPN = Laju penyerapan N (ton/ha/tahun) (*N uptake rate (ton/ha/year)*), PPN = Potensi penyerapan N (*N uptake potency*) (ton N), LPP = Laju penyerapan P (ton/ha/tahun) (*P uptake rate (ton/ha/year)*), PPP = Potensi penyerapan P (*P uptake potency*) (ton P)

6.619,16 ton (Tabel 4). Hasil penelitian Chopin *et al.* (2010) tentang penerapan IMTA dalam skala kecil di pantai Timur Kanada menunjukkan bahwa pemanenan alga dari suatu lokasi budidaya sama dengan menghilangkan nitrogen dari ekosistem tersebut sejumlah 35,75 mt dan fosfor sejumlah 4,09 mt.

Perspektif Penyerapan N dan P Rumput Laut Terhadap Pengembangan Budi-daya Laut Terintegrasi

Dalam rangka mendukung upaya peningkatan produktivitas perikanan budidaya, KKP telah mencanangkan kebijakan minapolitan yang merupakan suatu konsep pembangunan berbasis kawasan, industrialisasi, dan ekonomi biru (*blue economy*). Budidaya rumput laut berbasis IMTA dapat dijadikan salah satu aktivitas dalam penerapan prinsip-prinsip kebijakan ekonomi biru KKP yang meliputi: (1) efisiensi sumber daya alam melalui peningkatan nilai tambah komoditas dan diversifikasi produk untuk dapat menghasilkan manfaat ekonomi yang lebih besar dengan memanfaatkan sumber daya alam lebih hemat, dan (2) tanpa limbah dan emisi, di mana prinsip ini sangat berkaitan erat dengan upaya efisiensi sumber daya alam dengan cara pemanfaatan seluruh unsur yang terkandung dalam sistem IMTA menjadi komoditas laut yang bernilai ekonomis tinggi sehingga tidak menyisakan limbah (*zero waste*). Selain itu, penerapan budidaya rumput laut berbasis IMTA yang dilaksanakan di Teluk Gerupuk sesuai dengan pola pendekatan implementasi dari kebijakan ekonomi biru KKP yaitu pengembangan kawasan *blue economy* yang dilakukan dengan pola pembangunan berbasis: (1)

gugusan pulau-pulau, (2) kawasan teluk dan pesisir, serta (3) kawasan konservasi (KKP, 2013). Identifikasi potensial jenis rumput laut lainnya perlu dilakukan guna meningkatkan diversifikasi jenis yang dibudidayakan.

KESIMPULAN

Hasil dari penelitian mengindikasikan bahwa rumput laut memiliki kemampuan dalam menyerap N dan P dari perairan. Rumput laut jenis *Kappaphycus alvarezii* memiliki kemampuan dalam menyerap nitrogen dan fosfor lebih baik dibandingkan dengan jenis *Eucheuma spinosum*. Kemampuan kedua jenis rumput laut tersebut dalam menyerap N dan P dari kawasan Teluk Gerupuk dapat dijadikan salah satu indikator bahwa pengembangan budidaya rumput laut berbasis IMTA mendukung pengembangan budidaya laut yang berorientasi pada peningkatan produksi (*biomass*) dan penurunan dampak lingkungan (*aktivitas tanpa limbah/zero waste*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya, Kementerian Kelautan dan Perikanan yang telah memberikan dukungan finansial dalam pelaksanaan penelitian ini. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Balai Budidaya Laut Lombok yang telah memberikan bantuan teknis selama penelitian berlangsung. Terima kasih juga diucapkan kepada Erlania, M.Si., Bapak Buntaran, M.Si., Bapak Rusman, M.Si., dan Bapak Seme yang telah membantu kelancaran penelitian di lapangan.

DAFTAR ACUAN

- Abreu, M.H., Varela, D.A., Henriquez, L., Villarroel, A., Yarish, C., Sousa-Pinto, L., & Buschmann, A.H. (2009). Traditional vs integrated multi tropic aquaculture of *Gracilaria chilensis*. Bird, C.J., McLachlan, J., & Oliviera, E.C.: productivity and physiological performance. *Aquaculture*, 293, 211-220.
- Anonim. (2002). Teknik budidaya rumput laut bahan pembuat agar-agar di dalam tambak. BPPT, 2 hlm.
- American Public Health Association (APHA). (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st Edition. American Water Works Association (AWWA)/ American Public Works Association/Water Environment Federation. Washington, USA, 1,368 pp.
- Atmadja, W.S., Susanto, A.B., & Dhewani, N.M.S. (2012). Pengembangbiakan rumput laut (Makroalgae). Jakarta. Ikatan Fikologi Indonesia.
- Chopin, T., Troell, M., Reid, G.K., Knowler, D., Robinson, S.M.C., Neori, A., Buschmann, A.H., & Pang, S. (2010). Integrated multi-trophic aquaculture. Part II: Increasing IMTA adoption Global Aquaculture Advocate November/December 2010, p. 17-20.
- Effendi, H. (2003). Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Food Agricultural Organization [FAO]. (2012). The State of World Fisheries and Aquaculture 2012. Tersedia pada: www.fao.org
- Glenn, E.P., & Doty, M.S. (1981). Photosynthesis and respiration of the tropical red seaweeds. *Euclidean striatum* (Tambalang and Elkhorn varieties) and *E. denticulatum*. *Aquat. Bot.*, 10, 353-64.
- Huo, Y., Wu, H., Chai, Z., Xu, S., Han, F., Dong, L., & He, P. (2012). Bioremediation efficiency of *Gracilaria verrucosa* for an integrated multi-trophic aquaculture system with *Pseudosciaena crocea* in Xiangshan harbor, China. *Aquaculture*, 326-329, 99-105.
- Kitadai, Y., & Kadowaki, S. (2007). The growth, N, P uptake rates and photosynthetic rate of seaweeds cultured in coastal fish farm. Kagoshima University.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan [KKP]. (2013). Blue Economy, pembangunan Kelautan dan Perikanan berkelanjutan untuk kesejahteraan masyarakat. Kementerian Kelautan dan Perikanan RI. Jakarta.
- Luning, K. (1990). Seaweed: their environment, biogeography, and ecophysiology. John Wiley & Sons, Inc. Canada, 527 pp.
- Mubarak, H., Ilyas, S., Ismail, W., Wahyuni, I.S., Hartati, S.H., Pratiwi, E., Jangkaru, Z., & Arifuddin, R. (1990). Petunjuk teknis budidaya rumput laut. Badan Litbang Pertanian, Puslitbang Perikanan. IDRC, Infish, 93 hlm.
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel, M., & Yarish, C. (2004). Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, 231, 361-391.
- Nishihara, Gregory, N., & Terada, R. (2010). Spatial variations in nutrient supply to the red algae *Euclidean serra* (J. Agardh). *Phycological Res.*, 58(1), 29-34.
- Nobre, A.M., Andersson, D.R., Neori, A., & Sankar, K. (2010). Ecological-economic assesment of aquaculture options: Comparison between abalone monoculture and integrated multi-trophic aquaculture of abalone and seaweed. *Aquaculture*, 306, 116-126.
- Nordvang, L., & Johansson, T. (2002). The effect of fish farm effluents on the water quality in the Aland archipelago, Baltic sea. *Aquaculture Engineering*, 25, 253-279.
- Oliveira, V.P., Freire, F.A.M., & Soriano, E.M. (2012). Influence of depth on the growth of the seaweed *Gracilaria birdiae* (Rhodophyta) in a shrimp pond. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, 16(1), 33-39.
- Parrenrengi, A., Rachmansyah, & Suryati, E. (2011). Budidaya rumput laut penghasil karaginan (*karaginofit*). Edisi Revisi. Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta, 54 hlm.
- Radiarta, I.N., & Rasidi. (2012). Analisa spasial kondisi kualitas perairan untuk mendukung budidaya rumput laut di Teluk Gerupuk Kabupaten Lombok Tengah Provinsi Nusa Tenggara Barat. *Prosiding Seminar Nasional Perikanan Indonesia*, 13-14 November 2012. Sekolah Tinggi Perikanan. Jakarta.
- Ren, J.S., Dozey, J.S., Plew, D.R., Fang, J., & Gall, M. (2012). An ecosystem model for optimising production in integrated multi-trophic aquaculture system. *Journal Ecological Modelling*, 246, 34-46.

- Rees, T.A.V. (2003). Safety factors and nutrient uptake by seaweeds. *Mar. Eco. Prog. Ser.*, 263, 29-42.
- Schlitzer, R. (2011). Ocean data view. WWW page. <http://odv.awi.de>.
- Soto, D. (2009). Integrated mariculture: a global review (ed.). FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529. FAO. Rome, 183 pp.
- Tiensongrusmee, B. (1990). Site selection for *Eucheuma* spp. farming. UNDP/FAO Regional Seafarming Development and Demonstration Project (RAS/90/002). Kasetsart University Campus, Bangkok, Thailand. <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB738E/AB738E00.htm#TOC> disadur tanggal 20 Mei 2014.
- Troell, M., Halling, C., Nilsson, A., Buschmann, A.H., Kautsky, N., & Kautsky, L. (1997). Integrated marine cultivation of *Gracilarias chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. *Aquaculture*, 156, 45-61.
- Troell, M., Halling, C., Neori, A., Buschmann, A.H., Chopin, T., Yarish, C., & Kautsky, N. (2003). Integrated Mariculture: asking the right question. *Aquaculture*, 226, 69-90.
- Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A.H., & Fang, J.G. (2009). Ecological engineering in aquaculture - potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, 297, 1-9.
- Wang, X., Olsen, L.M., Reitan, K.I., & Olsen, Y. (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture environment interaction*, 2, 267-283.