

KOMPOSISI NUTRISI RUMPUT LAUT *Calcareous Halimeda opuntia* PADA LINGKUNGAN PERAIRAN INDONESIA

Nutritional Composition of Calcareous Seaweed of Halimeda opuntia in Indonesian Water Environment

Nurhayati*, Siti N. K. Apriani, Rodiah Nurbayasari dan Murdinah

Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan,
Jl. KS Tubun Petamburan VI, Slipi, Jakarta, Indonesia

* Korespondensi Penulis: n_hay04@yahoo.com

Diterima: 28 Januari 2017; Disetujui: 30 Mei 2017

ABSTRAK

Halimeda opuntia merupakan rumput laut *Chlorophyta* berkapur yang memiliki kandungan nutrisi untuk pangan fungsional. Namun, pergeseran komposisi nutrisi dapat terjadi akibat perubahan lingkungan akibat limpasan nutrisi dan bahan organik lainnya yang umum terjadi di perairan pesisir Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi pergeseran kandungan nutrisi *H. opuntia* yang tumbuh di zona intertidal agar dapat digunakan sebagai dasar pemilihan lokasi pengambilan bahan baku *H. opuntia* untuk produk fungsional. Pengambilan sampel dilakukan di empat lokasi perairan di Indonesia, yaitu perairan Binuangeun (Banten), Lampung Selatan, Lombok Timur (Nusa Tenggara Barat) dan Konawe Selatan (Sulawesi Tenggara). Karakteristik nutrisi dari rumput laut target meliputi kadar air, abu, protein, lemak, karbohidrat, dan serat kasar. Informasi lingkungan dari habitat sampel ditunjukkan melalui variabel kimia air yaitu DO, pH, salinitas, pCO_2 , kalsium aragonit, nitrogen anorganik terlarut, serta fosfat anorganik terlarut. Hasil analisis menunjukkan kondisi lingkungan eutrofik berpengaruh secara signifikan terhadap komposisi nutrisi *H. opuntia*. pH dan salinitas menjadi faktor determinan positif ($R^2 = 0,75$ pada $p < 0,05$) terhadap kadar karbohidrat, sementara nitrogen anorganik terlarut menjadi faktor determinan negatif terhadap kadar protein dan lemak ($R^2 = 0,81$ dan $0,61$ pada $p < 0,05$). Berdasarkan kandungan nutrisinya, maka *H. opuntia* yang diperoleh dari habitat alamiah merupakan bahan baku produk fungsional yang lebih baik dibandingkan dengan biota selaras dari perairan eutrofik.

KATA KUNCI: *Calcareous*, eutrofikasi, *Halimeda opuntia*, komposisi nutrisi, rumput laut hijau

ABSTRACT

Halimeda opuntia is a *calcareous Chlorophyta* that contains nutritional value as functional food. However, nutritional composition may shift as the effect of environmental changes by nutrient and other organic run-off that commonly happened in Indonesian coastal waters. This research aims to identify the nutritional composition shift in *H. opuntia* that lived at intertidal zones, as a baseline for location consideration to get the raw material of *H. opuntia* for functional food products development. *H. opuntia* samples were collected from Binuangeun (Banten), South Lampung, East Lombok (NTB), and South Konawe (South East Sulawesi) waters. Nutritional value of targeted seaweed was characterized by moisture, ash, protein, fat, carbohydrate, and crude fiber. The environmental condition was accessed for DO, pH, salinity, pCO_2 , calcium aragonite, dissolved inorganic nitrogen (nitrate and ammonia), and dissolved inorganic phosphate. Results of the study showed that the eutrophic environment affecter significantly to nutritional composition of *H. opuntia*. pH and salinity positively determined the content of carbohydrate ($R^2 = 0.75$ at $p < 0.05$). Moreover, dissolved inorganic nitrogen negatively determined to the content of protein and fat ($R^2 = 0.81$ and 0.61 at $p < 0.05$). Therefore, based on the nutritional composition, it may suggest the *H. opuntia* that lived in the natural environment will be more prospective as functional product raw material than similiar organisms living in eutrophic waters.

KEYWORDS: *Calcareous*, eutrophication, *Halimeda opuntia*, nutritional composition, green seaweed

PENDAHULUAN

Halimeda opuntia merupakan jenis rumput laut berkapur (*Calcareous*) dari divisi Chlorophyta dan diklasifikasikan ke dalam ordo *Briopsidales*. Rumput laut ini banyak dijumpai pada daerah terumbu karang yang kondisi pantainya tenang, agak terlindung, dan hidup berkoloni (Romimohtarto & Juwana, 2001). Talus biota ini mengandung kalsium aragonit ekstraseluler dalam jumlah tinggi, sehingga menjadi penyumbang karbonat terbesar di lautan (Mayakun, Kim, Lapointe, & Prathep, 2012; Teichberg, Fricke, & Bischof, 2013). Keberadaan kalsium menjadikan *H. opuntia* berpotensi sebagai sumber kalsium alami yang dapat dimanfaatkan untuk bahan fortifikasi. Peningkatan asupan kalsium dalam bahan makanan lebih aman daripada suplemen, karena dalam pencernaan konsentrasi kalsium yang tinggi justru akan menekan *remodeling* tulang (Lee, Hettiarachchy, Gnanasambandam, & McNew, 1995). Selain itu, kandungan protein/asam amino, lemak/asam lemak, senyawa fenolik, dan lainnya menjadikan biota ini memiliki bioaktivitas antioksidan (Novoa et al., 2011). Penelitian yang dilakukan oleh Subagiyo (2012) menemukan bahwa asupan ekstrak *Halimeda* sp. mampu memodulasi sistem pertahanan non spesifik pada udang putih (*Litopenaeus vannamei*). Senyawa-senyawa metabolit sekunder dengan bioaktivitas farmakologis juga telah teridentifikasi, misalnya halimedatrial (Mishra, Srinivas, Madhusudan, & Sawhney, 2016; Paul & Fenical, 1983). Oleh karena itu, *H. opuntia* merupakan bahan baku potensial untuk produk nutrasetikal.

Pergeseran kondisi lingkungan alamiah rumput laut dapat terjadi akibat habitatnya yang berada di zona intertidal. Limpasan nutrisi atau eutrofikasi dari daratan sering terjadi di wilayah perairan pesisir. Penelitian sebelumnya telah melaporkan eutrofikasi di beberapa titik pada wilayah perairan pesisir Indonesia (Damar, Colijn, Hesse, & Wardiatno, 2012; Edinger, Jompa, Limmon, Widjatmoko, & Risk, 1998; Holmes, Edinger, Limmon, & Risk, 2000; Kroeze, Hofstra, Ivens, Lohr, Strokal, & Van Wijnen, 2013; Sawall, Teichberg, Seemann, Litaay, Jompa, & Richter, 2011). Selain itu, peningkatan nutrisi di perairan pesisir dapat terjadi dengan peningkatan jumlah karbon anorganik terlarut dan penurunan pH perairan. Nutrifikasi menimbulkan ledakan populasi alga. Proses respirasi alga dan perombakan bahan organik oleh mikroba akan meningkatkan tekanan parsial karbon anorganik yang berakibat pada penurunan pH perairan (Cai et al., 2011).

Pergeseran kondisi lingkungan ini dapat mengakibatkan perubahan pola metabolisme rumput laut. Variabel kimia, fisika, maupun letak geografis

memiliki keterkaitan terhadap kandungan bahan nutrisi fungsional biota laut (Susilowati, Pratitis, & Januar, 2016). Pergeseran kondisi lingkungan dapat mempengaruhi komposisi kimia rumput laut (Bilgin & Ertan, 2002; Koehler & Kennish, 1996; Ortiz et al., 2006). Perubahan komposisi tersebut akan mempengaruhi nilai biopotensi *H. opuntia* sebagai bahan baku nutrisi untuk pangan fungsional. Hal ini yang melandasi dilaksanakannya penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pergeseran kandungan nutrisi yang terkandung dalam *H. opuntia* pada perairan di zona intertidal. Hasil dari penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai dasar penentuan dalam pemilihan lokasi untuk pengembangan bahan baku rumput laut sebagai produk pangan maupun non pangan fungsional.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian dan Pengambilan Sampel *H. opuntia*

Rumput laut diambil dari empat lokasi perairan di Indonesia yaitu wilayah pesisir Lampung Selatan (5°52.637' LS; 105°25.520' BT), Binuangeun - Banten Selatan (6°50.708' LS; 105°52.815' BT), Lombok Timur - Nusa Tenggara Barat (8°55.048' LS; 116°31.752' BT), dan Konawe Selatan - Sulawesi Tenggara (4°25.845' LS; 112°48.732' BT). Pengambilan sampel dilakukan selama musim kemarau (Februari – Agustus 2015) untuk menyelaraskan faktor cuaca di setiap lokasi. Identifikasi *H. opuntia* dilakukan di lapangan, berdasarkan telaah morfologi yang mengacu pada Atmadja, Kadi, Sulistijo, dan Sataro (1996) seperti pada Gambar 1. Rumput laut *H. opuntia* yang diperoleh dari lokasi pengambilan sampel disortasi dan dicuci menggunakan air laut, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik. Selanjutnya, rumput laut disimpan di dalam *coolbox* yang diberi es curai, kemudian dibawa ke laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan Daya Saing Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan (P3DSPBKP). Selama di lapangan, es curai selalu diganti untuk menjaga kesegaran rumput laut. Rumput laut disimpan di *cold storage* sebelum dilakukan analisis.

Parameter Kimia Air di Lokasi Pengambilan Sampel

Pengamatan parameter kimia air dilakukan pada tiap titik pengambilan sampel. Pengamatan dilakukan dua kali sehari (saat pasang dan surut) selama dua hari berturut-turut. Variabel pH, DO (*Dissolved Oxygen*/Oksigen Terlarut), salinitas, DIP (*Dissolved Inorganic Phosphate*/Fosfat Anorganik Terlarut), dan DIN (*Dissolved Inorganic Nitrogen*/Nitrogen Anorganik

Terlarut), dianalisis *in situ* menggunakan HACH DR-890, HACH HQ40d dan Eutech Salt +6 Salt-meter. Nilai pH diukur sebagai pH_T (Nemzer & Dickson, 2005). Kadar pCO_2 dan kelarutan kalsium aragonit dikalkulasi dari alkalinitas (Lee et al., 2006), pH, salinitas, dan fosfat, diukur dengan CO2SYS v2.1 (Pierrot, Lewis, & Wallace, 2006).

Analisis Komposisi Proksimat dan Serat Kasar *Halimeda opuntia*

Rumput laut *H. opuntia* yang diperoleh dari lokasi sampling dianalisis komposisi proksimatnya antara lain kadar air, kadar abu, kadar protein, dan kadar lemak. Analisis kadar abu, air, lemak, dan protein mengacu pada SNI 01-2354 (1-4) - 2006 (BSN, 2006a; 2006b; 2006c; 2006d). Analisis kadar karbohidrat dan serat kasar mengacu pada Apriyantono, Fardiaz, Puspitasari, Yasni, dan Budiyanto (1989).

Analisis Data

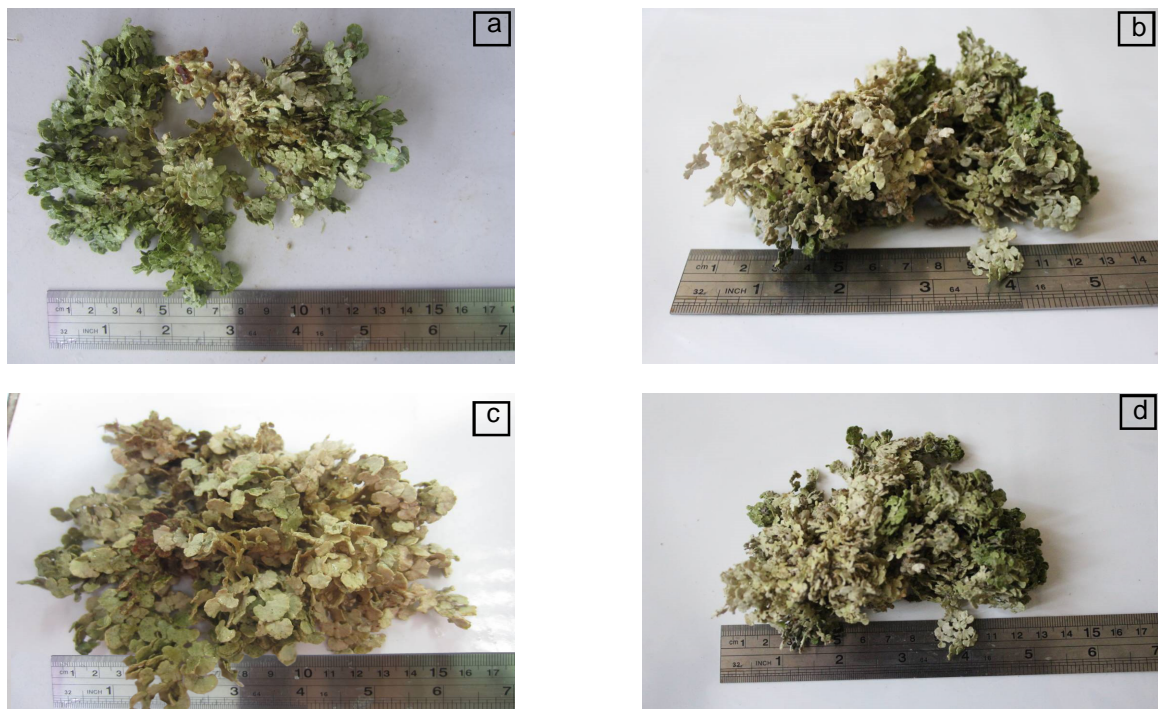
Pengujian perbedaan nilai variabel air dan nutrisi *H. opuntia* dari lokasi yang berbeda dilakukan dengan analisis Kruskal-Wallis. Selanjutnya, analisis diskriminan (*Discriminant Analysis* atau DA) dengan grup lokasi (Lampung Selatan, Binuangen, Lombok Timur, dan Konawe Selatan) dilakukan terhadap data

variabel kimia air (Loayza-Muro et al., 2010). Analisis diskriminan dilakukan untuk mendapatkan fungsi linear *Fisher* yang menunjukkan faktor kimia air yang berperan sebagai pembeda karakteristik kimia air di keempat lokasi penelitian. Kelarutan kalsium aragonit tidak disertakan dalam analisis, dengan adanya korelasi terhadap pH. Selain itu, *Redundancy Analysis* (RDA) dilakukan untuk mengetahui tingkat persamaan matematika dari tingkat determinasi variabel kimia air terhadap masing-masing komponen nutrisi di rumput laut *H. opuntia*. Pada analisis multivariat ini, data variabel nutrisi dihomogenkan dengan transformasi akar kuadrat. Keseluruhan analisis statistika dilakukan dengan perangkat lunak Syn-Tax 2000 (Podani, 2001).

HASIL DAN BAHASAN

Parameter Kimia Air

Hasil analisis parameter kimia air terdapat pada Gambar 2. Rentang deviasi yang umumnya terdeteksi tinggi pada setiap variabel air menunjukkan variabilitas yang terjadi akibat dinamika kimia air akibat proses oseanografi pasang surut. Kadar DO (rerata 7-8 ppm) dan salinitas (31,0-32,5 ppt) di keseluruhan lokasi yang diamati merupakan nilai alamiah dari perairan intertidal. Kedua variabel ini tidak berbeda secara

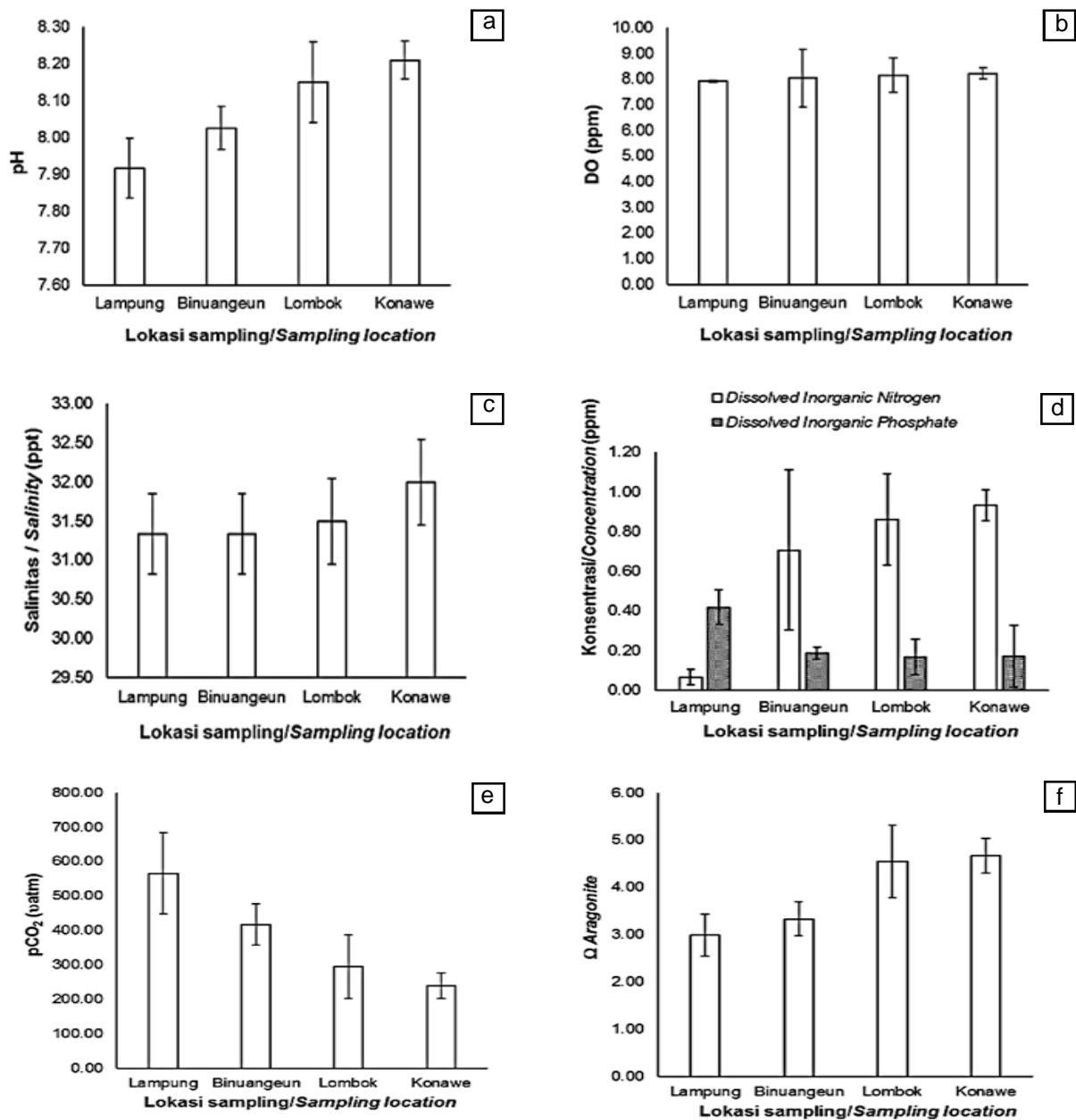


Gambar 1. *Halimeda opuntia* dari a) Lampung Selatan, b) Binuangeun, c) Lombok Timur, d) Konawe Selatan
Figure 1. *Halimeda opuntia* from a) South Lampung, b) Binuangeun, c) East Lombok, d) South Konawe

signifikan ($p > 0,05$) di seluruh lokasi. Namun, terdeteksinya nilai pH hingga 7,8 dengan pCO_2 yang mencapai 600 uatm dan nutrisi DIP dan DIN terlarut pada level 0,4 dan 1 ppm menunjukkan lokasi-lokasi perairan pesisir yang diamati mengalami eutrofikasi nutrisi dan peningkatan karbon terestrial. Kadar DIP dan DIN yang lebih tinggi dari 0,3 ppm dan 0,5 ppm termasuk ke dalam kategori perairan eutrofik (Yang

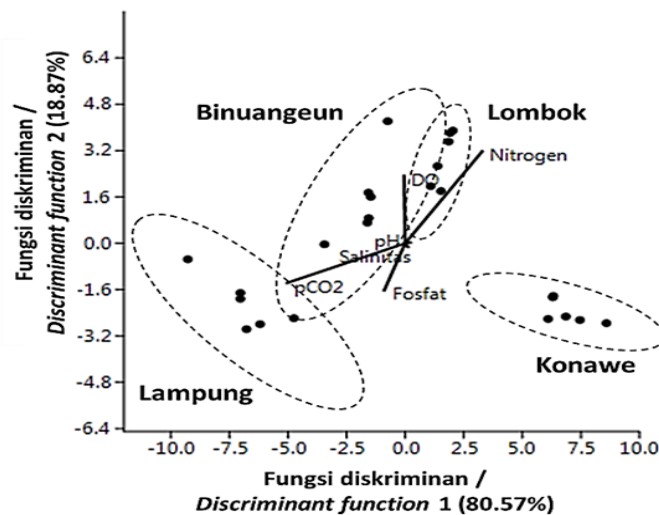
Wu, Hao, & He, 2008). Pengujian Kruskal-Wallis menunjukkan variabel karbon dan nutrisi berbeda yang secara signifikan ($P < 0,05$) pada keempat lokasi pengamatan.

Analisis diskriminan (Gambar 3) memperlihatkan karakteristik kimia air di tiap habitat *H. opuntia*. Fungsi diskriminan linear 1 secara dominan (80,57%) membedakan kondisi lingkungan air habitat *H.*



Gambar 2. Rerata dan simpangan baku parameter air; (a) pH, (b) DO, (c) Salinitas, (d) nutrisi, (e) pCO_2 , dan (f) kelarutan kalsium aragonit dari habitat *H. opuntia* perairan pesisir Lampung, Binuangeun, Lombok, dan Konawe

Figure 2. Average and standard deviation of water parameters; (a) pH, (b) DO, (c) salinity, (d) nutrient, (e) pCO_2 , and (f) dissolved aragonite calcium from *H. opuntia* environment at coastal of Lampung, Binuangeun, Lombok, and Konawe waters



Gambar 3. Analisis diskriminan dari parameter air pada grup lokasi habitat *H. opuntia*
 Figure 3. Discriminant analysis from water parameter at group of locations of *H. opuntia* environment

opuntia. Fungsi ini berkorelasi secara signifikan ($R^2 > 0,5$ dan $p < 0,05$) terhadap DIN dan pCO_2 . Selain itu, fungsi diskriminan 2 berkontribusi minor (18,87%) dan berkorelasi secara signifikan ($R^2 > 0,5$ dan $p < 0,05$) dengan DIP. Lokasi habitat *H. opuntia* di pesisir Lampung dan Binuangeun dicirikan oleh tingginya pCO_2 yang berdampak pada penurunan pH dan kelarutan kalsium aragonit. Selain itu, walaupun memiliki pH di atas 8 dan DIP yang lebih rendah dibandingkan dengan perairan pesisir Lampung Selatan, habitat *H. opuntia* di Binuangeun, Lombok Timur, dan Konawe Selatan, mengandung DIN yang tinggi (0,7-1,0 ppm).

Variasi karakteristik air memperlihatkan pola sumber limpasan yang berbeda di setiap lokasi. Limpasan karbon dari lingkungan terestrial secara alamiah akan terendapkan oleh ekosistem hutan mangrove (Alongi, 2012). Selain itu, kadar DIP di perairan umumnya berasal dari pengikisan sedimentasi atau pupuk pertanian (Liu, Hong, Zhang, Ye, & Jiang, 2009). Oleh karena itu, dapat diduga kadar pCO_2 dengan DIP di perairan habitat *H. opuntia* Lampung disebabkan oleh penurunan kapasitas ekosistem mangrove sebagai biofilter alamiah sedimentasi dan *carbon sink*. Penurunan 54,75% tutupan hutan mangrove di pesisir Lampung telah terdeteksi sepanjang selang waktu 1973-2013 (Darmawan & Hilmanto, 2014). Sebaliknya, perairan tempat habitat *H. opuntia* di Binuangeun, Lombok, dan Konawe, menunjukkan DIN yang tinggi. Perairan pesisir dengan DIN yang tinggi merupakan ciri dari perairan yang mengalami tekanan antropogenik domestik. Smith, et al. (2003) menyatakan bahwa DIN merupakan fungsi dari variabel determinan luasan pesisir dan jumlah penduduk di wilayah tersebut.

Dengan demikian, semakin tinggi populasi penduduk di wilayah pesisir maka volume limbah yang dihasilkan juga akan semakin besar, sehingga berdampak pada tingkat eutrofikasi di wilayah tersebut.

Secara keseluruhan, analisis parameter air menunjukkan bahwa keempat lokasi pengambilan sampel *H. opuntia* mengalami tekanan eutrofikasi dengan variasi kadar nutrisi dan karbon terlarut. Namun, kadar kalsium aragonit terlarut di setiap lokasi masih cukup tinggi (lebih dari 2). Hal ini menjadikan *calcareous H. opuntia* tetap dapat tumbuh dan bertahan hidup. Karakteristik perairan tropik dengan suhu perairan yang tinggi (dibandingkan wilayah subtropik), menyebabkan kelarutan kalsium karbonat (calcit maupun aragonit) tinggi, sehingga tetap dapat tumbuh (Cyronak, Schulz, & Jokiell, 2015).

Komposisi Nutrisi *Halimeda opuntia*

Analisis komposisi nutrisi *H. opuntia* terdapat pada Tabel 1. *H. opuntia* yang diperoleh dari empat lokasi tersebut memiliki kadar air dan abu berturut-turut antara 53,21-65,00% (bb) dan 31,20-43,14% (bb). Nilai kadar air ini lebih rendah dibanding *Halimeda* sp. jenis lainnya misalnya *H. tuna* sebesar 77,27-82,70% (Bilgin & Ertan, 2002). Sebaliknya kadar abu yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian Mwalugha, Kenji, Wakibia, dan Mwasaru (2013). Kedua analisis tersebut memiliki komposisi terbesar dibandingkan parameter analisis lainnya. Komposisi yang cukup besar lainnya adalah karbohidrat (0,22-4,57%) dan serat kasar (3,24-11,87%). Rumput laut dan tumbuhan pada umumnya menyimpan cadangan makanannya dalam bentuk karbohidrat terutama polisakarida. Namun, kadar serat kasar ini jauh lebih rendah dari rumput laut hijau jenis

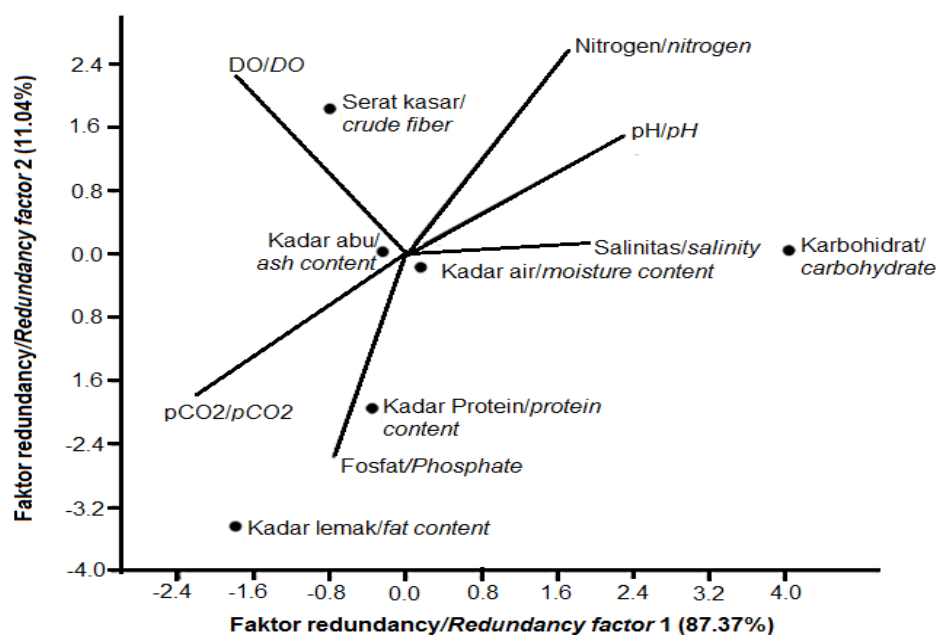
Tabel 1. Komposisi nutrisi *H. opuntia* dari perairan pesisir Lampung, Binuangeun, Lombok, dan Konawe
 Table 1. Nutritional composition of *H. opuntia* from coastal Lampung, Binuangeun, Lombok, and Konawe waters

Lokasi/ location	Kadar / content (%)					
	air/ moisture	abu/ ash	protein/ protein	lemak/ Fat	Karbohidrat/ carbohydrate	Serat kasar/ crude fiber
Lampung	56.13 ± 1.09	39.67 ± 1.63	1.47 ± 0.28	0.70 ± 0.08	0.22 ± 0.01	5.84 ± 0.75
Binuangeun	60.85 ± 1.02	35.78 ± 0.84	0.47 ± 0.67	0.17 ± 0.03	0.22 ± 0.01	7.10 ± 0.01
Lombok	53.21 ± 0.19	43.14 ± 0.28	0.78 ± 0.02	0.33 ± 0.01	0.28 ± 0.02	11.87 ± 0.55
Konawe	65.00 ± 1.16	31.20 ± 1.45	0.80 ± 0.13	0.07 ± 0.04	4.57 ± 0.04	3.24 ± 0.12

lainnya yaitu *Ulva fasciata*, *U. lactuca*, dan *U. prolifera* berturut-turut adalah 40%; 38,10%; dan 41,30% (Carvalho et al., 2009; Hwang, Amano, & Park, 2008). Sementara itu, kadar protein dan lemak *H. opuntia* dari keempat perairan berkisar antara 0,78-1,47% dan 0,07- 0,70%. Rumput laut mengandung protein dan lemak yang sangat sedikit. Kadar lemak umumnya sebesar 0,6-4,3% (Munda, 1972 dalam Birgin & Ertan,

2002). Berdasarkan telaah bibliografi, secara umum terdapat variasi nilai nutrisi yang ditemukan pada rumput laut, variasi ini sangat dipengaruhi oleh faktor musim, lokasi geografi, jenis spesies, umur panen, dan kondisi lingkungan (Dennis et al., 2010; Martone, 2007; Ortiz et al., 2006).

Pengaruh variasi lingkungan, terutama perubahan kadar nutrisi dan karbon terlarut yang berada di level



[Karbohidrat] = 72,79[pH] + 42,38[Salinitas]-23,70 (R² = 0,75)

[Protein] = 1,22-1,12[Nitrogen] (R² = 0,81)

[Lemak] = 0,85-1,68[Nitrogen] (R² = 0,61)

Gambar 4. Redundancy Analysis (RDA) dari parameter air terhadap komposisi nutrisi *H. opuntia*, dengan korelasi matematika persentase nutrisi dalam akar kuadrat dan parameter air dalam log konsentrasi (ppm)

Figure 4. Redundancy Analysis (RDA) from water parameter to nutritional composition of *H. opuntia*, with mathematical correlation of nutrition percentage in square root and water parameters in log of concentration (ppm)

eutrofik terlihat pada grafik RDA (Gambar 4). Faktor RDA 1 terdeteksi dominan (87,37%) dan berkorelasi secara signifikan ($R^2 > 0,5$ dan $p < 0,05$) terhadap DIN, pH, dan pCO_2 . Selain itu, faktor RDA 2 berkontribusi minor (11,04%) dan berkorelasi secara signifikan ($R^2 > 0,5$ dan $p < 0,05$) dengan DIP. Analisis determinasi lebih lanjut dengan uji multivariat ini menemukan bahwa terdapat tiga komponen nutrisi yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yaitu protein, lemak dan karbohidrat. Protein dan lemak memiliki korelasi negatif terhadap DIN ($R^2 = 0,81$ dan $0,61$), sementara karbohidrat memiliki korelasi positif terhadap pH dan salinitas ($R^2 = 0,75$).

Rumput laut *calcareous* diketahui tidak mengalami penambahan biomassa pada peningkatan karbon anorganik terlarut. Hal ini berbeda dengan mangrove, lamun, maupun rumput laut yang mampu berperan sebagai penyerap karbon (*carbon sink*). Kelimpahannya menurun pada kenaikan pCO_2 atau penurunan pH (Hall-Spencer et al., 2008; Kuffner, Anderson, Jokiel, Ku'ulei, & Mackenzie, 2008). Kenaikan pCO_2 yang berdampak pada kenaikan ion H^+ (penurunan pH) dan penurunan kelarutan kalsium aragonit menyebabkan biota *calcareous* membutuhkan energi dalam jumlah yang lebih besar untuk memompa H^+ dari jaringan tubuhnya dalam proses kalsifikasi (Cyronak et al., 2015). Cadangan energi dalam rumput laut disimpan dalam bentuk karbohidrat (Kraan, 2013). Hal ini menjelaskan korelasi matematika yang terbentuk antara kadar karbohidrat *H. opuntia* dan variabel air yaitu pH dan salinitas. Kebutuhan energi untuk kalsifikasi yang lebih besar pada kondisi pH rendah menyebabkan cadangan energi dalam bentuk karbohidrat yang rendah pada sampel *H. opuntia* dari pesisir Lampung, Binuangeun, dan Lombok. Sebaliknya pada kondisi pH alamiah dengan bufer salinitas yang tinggi seperti di perairan pesisir Konawe, secara signifikan menyebabkan cadangan energi karbohidrat yang lebih besar dalam *H. opuntia*.

Faktor pembatas pertumbuhan rumput laut adalah fosfat dalam lingkungan perairan eutrofik (Delgado & Lapointe, 1994). Peningkatan DIP akan meningkatkan produksi protein dan lemak, terkait dengan fungsi ion fosfat yang penting dalam enzim-enzim metabolisme (Hsiao & Druhl, 1973). Hal ini ditunjukkan oleh data *H. opuntia* dari pesisir Lampung, yang memiliki kadar DIP tinggi, mengandung protein dan lemak tertinggi dibandingkan dengan tiga lokasi lain yang diamati. Sementara itu, DIN di kondisi eutrofik tidak disimpan secara ekssesif dalam rumput laut (Reef, Pandolfi, & Lovelock, 2012). Bahkan, penelitian ini menemukan bahwa peningkatan DIN antropogenik secara signifikan berbanding terbalik dengan kadar nutrisi

penting di *H. opuntia*, yaitu protein dan lemak. Walaupun penelitian laboratorium menemukan adanya peningkatan produktivitas primer *H. opuntia*, namun pengamatan di alam menunjukkan bahwa biota *calcareous* ini mengalami stress kompetisi ruang hidup dengan rumput laut jenis lainnya dalam kondisi lingkungan eutrofik (Hofmann et al., 2015; Teichberg et al., 2013). Produktivitas primer rumput laut *non-calcareous* ditemukan tiga kali lipat dibandingkan rumput laut *calcareous* sehingga mampu tumbuh dengan cepat dalam kondisi eutrofik (Delgado & Lapointe, 1994). Selain itu, proses kalsifikasi pada rumput laut *calcareous* juga terganggu pada kondisi pengkayaan nutrisi (Hofmann et al., 2015). Kondisi stres ini dapat diduga mempengaruhi produksi protein dan lemak sehingga lebih rendah pada peningkatan kompetisi ruang hidup. Upaya biota alga untuk memperoleh ruang hidup dan menghindari pertumbuhan yang berlebihan maupun penempelan (*fouling*) diduga menyebabkan *H. opuntia* menggeser produksi metabolisme primer protein dan lemak untuk meningkatkan produksi senyawa metabolit sekunder defensif. *H. opuntia* diketahui mampu menghasilkan metabolit sekunder defensif halimedatrial dan halimedatetraacetat (Longo & Hay, 2015).

Secara umum, penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan berperan penting terhadap komposisi nutrisi yang terdapat di *H. opuntia*. Lingkungan eutrofik memberikan dampak negatif dengan penurunan kadar karbohidrat, protein, dan lemak. Nutrisi protein dan lemak, terutama penyusunnya yaitu asam amino dan asam lemak, merupakan komponen penting dalam suatu produk pangan atau non pangan fungsional. Oleh karena itu, penelitian ini menunjukkan bahwa *H. opuntia* yang berasal dari habitat alami (memiliki ekosistem biofilter karbon anorganik yang optimal dan kadar nutrisi seimbang) merupakan bahan baku produk fungsional yang lebih baik dibandingkan dengan *H. opuntia* yang tumbuh di perairan eutrofik.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan kondisi lingkungan eutrofik berpengaruh secara signifikan terhadap komposisi nutrisi yang dikandung oleh *H. opuntia*. Peningkatan konsentrasi karbon terlarut menurunkan kadar karbohidrat, sementara peningkatan nitrogen anorganik terlarut menurunkan kadar protein dan lemak. Berdasarkan kandungan nutrisinya, maka *H. opuntia* yang diperoleh dari habitat alamiah merupakan bahan baku produk fungsional yang lebih baik dibandingkan dengan *H. opuntia* yang tumbuh di perairan eutrofik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, 3(3), 313-322.
- Apriyantono, A., Fardiaz, D., Puspitasari, N. L., Yasni, S., & Budiyanto, S. (1989). *Petunjuk praktikum analisis pangan*. Bogor: PT IPB Press.
- Atmadja, W. S., Kadi, A., Sulistijo, & Satari, R. (1996). *Pengenalan jenis-jenis rumput laut Indonesia*. Jakarta: Puslitbang Oseanologi LIPI.
- Bilgin, S. & Ertan, O. (2002). Selected chemical constituents and their seasonal variations in *Flabellia petiolata* (Turra) Nizam and *Halimeda tuna* (Ellis & Sol.) J.V.Lamour in the Gulf of Antalya (North-eastern Mediterranean). *Turkish Journal of Botany*, 26, 87-90
- BSN. (2006a). *SNI 01-2354.1-2006*. Cara uji kimia - Bagian 1: Penentuan kadar abu pada produk perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. (2006b). *SNI 01-2354.2-2006*. Cara uji kimia- Bagian 2: Penentuan kadar air pada produk perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. (2006c). *SNI 01-2354.3-2006*. Cara uji kimia - Bagian 3: Penentuan kadar lemak total pada produk perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. (2006d). *SNI 01-2354.4-2006*. Cara uji kimia - Bagian 4: Penentuan kadar protein dengan metode total nitrogen pada produk perikanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Cai, W. J., Hu, X., Huang, W. J., Murrell, M. C., Lehrter, J. C., Lohrenz, S. E., Chou, W. C., Zhai, W., Hollibaugh, J. T., Wang, Y., & Zhao, P. (2011). Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication. *Nature Geosci.*, 4(11), 766-770.
- Carvalho, A. F. U., Portela, M. C. C., Sousa, M. B., Martins, F.S., Rocha, F.C., Farias, D.F., & Feitosa, J.P.A. (2009). Physiological and physico-chemical characterization of dietary fibre from the green seaweed *Ulva fasciata* Delile. *Brazilian Journal of Biology*, 69(3), 969-977.
- Cyronak, T., Schulz, K. G., & Jokiel, P. L. (2015). The Omega myth: what really drives lower calcification rates in an acidifying ocean. *ICES Mar Sci.*, 73; 558-562.
- Damar, A., Colijn, F., Hesse, K. J., & Wardiatno, Y. (2012). The eutrophication states of Jakarta, Lampung and Semangka Bays: Nutrient and phytoplankton dynamics in Indonesian tropical waters. *Journal of Tropical Biology & Conservation*, 9(1), 61-81.
- Darmawan, A., & Hilmanto, R. (2014). Mangrove forest cover change along the coast of East Lampung Regency. *Jurnal Sylva Lestari*, 2(3), 5-10.
- Delgado, O., & Lapointe, B. E. (1994). Nutrient-limited productivity of calcareous versus fleshy macroalgae in a eutrophic, carbonate-rich tropical marine environment. *Coral Reefs*, 13(3), 151-159.
- Dennis, C., Morancais, M., Li, M., Deniaud, E., Gaudin, P., Collin, G.W., Barnathan, G., Jaouen, P., & Fleurence, J. (2010). Study of the chemical composition of edible red macroalgae *Grateloupia turuturu* from Brittany (France). *Food Chemistry*, (119), 913-917.
- Edinger, E. N., Jompa, J., Limmon, G. V., Widjatmoko, W., & Risk, M.J. (1998). Reef degradation and coral biodiversity in Indonesia: Effects of land-based pollution, destructive fishing practices and changes over time. *Marine Pollution Bulletin*, 36(8), 617-630.
- Hall-Spencer, J. M., Rodolfo-Metalpa, R., Martin, S., Ransome, E., Fine, M., Turner, S. M., Rowley, S. J., Tedesco, D., & Buia, M. C. (2008). Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature*, 454(7200), 96-99.
- Hofmann, L. C., Bischof, K., Baggini, C., Johnson, A., Koop-Jakobsen, K., & Teichberg, M. (2015). CO₂ and inorganic nutrient enrichment affect the performance of a calcifying green alga and its noncalcifying epiphyte. *Oecologia*, 177(4), 1157-1169.
- Holmes, K. E., Edinger, E. N., Limmon, G. V., & Risk, M. J. (2000). Bioerosion of live massive corals and branching coral rubble on Indonesian coral reefs. *Marine Pollution Bulletin*, 40(7), 606-617.
- Hsiao, S. I., & Druehl, L. D. (1973). Environmental control of gametogenesis in *Laminaria saccharina*. II. Correlation of nitrate and phosphate concentrations with gametogenesis and selected metabolites. *Canadian Journal of Botany*, 51(5), 829-839.
- Hwang, E. K., Amano, H., & Park, C. S. (2008). Assessment of the nutritional value of *Capsosiphon fulvescens* (Chlorophyta): Developing a new species of marine macroalgae for cultivation in Korea. *Journal of Applied Phycology*, 20(2), 147-151.
- Koehler, S. & Kennish, R. (1996). Summer and winter comparisons in the nutritional value of marine macroalgae from Hong Kong. *Botanica Marina*, 39, 11-17.
- Kraan, S. (2013). Mass-cultivation of carbohydrate rich macroalgae, a possible solution for sustainable biofuel production. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(1), 27-46.
- Kroeze, C., Hofstra, N., Ivens, W., Lohr, A., Stokal, M., & Van Wijnen, J. (2013). The links between global carbon, water and nutrient cycles in an urbanizing world—the case of coastal eutrophication. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), 566-572.
- Kuffner, I. B., Andersson, A. J., Jokiel, P. L., Ku'ulei, S. R., & Mackenzie, F. T. (2008). Decreased abundance of crustose coralline algae due to ocean acidification. *Nature Geoscience*, 1(2), 114-117.
- Lee, K., Tong, L. T., Millero, F. J., Sabine, C. L., Dickson, A. G., Goyet, C., Park, G. H., Wanninkhof, R., Feely, R. A., & Key, R. M. (2006). Global relationship of total alkalinity with salinity and temperature in surface waters of the world's oceans. *Geophysic. Res. Lett.* 33: ArticleID L19605.
- Lee, M. H., Hettiarachchy, N. S., Gnanasambandam, R. & McNew, R. W. (1995). Physicochemical properties of calcium-fortified rice. *Cereal Chemistry*, 72, 352-355.
- Liu, S. M., Hong, G.H., Zhang, J., Ye, X. W., & Jiang, X. L. (2009). Nutrient budgets for large Chinese estuaries. *Biogeoscience*, 6(10), 2245-2263.

- Loayza-Muro, R. A., Elías-Letts, R., Marticorena-Ruiz, J. K., Palomino, E.J., Duivenvoorden, J.F., Kraak, M.H.S., & Admiraal, W. (2010). Metal-induced shifts in benthic macroinvertebrate community composition in Andean high altitude streams. *Environ Toxicol Chem.* 29(12), 2761–2768.
- Longo, G. O., & Hay, M. E. (2015). Does seaweed–coral competition make seaweeds more palatable. *Coral Reefs*, 34(1), 87-96.
- Martone, P. T. (2007). Kelp versus coralline; cellular basis for mechanical strength in the wave-swept seaweed *Calliathron* (Corallinaceae, Rhodophyta). *Journal Phycology*, (43), 882-891.
- Mayakun, J., Kim, J. H., Lapointe, B. E., & Prathep, A. (2012). Gametangial characteristics in the sexual reproduction of *Halimeda macroloba* Decaisne (Chlorophyta: Halimedaceae). *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 34 (2), 211–216.
- Mishra, J. K., Srinivas, T., Madhusudan, T. & Sawhney, S. (2016). Antibacterial activity of seaweed *Halimeda opuntia* from the coasts of South Andaman. *G.J.B.B.*, 5 (3), 345-348.
- Mwalugha, H. M., Kenji, G. M., Wakibia, J. G., & Mwasaru, M. A. (2013). Preliminary studies on the proximate composition of some selected seaweeds from Mkomani and Kibuyuni, Kenya. *Proceedings of the 2013 JKUAT Scientific Technological and Industrialization Conference*, 720-726.
- Nemzer, B. V. & Dickson, A. G. (2005). The stability and reproducibility of tris buffers in synthetic seawater. *Mar Chem.* 96(3), 237-242.
- Novoa, A. V., Andrade-Wartha, E. R., Linares, A. F., Genovese, M. I., González, A. E. B., Vuorela, P., Costa, A. & Mancini-Filho, J., (2011). Antioxidant activity and possible bioactive components in hydrophilic and lipophilic fractions from the seaweed *Halimeda incrassata*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 21(1), 53-57.
- Ortiz, J., Romero, N., Robert, P., Araya, J., Lopez-Hernandez, J., Bozzo, C., Navarrete, E., Narayan, K. M. V., Hanson, K. L., Smith, C. J., Nelson, R. G., Gyenizse, S. B., Pettitt, D. S., & Knowler, W. C. (1998). Dietary calcium and blood pressure in a native American population. *Journal of American College of Nutrition*, 17, 59-64.
- Paul, V. J., & Fenical, W. (1983). Isolation of Halimedatrial: chemical defense adaptation in the calcareous reef-building alga *Halimeda*. *Science*, 221, 747–749.
- Pierrot, D. E., Lewis, E., & Wallace, D. W. R. (2006). *MS Excel program developed for CO₂ system calculations*. ORNL/CDIAC-105a. Oak Ridge, Tennessee, USA: Carbon Dioxide Information Analysis Centre, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy.
- Podani, J. (2001). *Syn-Tax 2000: Computer programs for data analysis in ecology and systematics*. Department of Plant Taxonomy and Ecology, L. Eotvos University, Budapest.
- Reef, R., Pandolfi, J. M., & Lovelock, C. E. (2012). The effect of nutrient enrichment on the growth, nucleic acid concentrations, and elemental stoichiometry of coral reef macroalgae. *Ecology and evolution*, 2(8), 1985-1995.
- Romimohtarto, K., & Juwana, S. (2001). *Biologi Laut-Ilmu Pengetahuan Tentang Biota Laut*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi-LIPI.
- Sawall, Y., Teichberg, M. C., Seemann, J., Litaay, M., Jompa, J., & Richter, C. (2011). Nutritional status and metabolism of the coral *Stylophora subseriata* along a eutrophication gradient in Spermonde Archipelago (Indonesia). *Coral Reefs*, 30(3), 841-853.
- Smith, S. V., Swaney, D. P., Talaue-McManus, L., Bartley, J.D., Sandhei, P. T., McLaughlin, C. J., Dupra, V. C., Crossland, C. J., Buddemeier, R. W., Maxwell, B. A., & Wulff, F. (2003). Humans, hydrology and the distribution of inorganic nutrient loading to the ocean. *BioScience*, 53(3), 235–245.
- Subagiyo, S. (2012). Uji pemanfaatan rumput laut *Halimeda* sp. sebagai sumber makanan fungsional untuk memodulasi sistem pertahanan non spesifik pada udang putih (*Litopenaeus vannamei*). *Indonesian Journal of Marine Sciences*, 14(3), 142-149.
- Susilowati, R., Pratitis, A., & Januar, H. I. (2016). Composition of fatty acids in evaluation of sea cucumber potency for nutraceutical product development. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 11(2), 69-74.
- Teichberg, M., Fricke, A., & Bischof, K. (2013). Increased physiological performance of the calcifying green macroalga *Halimeda opuntia* in response to experimental nutrient enrichment on a Caribbean coral reef. *Aquatic botany*, 104, 25-33.
- Yang, X.e., Wu, X., Hao, H. L., & He, Z. L. (2008). Mechanisms and assessment of water eutrophication. *Journal of Zhejiang University Science B*, 9(3), 197-209.

