

POTENSI PADANG LAMUN SEBAGAI PENYERAP KARBON DI PERAIRAN PULAU KARIMUNJAWA, TAMAN NASIONAL KARIMUNJAWA

Ability of Seagrass Beds as Carbon Sink in The Waters of Karimunjawa Island, Karimunjawa National Park

Ajeng Ganefiani, Suryanti Suryanti dan Nurul Latifah
Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Departemen Sumberdaya Akuatik
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang, Semarang
Email: ajenggnfiani@gmail.com, suryantidr@gmail.com, nurullatifah271@gmail.com

Diserahkan tanggal 18 November 2018, Diterima tanggal 8 Februari 2019

ABSTRAK

Perubahan iklim disebabkan karena meningkatnya kandungan Gas Rumah Kaca seperti karbon dioksida (CO₂), klorofluorokarbon (CFC), ozon (O₃), dinitro oksida (N₂O), metana (CH₄), heksafluorida (SF₆), hidrofluorokarbon (HFC_s), perfluorokarbon (PFC_s). Diantara kedelapan gas tersebut, konsentrasi gas CO₂ di atmosfer memiliki kontribusi terbesar yaitu lebih dari 55% dari total efek GRK yang ditimbulkan. Salah satu upaya pencegahan yang dapat dilakukan untuk menurunkan emisi GRK adalah dengan memanfaatkan lautan dan ekosistem pesisir sebagai penyerap CO₂ alami (*natural CO₂ sink*). Lamun merupakan tumbuhan laut yang berkontribusi terhadap penyerapan karbon melalui proses fotosintesis yang kemudian disimpan dalam bentuk biomassa pada bagian daun, rhizoma dan akar. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui jenis lamun, kerapatan dan tutupan lamun serta potensi penyerapan karbon dalam biomassa berupa jaringan atas substrat dan bawah substrat lamun yang dilakukan pada bulan Maret 2018 di Pulau Karimunjawa. Identifikasi jenis lamun dilakukan dengan melihat panduan buku *seagrasswatch*, kerapatan dan tutupan dilakukan dengan metode transek kuadran. Analisis kandungan karbon dilakukan dengan metode pengabuan. Hasil penelitian ditemukan 8 jenis lamun yaitu *Enhalus acoroides*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, *Thalassia hemprichii*, *Halophila minor*, *Halodule uninervis*, *Halophila ovalis* dan *Syringodium isoetifolium*. *Thalassia hemprichii* dan *Cymodocea rotundata* memiliki nilai kerapatan tertinggi dengan kerapatan mencapai 450 ind/m² dan 1204 ind/m². Nilai biomassa dibagian bawah susbrat berkisar 970,39 - 1.412,55 gbk/m² yang lebih besar dibandingkan nilai biomassa lamun dibagian atas substrat berkisar 371, 88 - 546, 38 gbk/m² diikuti nilai penyerapan karbon dibagian bawah substrat (akar dan rhizoma) berkisar antara 12,60 – 93,62 gC/m², sementara kandungan karbon dibagian atas substrat (daun) berkisar antara 4,19 – 34,12 gC/m². Total stok karbon di perairan Pulau Karimunjawa berkisar antara 1,28 ton karbon – 2,49 ton karbon atau sebesar 0,50 – 0,73 ton karbon/ha

Kata kunci: Lamun, CO₂, Penyerapan Karbon, Gas Rumah Kaca, Karimunjawa

ABSTRACT

Climate change is caused by increasing greenhouse gases content such as carbon dioxide (CO₂), chlorofluorocarbon (CFC), ozone (O₃), dinitro oxide (N₂O), methane (CH₄), hexafluoride (SF₆), hydrofluorocarbons (HFC_s), perfluorocarbons (PFC_s)). Among the eight gases, the concentration of CO₂ gas in the atmosphere has the largest contribution, which is more than 55% of the total GHG effects generated. One of the preventive measures that can be taken to reduce GHG emissions is to use the oceans and coastal ecosystems as natural CO₂ sinks. Seagrass is a marine plant that contributes to carbon sequestration through photosynthesis which is then stored in the form of biomass in the leaves, rhizomes and roots. This research aims to know the types of seagrass, seagrass cover and potential density of biomass carbon of above the substrate (leaves) and below the substrate seagrass (roots and rhizomes) in March 2018 at Karimunjawa Island. The identification of seagrass types used guidance book of *seagrasswatch* and the identification of seagrass cover and density was carried out using transect quadrant method. Analysis carbon content used ashing method. The result of the present study found 8 species of seagrasses that *Enhalus acoroides*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, *Thalassia hemprichii*, *Halophila minor*, *Halodule uninervis*, *Halodule ovalis* and *Syringodium isoetifolium*. *Thalassia hemprichii* and *Cymodocea rotundata* have the highest density value reached 450 ind/m² and 1,204 ind/m². Value biomass below substrate ranged from 970.39 to 1,412.55 gbk/m² which is greater than the value biomass above the substrate ranged from 371, 88 - 546, 38 gbk/m² followed by the value of the carbon adsorption in below the substrate (roots and rhizomes) ranged from 12.60 to 93.63 gC/m², whilst the carbon content above the substrate (leaves) ranged from 4.19 to 34.12 gC/m². Total carbon stock in the waters of Karimunjawa Island ranged from 1.28 – 2.49 tons of carbon or of 0.50 to 0.73 tons of carbon/ha.

Keywords: Seagrass, CO₂, Carbon sink, Greenhouse gas, Karimunjawa Island

PENDAHULUAN

Perubahan iklim disebabkan karena meningkatnya kandungan Gas Rumah Kaca dan partikel di atmosfer. Emisi GRK seperti karbon dioksida (CO₂), klorofluorokarbon (CFC), ozon (O₃), dinitro oksida (N₂O), metana (CH₄), heksafluorida (SF₆), hidrofluorokarbon (HFCs), perfluorokarbon (PFCs) telah menyebabkan bumi semakin menjadi panas karena tersekap oleh kondisi yang dimunculkan oleh emisi gas yang diproduksi dari kegiatan industri, transportasi dan aktivitas manusia lainnya yang mempergunakan sumber energi fosil (batu bara, gas dan minyak bumi) (*brown carbon*), partikel debu (*black carbon*) serta berkurangnya kemampuan hutan dalam menyerap karbon akibat deforestasi (*green carbon*) (Pranowo *et al.*, 2011). Gas CO₂, CH₄ N₂O merupakan gas yang sangat diperhitungkan kontribusinya terhadap pemanasan global. Konsentrasi gas CO₂ di atmosfer memiliki kontribusi terbesar yaitu lebih dari 55% dari total efek GRK yang ditimbulkan.

IPCC melalui Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-bangsa tentang perubahan iklim (*United Nations Framework Convention on Climate Change/UNFCCC*) dan Protokol Kyoto mengusahakan menurunkan emisi karbon hingga 80% pada tahun 2020. Salah satu upaya pencegahan yang dapat dilakukan untuk menurunkan emisi GRK adalah dengan meminimalisir kegiatan manusia yang menghasilkan GRK seperti aktivitas yang memanfaatkan energi dari bahan bakar fosil berbasis karbon, kegiatan pembakaran dan alih guna lahan yang berakibat pelepasan emisi CO₂ ke udara (IPCC, 2001).

Penyerapan karbon dioksida dari atmosfer dapat melalui tumbuhan darat (hutan) dan lautan (fitoplankton, lamun, mangrove dan rawa payau). Lautan dan ekosistem pesisir adalah penyerap CO₂ alami (*natural CO₂ sink*) terbesar di bumi. Peran ini dikontrol oleh dua proses utama yaitu pompa solubilitas (*solubility pump*) dan pompa biologi (*biological pump*) (Sabine *et al.*, 2004). Siklus karbon yang terjadi di laut diketahui mampu menyerap sekitar 55% karbon di atmosfer. Hal ini menunjukkan efisiensi tumbuhan laut sebagai *carbon sinks* (Kawaroe, 2009). Kemampuan ekosistem pesisir yang sangat besar diyakini mampu menjadi gardu penyeimbang bersama dengan hutan tropis (*green karbon*) untuk mengurangi emisi CO₂ di atmosfer (Larkum *et al.*, 2006).

Lamun merupakan tumbuhan laut yang berkontribusi terhadap penyerapan karbon melalui proses fotosintesis yang kemudian disimpan dalam bentuk biomassa pada bagian daun, rhizoma dan akar. Biomassa lamun dipengaruhi oleh umur tegakan, komposisi, struktur tegakan dan perkembangan vegetasi (Kusmana *et al.*, 1992). Karbon yang diserap melalui proses fotosintesis berasal dari atmosfer yang kemudian terlarut di laut dan disimpan dalam bentuk DIC (*Dissolved Inorganic Carbon*) (UNEP, 2009). Ekosistem lamun dapat menyimpan sebanyak 83.000 metrik ton karbon dalam setiap kilometer persegi dan mengendapkannya dalam jaringan bagian lamun atau sedimen dalam waktu yang cukup lama, sehingga keberadaan lamun di bumi sangat diperlukan sebagai jasa dalam penyerapan karbon (Fourqurean *et al.*, 2012). Dengan demikian, padang lamun dapat berperan sebagai reservoir karbon di lautan (*carbon sink*) atau dikenal dengan istilah karbon biru (*blue carbon*) (Kennedy dan Bjork, 2009).

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis lamun, kerapatan danutupan lamun serta

mengestimasi potensi penyerapan karbon dalam bentuk biomassa pada jaringan lamun di perairan pulau Karimunjawa, Taman Nasional Karimunjawa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kemampuan ekosistem lamun dalam menyerap karbon serta kaitannya untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca. Sehingga fungsi lain ekosistem lamun selain habitat biota air ini dapat dijadikan data awal bagi pengelola lingkungan, pemerintah dan masyarakat dalam melakukan upaya konservasi dan pengelolaan ekosistem karbon biru secara berkelanjutan khususnya di pulau Karimunjawa, Taman Nasional Karimunjawa.

METODE PENELITIAN

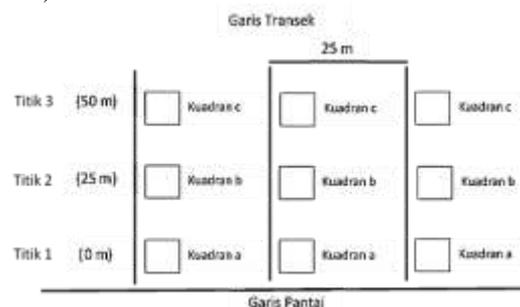
Materi

Materi penelitian ini adalah lamun yang diperoleh dari dua lokasi di perairan pulau Karimunjawa yaitu Pelabuhan Karimunjawa dan Pantai Pancuran pada bulan Maret 2018. Beberapa parameter kualitas air meliputi parameter fisika dan kimia (temperatur air, kecerahan, kedalaman, salinitas, pH) dan perhitungan biomassa dan karbon lamun dilakukan di Laboratorium Geologi Laut dan Laboratorium Analisis Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro.

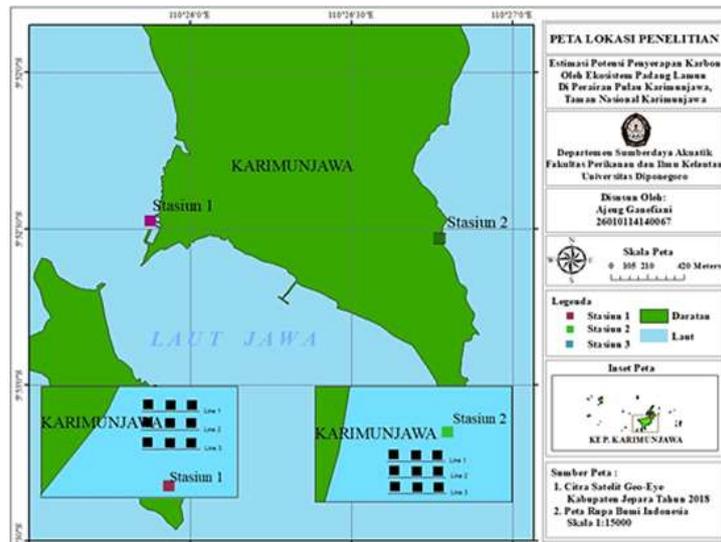
Metode

Metode yang digunakan dalam pengambilan sampel lamun adalah metode *purposive sampling* yang diambil pada dua stasiun yaitu stasiun I Pelabuhan Karimunjawa dan stasiun II Pantai Pancuran (Gambar 1). Penelitian ini memilih lokasi penelitian secara disengaja dengan melihat tingkatutupan dan kerapatan lamun agar sedapat mungkin dapat mewakili atau menggambarkan keadaan lamun di perairan Pulau Karimunjawa.

Metode pengambilan sampel lamun menggunakan metode transek garis, metode ini mengacu pada buku Panduan Identifikasi Potensi dan Pemantauan Biofisik Kawasan Konservasi Perairan, Pesisir dan Pulau-pulau Kecil (Direktorat Konservasi Kawasan dan Jenis Ikan, 2008). Sebanyak 3 transek garis dibentangkan disetiap titik stasiun. dengan panjang 50 m dibentangkan secara tegak lurus garis pantai dengan jarak masing-masing transek garis adalah 25 m kemudian transek kuadran diletakkan disisi kanan transek garis dengan jarak antar kuadran adalah 25 m. Metode yang digunakan ini adalah metode transek kuadran yang di modifikasi dari metode Seagrass Watch. Total transek yang dibentangkan dalam satu stasiun adalah tiga transek garis dan Sembilan transek kuadran (Gambar 2).



Gambar 2. Ilustrasi peletakan transek garis dan transek kuadran untuk satu stasiun
(Sumber: McKenzie *et al.*, 2003)



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Karimunjawa

Pengamatan lamun meliputi kerapatan, persentaseutupan dan jenis lamun. Transek kuadran (tegak lurus garis pantai) berukuran $100 \times 100 \text{ cm}^2$ yang dimodifikasi menjadi 16 sub plot berukuran $25 \times 25 \text{ cm}^2$ (McKenzie *et al.*, 2003). Lamun yang terdapat dalam transek kuadran kemudian dicuplik hingga pada penetrasi akar menggunakan pisau untuk mempermudah pencuplikan. Pencuplikan lamun untuk biomassa dilakukan disemua titik pengamatan (18 kuadran) sehingga dapat mewakili biomassa lamun secara keseluruhan. Sampel lamun yang dicuplik dan dibersihkan kemudian dipisahkan berdasarkan jaringan yaitu daun, rhizoma dan akar kemudian dikeringkan dan dibungkus menggunakan kertas menjadi herbarium basah untuk dibawa ke laboratorium (Azkab, 1999).

Pengamatan lamun meliputi kerapatan, persentaseutupan dan jenis lamun. Transek kuadran (tegak lurus garis pantai) berukuran $100 \times 100 \text{ cm}^2$ yang dimodifikasi menjadi 16 sub plot berukuran $25 \times 25 \text{ cm}^2$ (McKenzie *et al.*, 2003). Lamun yang terdapat dalam transek kuadran kemudian dicuplik hingga pada penetrasi akar menggunakan pisau untuk mempermudah pencuplikan. Pencuplikan lamun untuk biomassa dilakukan disemua titik pengamatan (18 kuadran) sehingga dapat mewakili biomassa lamun secara keseluruhan. Sampel lamun yang dicuplik dan dibersihkan kemudian dipisahkan berdasarkan jaringan yaitu daun, rhizoma dan akar kemudian dikeringkan dan dibungkus menggunakan kertas menjadi herbarium basah untuk dibawa ke laboratorium (Azkab, 1999).

Sampel lamun yang dibungkus menjadi herbarium basah, dipisahkan berdasarkan jaringannya kemudian dipotong kecil-kecil dan ditimbang menjadi berat basah sampel (Graha *et al.*, 2015). Sampel basah kemudian dimasukkan kedalam oven dengan temperatur 60°C selama 4-5 jam atau hingga sampel lamun tersebut kering. Sampel yang telah kering kemudian ditimbang kembali sebagai berat kering (Duarte, 1990).

Biomassa lamun dibedakan antara biomassa bagian atas substrat (*above ground*) dan bagian bawah substrat (*under ground*) (Azkab, 1999). Biomassa lamun kemudian dinyatakan dalam satuan gram berat kering per meter persegi (gbk/m^2). Perhitungan kandungan karbon lamun dianalisis menggunakan metode pengabuan atau *Loss On Ignition* (LOI) yang mengacu pada Helrich (1990). Selanjutnya, dilakukan perhitungan total

stok karbon dengan menggunakan konversi data biomassa menjadi kandungan karbon. Perhitungan karbon ini hanya dilakukan pada titik tengah dari masing-masing kuadran yang diletakkan disetiap garis transek. Hasil perhitungan total stok karbon yang sudah di konversi kemudia dirata-rata dengan satuan gC/m^2 dan dikalikan dengan luasan padang lamun di lokasi pengamatan (Howards *et al.*, 2014).

Analisis Data

Kerapatan Lamun Dan Persentase Peutupan

Kerapatan lamun menggunakan rumus persamaan sebagai berikut (Khouw, 2009);

$$D_i = \frac{\sum n_i}{A_i}$$

Keterangan: D_i = Kerapatan spesies-i (individu/ m^2); $\sum n_i$ = Jumlah tunas spesies -i (individu); A_i = Jumlah luas transek dimana spesies -i ditemukan (m^2)

Penutupan lamun menggunakan rumus persamaan menurut metode English *et al.* (1994);

$$C = \frac{\sum (M_i \times f_i)}{\sum f}$$

Keterangan: C = Persentase luas penutupan spesies -i (%); M_i = Nilai tengah dari kelas penutupan ke-i; f_i = Frekuensi munculnya kelas penutupan ke-i; f = Jumlah total frekuensi (transek)

Indeks Keanekaragaman, Keseragaman dan Dominansi

Indeks keanekaragaman menggunakan rumus persamaan Shannon-Wiener sebagai berikut (Odum, 1998);

$$H' = - \sum_{i=1}^n (p_i \ln p_i), p_i = \frac{n_i}{N}$$

Keterangan: H' = Indeks keanekaragaman; n_i = Jumlah individu jenis ke-i; N = Jumlah individu total; P_i = Proporsi frekuensi jenis ke-i terhadap jumlah total.

Indeks keseragaman menggunakan rumus persamaan sebagai berikut (Odum, 1998);

$$E = \frac{H'}{H_{maks}}, H_{maks} = \ln S$$

Keterangan: E = Jumlah keseragaman; S = Jumlah taksa atau jenis

Indeks dominasi menggunakan rumus Simpson sebagai berikut (Odum, 1998);

$$D = \sum_{i=1}^n (p_i^2)$$

Keterangan: D = Indeks dominansi Simpson; Pi = Proporsi jumlah i terhadap jumlah total

Perhitungan Biomassa dan Karbon Lamun

Biomassa lamun menggunakan rumus persamaan menurut Duarte (1990);

$$B = W \times D$$

Keterangan: B = Biomassa lamun (gr/m²); W = Berat kering lamun (gr/individu); D = Kerapatan lamun (individu/m²)

Kandungan karbon lamun menggunakan rumus persamaan menurut Helrich (1990);

$$\text{Kadar Abu} = \frac{c-a}{b-a} \times 100\%$$

Keterangan: a = berat cawan; b = berat cawan + berat kering jaringan lamun; c = berat cawan + berat abu jaringan lamun.

Bahan organik menggunakan metode pengabuan, ditentukan dengan menghitung pengurangan berat saat pengabuan dengan rumus persamaan:

$$\text{Kandungan Karbon} = \frac{\text{Bahan Organik}}{1,724}$$

Keterangan: 1,724 = konstanta nilai bahan organik

Perhitungan Total Stok Karbon menggunakan rumus menurut Sulaeman *et al.* (2005);

$$Ct = \sum (Li \times Ci)$$

Keterangan:

Ct = karbon total (ton)

Li = luas padang lamun kategori kelas ke-i (m²)

Ci = rata-rata stok karbon kategori kelas ke-i (gC/m²)

HASIL DAN PEMBAHASAN

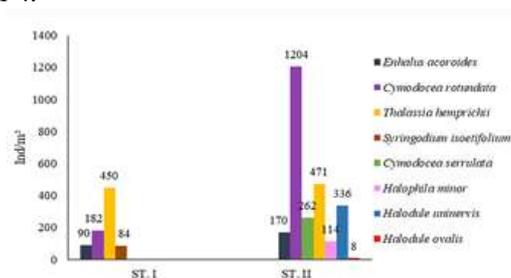
Jenis, Kerapatan dan Persentase Penutupan

Pengamatan lamun dilakukan di dua lokasi penelitian yaitu stasiun I Pelabuhan Karimunjawa dan stasiun II Pantai Pancuran. Identifikasi lamun dilakukan dengan mencocokkan lamun yang dengan buku panduan identifikasi lamun *seagrasswatch* (2003). Berdasarkan hasil pengamatan dan identifikasi lamun, ditemukan 8 jenis lamun yang hidup di kedua lokasi penelitian yaitu: *Enhalus acoroides*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, *Thalassia hemprichii*, *Halophila minor*, *Halodule uninervis*, *Halodule ovalis* dan *Syringodium isoetifolium*.

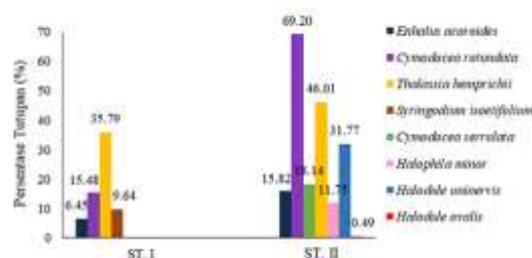
Delapan jenis lamun yang ditemui, hampir memiliki karakteristik yang sama yaitu ditemukan mulai dari di tepi pantai hingga ke arah laut dengan lebar sebaran lamun yang berbeda-beda, dijumpai di perairan yang dangkal dan mudah diamati pada saat surut. Tingkat kehadiran jenis lamun tertinggi ditunjukkan oleh jenis *T. hemprichii* pada stasiun I dan *C. rotundata* pada stasiun II. Hal tersebut sama dengan

hasil penelitian dari Wicaksono (2012), Cahyani (2014) dan Ristianti *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa lamun jenis *T. hemprichii* dan *C. rotundata* merupakan jenis lamun yang paling banyak dijumpai di hampir seluruh perairan di Pulau Karimunjawa.

Perhitungan kerapatan lamun digunakan untuk mengetahui jumlah tegakan (ind) dalam satu luasan kuadran yang dinyatakan dalam satuan (ind/m²), sedangkan persentase penutupan lamun berfungsi untuk menggambarkan luasan lamun yang menutupi perairan dinyatakan dalam satuan (%). Kedua nilai tersebut merupakan nilai kerapatan dan persentase penutupan lamun yang dijumlahkan dari tiga transek garis dimasing-masing stasiun. Hasil nilai kerapatan dan persentase penutupan lamun disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Kerapatan Lamun di kedua stasiun Pulau Karimunjawa



Gambar 4. Persentase Tutupan Lamun di kedua stasiun Pulau Karimunjawa

Berdasarkan tabel diatas, nilai kerapatan tertinggi ditunjukkan oleh lamun jenis *T. hemprichii* pada stasiun I dengan total individu sebanyak 450 ind/m². Pertanyaan ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Tomascik *et al.* (1997) dan Harianto (2005) berpendapat bahwa lamun jenis *T. hemprichii* sering ditemukan tepat di tepi demaga kapal dimana kapal bersandar dan melimpah pada daerah perairan yang memiliki substrat dasar pasir kasar, pasir lanau pecahan karang. Lamun jenis *C. rotundata* memiliki nilai kemunculan tertinggi di stasiun II dengan total individu sebanyak 1204 ind/m². Hasil tersebut berkorelasi dengan yang dikemukakan oleh Hutomo *et al.* (1988), bahwa lamun *C. rotundata* tumbuh pada substrat pasir dan pecahan karang, terbuka saat surut dan selalu digenangi air juga merupakan salah satu lamun jenis yang dominan di daerah intertidal.

Nilai persentase penutupan tertinggi stasiun I sebesar 35,79% yang berasal dari lamun jenis *T. hemprichii* sedangkan persentase penutupan tertinggi pada stasiun II sebesar 69,20% yang berasal dari lamun jenis *C. rotundata*. Hal ini membuktikan bahwa nilai persentase penutupan lamun sejalan dengan jumlah kerapatan lamun yang terdapat di tiap stasiun. Perbedaan jenis lamun, kerapatan dan persentase tutupan yang

terdapat di masing-masing stasiun penelitian ini diduga berkaitan dengan kemampuan adaptasi jenis lamun terhadap kondisi lingkungan yang berbeda. Perhitungan nilai kerapatan tiap stasiun berhubungan dengan perhitungan biomassa lamun yang nantinya akan digunakan untuk mengestimasi penyerapan karbon di setiap titik.

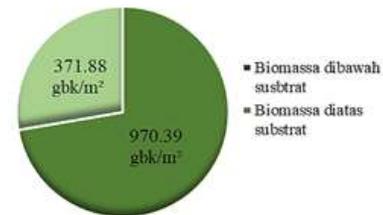
Indeks Ekologi Lamun

Nilai indeks ekologi lamun meliputi indeks keanekaragaman, indeks keseragaman dan indeks dominansi. Nilai indeks keanekaragaman yang diperoleh dari dua stasiun berkisar 0,97– 1,56 termasuk dalam kategori keanekaragaman sedang sampai rendah. Nilai indeks keseragaman yang diperoleh dari dua stasiun berkisar 0,70 – 0,96 termasuk dalam kategori keseragaman yang tinggi. Sedangkan nilai indeks dominansi yang diperoleh berkisar 0,24 – 0,50. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat spesies yang mendominasi spesies lainnya. Yanti (2015) menyatakan bahwa jika nilai indeks dominansi lamun meningkat, maka nilai indeks keseragaman lamun akan menurun dan jika nilai indeks keseragaman yang rendah maka stasiun tersebut memiliki nilai indeks dominansi yang tinggi.

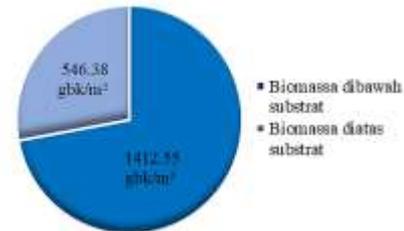
Biomassa Lamun

Nilai biomassa diperoleh dari hasil berat kering jaringan atas substrat dan bawah substrat yang dianalisis di laboratorium, kemudian diolah dengan menggunakan rumus perhitungan biomassa yang mengacu pada perhitungan biomassa lamun menurut Duarte (1990). Nilai biomassa yang diperoleh dikelompokkan berdasarkan jaringan (daun, rhizoma dan akar). Nilai total biomassa lamun yang berada di stasiun I yang terdiri dari 9 kuadran yaitu berkisar 256,34 – 384,88 gbk/m² merupakan total biomassa dibawah substrat dan 105,04 – 135,02 gbk/m² merupakan total biomassa diatas substrat. Sedangkan, nilai total biomassa lamun stasiun II berkisar 420,70 – 547,04 gbk/m² merupakan total biomassa dibawah substrat dan 140,94 – 218,24 gbk/m² merupakan total biomassa diatas substrat. Nilai ini diduga didominasi oleh lamun jenis *T. hemprichii* dan *C. rotundata* diduga merupakan dua jenis lamun yang menyumbang nilai biomassa terbesar dibandingkan dengan jenis lamun lainnya. Hal tersebut dapat dilihat dari kemunculannya di seluruh transek kuadran, sehingga lamun jenis *T. hemprichii* dan *C. rotundata* mempunyai kontribusi terbesar sebagai penyimpan karbon di Pelabuhan Karimunjawa dan Pantai Pancuran.

Substrat (*above ground*) dari tiga garis transek di stasiun I yaitu 371, 88 gbk/m² dan total biomassa bagian bawah substrat (*under ground*) yaitu 970,39 gbk/m². Total keseluruhan biomassa lamun atas substrat dari stasiun II yaitu 546, 38 gbk/m² dan total biomassa bagian bawah substrat yaitu 1.412.55 gbk/m². Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan Erftemeijer (1993) dan Supriadi *et al.* (2012) menyatakan bahwa rata-rata biomassa dibawah substrat tiga kali lipat lebih besar dibandingkan biomassa diatas substrat dikarenakan bahwa rhizoma mengandung banyak zat pati dan unsur hama dimana zat tersebut didistribusikan dari hasil fotosintesis yang kemudian disimpan dibagian bawah substrat. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan morfologi tumbuhan lamun yang berperan dalam menentukan besaran nilai biomassa lamun. Nilai total biomassa lamun bagian atas dan bawah substrat pada stasiun I dan stasiun II disajikan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Biomassa Karbon di Pelabuhan Karimunjawa



Gambar 6. Biomassa Karbon di Pantai Pancuran

Nilai Estimasi Stok Karbon Lamun

Nilai kandungan karbon per jaringan lamun diperoleh dari nilai kadar bahan organik hasil proses pengabuan (*loss on ignition*) dibagi dengan konstanta nilai bahan organik, sehingga diperoleh nilai estimasi kandungan karbon yang kemudian dijadikan dalam bentuk persen karbon. Adanya variasi nilai karbon yang terdapat di lokasi penelitian merupakan variasi nilai yang disebabkan oleh perbedaan besaran biomassa antar jenis maupun antar jaringan lamun. Wardah (2009) menyatakan bahwa semakin tinggi kandungan biomassa pada lamun, maka nilai kandungan karbon pada jaringan lamun juga akan semakin meningkat. Hasil analisis stok karbon lamun stasiun I dan stasiun II disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Nilai kandungan karbon yang terdapat pada Tabel 1. menjelaskan bahwa nilai rata-rata kandungan karbon jaringan lamun yakni pada bagian akar di stasiun I, sebesar 35,23 gC/m² dengan rata-rata persen karbon sebesar 27,25%, bagian rhizoma sebesar 47,33 gC/m² dengan rata-rata persen karbon sebesar 37,05% dan pada bagian daun sebesar 45,56 gC/m² dengan rata-rata persen karbon 35,68%.

Nilai kandungan karbon yang terdapat pada Tabel 2. menjelaskan bahwa nilai rata-rata kandungan karbon jaringan lamun yakni pada bagian akar di stasiun II sebesar 36,93 gC/m² dengan rata-rata persen karbon sebesar 28,23%, bagian rhizoma sebesar 47,12 gC/m² dengan rata-rata persen karbon sebesar 36,16% dan bagian daun sebesar 46,28 gC/m² dengan rata-rata persen karbon 35,53%.

Nilai persen karbon yang telah diperoleh kemudian diolah kedalam perhitungan gram karbon yaitu biomassa disetiap titik dibagi seratus dan dikalikan dengan persen karbon. Konversi nilai persen karbon titik 2 dilakukan berdasarkan prakiraan bahwa masing-masing kuadran (titik 1, 2, 3) memiliki kondisi lamun yang hampir sama dan relatif homogen karena jarak antara titik 1, 2 dan 3 adalah sama.

Nilai estimasi kandungan karbon ini disajikan menjadi nilai estimasi karbon dibawah substrat yang merupakan perpaduan dari nilai estimasi kandungan karbon akar dan rhizoma lamun, sedangkan nilai estimasi kandungan karbon diatas substrat merupakan nilai estimasi kandungan karbon

daun lamun. Nilai estimasi kandungan karbon dibawah dan diatas substrat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Konsentrasi Karbon Jaringan Lamun Stasiun I

Konsentrasi Karbon Jaringan Lamun (%C)			
Line	Jaringan	Karbon (gC/m ²)	Persen Karbon (%C)
1	Akar	37,03	28,45
	Rhizoma	47,82	36,75
	Daun	45,28	34,80
2	Akar	42,65	31,10
	Rhizoma	48,13	35,10
	Daun	46,35	33,80
3	Akar	26,01	22,21
	Rhizoma	46,06	39,33
	Daun	45,04	38,46

Tabel 2. Konsentrasi Karbon Jaringan Lamun Stasiun II

Konsentrasi Karbon Jaringan Lamun (%C)			
Line	Jaringan	Karbon (gC/m ²)	Persen Karbon (%C)
1	Akar	37,36	28,52
	Rhizoma	47,19	36,03
	Daun	46,42	35,44
2	Akar	40,15	29,83
	Rhizoma	48,25	35,85
	Daun	46,20	34,33
3	Akar	33,04	26,39
	Rhizoma	45,92	36,68
	Daun	46,23	36,93

Nilai estimasi kandungan karbon Stasiun I Pelabuhan Karimunjawa pada bagian atas substrat yaitu 4,19 – 33,42 gC/m² dengan nilai tertinggi ditemukan di line 2, titik 3 sebesar 33,42 gC/m². Bagian bawah substrat yaitu 12,60 – 75,40 gC/m² dengan nilai tertinggi ditemukan di line 3, titik 3 sebesar 75,40 gC/m². Adanya variasi nilai karbon yang terdapat di stasiun I merupakan variasi nilai yang disebabkan oleh perbedaan besaran biomassa antar jenis maupun antar jaringan lamun. Supriadi *et al.* (2012) menyatakan bahwa nilai estimasi kandungan karbon bagian bawah substrat (akar dan rhizoma) lebih besar dikarenakan jaringan dibagian bawah tidak terlalu banyak terpengaruh oleh perubahan fisik lingkungan sebagaimana jaringan bagian atas substrat (daun). Kennedy dan Bjork (2009) menambahkan bahwa stok karbon yang tersimpan disedimen pada jaringan lamun akan selalu terpelihara bahkan setelah tumbuhan lamun mati, maka stok karbon yang tersimpan dibagian bawah tersebut akan terkunci didalam sedimen. Sedangkan stok karbon diatas substrat hanya akan tersimpan selama tumbuhan lamun tersebut masih hidup. Nilai estimasi kandungan karbon Stasiun II Pantai Pancuran pada bagian atas substrat yaitu 13,64 – 34,12 gC/m² dengan nilai tertinggi ditemukan di line 3, titik 3 sebesar 34,12 gC/m². Bagian bawah substrat yaitu 23,20 – 93,62 gC/m² dengan nilai tertinggi ditemukan di line 3, titik 3 sebesar 93,62 gC/m².

Nilai estimasi total kandungan karbon pada jaringan lamun di kedua stasiun yaitu 18,09 ± 0,009 – 127,82 ± 0,109 gC/m². Nilai kandungan karbon tertinggi terdapat di stasiun II Pantai Pancuran, line 3, titik 3 yaitu 127,82 ± 0,109 gC/m², diduga nilai ini didominasi oleh spesies *C. rotundata* dan *T. hemprichii*, sedangkan nilai estimasi total kandungan karbon

tertinggi stasiun I Pelabuhan Karimunjawa terdapat pada line 3, titik 3 yaitu 97,06 ± 0,657 gC/m², diduga nilai ini didominasi oleh spesies *T. hemprichii* dan *C. Rotundata*.

Tabel 3. Nilai Estimasi Kandungan Karbon Stasiun I

Kandungan Karbon (gC/m ²)				
Line	Titik (m)	Karbon Bawah Substrat	Karbon Atas Substrat	Total Karbon
1	1	36,68	6,34	42,92 ± 0,144
	2	29,94	8,97	38,91 ± 0,008
	3	42,10	21,23	63,35 ± 0,018
2	1	13,90	4,19	18,09 ± 0,009
	2	17,51	8,02	25,54 ± 0,005
	3	52,33	33,42	85,73 ± 0,027
3	1	12,60	17,66	30,17 ± 0,138
	2	38,47	10,92	49,58 ± 0,271
	3	75,40	22,12	97,06 ± 0,657

Tabel 4. Nilai Estimasi Kandungan Karbon Stasiun II

Kandungan Karbon (gC/m ²)				
Line	Titik (m)	Karbon Bawah Substrat	Karbon Atas Substrat	Total Karbon
1	1	45,41	27,85	73,27 ± 0,010
	2	45,12	16,31	61,43 ± 0,002
	3	46,63	33,20	79,78 ± 0,069
2	1	48,13	19,52	67,74 ± 0,125
	2	40,61	13,64	54,34 ± 0,133
	3	59,40	15,22	74,55 ± 0,097
3	1	23,20	17,33	40,59 ± 0,081
	2	64,20	17,68	81,68 ± 0,294
	3	93,62	34,12	127,82 ± 0,109

Perbandingan nilai estimasi kandungan karbon dibawah substrat dan diatas substrat stasiun I dan stasiun II (Tabel 3 dan Tabel 4) dirata-rata menurut lokasi penelitian, kemudian dikalikan dengan luasan lamun pada stasiun I yaitu 2,54 ha dan stasiun II yaitu 3,39 ha, maka didapatkan nilai estimasi stok karbon (ton karbon) dibawah substrat, diatas substrat dan total karbon pada kedua lokasi penelitian seperti pada Tabel 5. sebagai berikut.

Tabel 5. Perbandingan Nilai Estimasi Stok Karbon

No.	Lokasi	Luas Area (ha)	Substrat Bawah (ton)	Substrat Atas (ton)	Total Stok Karbon (ton)
1.	Pelabuhan Karimunjawa	2,54	0,90	0,38	1,28
2.	Pantai Pancuran	3,39	1,76	0,73	2,49

Berdasarkan Tabel 5. menjelaskan bahwa nilai estimasi stok karbon memiliki perbandingan nilai yang signifikan antara stasiun I dan stasiun II. Tidak hanya dari perbedaan lokasi dan namun dilihat dari stok karbon dibawah substrat dan diatas substrat. Estimasi stok karbon bawah substrat 0,90 ton karbon dan bagian atas substrat 0,38 ton karbon. Pantai Pancuran memiliki nilai nilai estimasi stok karbon bawah substrat 1,76 ton karbon dan bagian atas substrat

0,73 ton karbon. Total estimasi stok karbon di Pelabuhan Karimunjawa adalah sebesar 1,28 ton atau 0,50 ton karbon/ha, sedangkan total estimasi stok karbon di Pantai Pancuran adalah sebesar 2,49 ton karbon atau 0,73 ton karbon/ha.

Hasil estimasi penyerapan karbon pada penelitian ini lebih kecil jika dibandingkan dengan total penyimpanan karbon Pulau Menjangan Kecil dan Pulau Sintok hasil penelitian Hartati *et al.* (2017) yang memperoleh total penyimpanan karbon sebesar 32,19 ton karbon dengan luas area lamun Pulau Menjangan Kecil seluas 37,71 ha dan 4,18 ton karbon untuk Pulau Sintok dengan luasan padang lamun seluas 28, 62 ha. Lebih kecil juga jika dibandingkan dengan hasil penelitian Supriadi *et al.* (2012) di Pulau Baranglombo Makassar yang memperoleh total karbon sebesar 73,86 ton dengan luas area sebesar 64,3 ha. Tingginya nilai penyimpanan karbon yang diperoleh di Baranglombo dikarenakan nilai karbon diperoleh tidak hanya dari tumbuhan lamun saja, namun juga diperoleh dari produktivitas serasah dan herbivora (grazing bulu babi) sedangkan dalam penelitian ini nilai estimasi penyerapan karbon hanya diperoleh dari hasil penyerapan karbon pada jaringan tumbuhan lamun saja.

Pelabuhan Karimunjawa memiliki nilai estimasi penyerapan karbon yang lebih kecil jika dibandingkan dengan Pantai Pancuran, hal ini diduga karena faktor lingkungan yang dekat dengan pemukiman warga dan kegiatan pelayaran, juga kerapatan lamun per meter persegi lebih jarang dengan luasan padang lamun yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan luasan padang lamun di Pantai Pancuran sehingga mempengaruhi kemampuan tumbuhan lamun dalam menyerap karbon di perairan tersebut. Christon (2012) menyatakan bahwa penyerapan karbon organik dipengaruhi oleh kerapatan lamun dan besarnya biomassa lamun pada substrat yang lebih kecil memberikan efek positif dalam penyerapan karbon organik. Pantai Pancuran memiliki substrat pasir berlumpur yang memiliki butiran yang lebih kecil dibandingkan dengan substrat di Pelabuhan Karimunjawa yang didominasi oleh pasir dan pecahan karang.

Karakteristik dan Kondisi Perairan

Penelitian ini dilakukan di Pulau Karimunjawa tepatnya di dua lokasi yaitu Pelabuhan Karimunjawa dan Pantai Pancuran. Perairan Pulau Karimunjawa memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda dengan perairan Laut Jawa. Kondisi lingkungan perairan pada suatu habitat tertentu akan sangat mempengaruhi struktur komunitas padang lamun pada saat itu dan diukur bersamaan dengan indentifikasi lamun yang dilakukan pada setiap titik pengamatan. Pengukuran parameter perairan yang telah dilakukan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 6. sebagai berikut.

Kedua stasiun penelitian ini memiliki karakteristik yang sedikit berbeda, pada stasiun I memiliki arus dan gelombang yang tinggi dengan substrat perairannya adalah pasir dan pecahan karang sedangkan stasiun II memiliki arus dan gelombang yang tenang dengan substrat perairannya adalah pasir berlumpur dan pecahan karang. Parameter kecerahan yang terdapat di kedua stasiun bernilai tak terhingga, hal ini disebabkan oleh kedalaman perairan yang dangkal yaitu berkisar antara 0,25 – 0,54 meter sehingga sinar matahari masih dapat menembus hingga ke dasar perairan. Parameter lingkungan lainnya seperti suhu air dan pH masih dalam

kisaran yang baik jika dilihat menurut baku mutu Keputusan Menteri Lingkungan Hidup (2004). Namun, berbeda dengan nilai salinitas air laut di kedua lokasi yang berada dibawah kisaran baku mutu yaitu pada pelabuhan karimunjawa memperoleh nilai salinitas sebesar 30‰ dan pantai pancuran sebesar 31‰. Hal ini disebabkan karena pada saat dilakukannya pengambilan data di lapangan, Pelabuhan Karimunjawa dan Pantai Pancuran sedang dalam keadaan hujan, dimana hujan dapat mempengaruhi nilai salinitas air laut pada saat itu.

Tabel 6. Parameter Lingkungan Perairan

Parameter	Baku Mutu*	Stasiun I	Stasiun II
Suhu Air (°C)	28 - 30	28	30
Derajat			
Keasaman (pH)	7 - 8,5	8	8
Salinitas (‰)	33 - 34	30	31
Kecerahan (%)	-	∞	∞
Kedalaman (m)	-	0,25	0,54
Substrat	-	Pasir dan pecahan karang	Pasir berlumpur dan pecahan karang

*Baku mutu: Kep.MenLH (2004)

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini ditemukan 8 spesies yaitu *E. acoroides*, *C. rotundata*, *C. serrulata*, *T. hemprichii*, *H. minor*, *H. uninervis*, *H. ovalis* dan *S. isoetifolium*. Kerapatan lamun jenis *T. hemprichii* memiliki nilai tertinggi di stasiun I dengan total individu 450 ind/m² dan persentase tutupan sebesar 35,78%. Lamun jenis *C. rotundata* memiliki nilai tertinggi di stasiun II dengan total individu 1204 ind/m² dan persentase tutupan sebesar 65,68%. Estimasi penyerapan karbon dibawah substrat yaitu 12,60 – 93,62 gC/m² sedangkan estimasi penyerapan karbon diatas substrat yaitu 4,19 – 34,12 gC/m². Total stok karbon stasiun I yaitu sebesar 1,28 ton karbon atau sekitar 0,50 ton karbon/ha dan total stok karbon stasiun II yaitu sebesar 2,49 ton karbon atau sekitar 0,73 ton karbon/ha.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ir. Max Rudolf Muskananfolo, M.Sc dan Sigit Febrianto, S. Kel., M.Si yang telah memberikan saran dan masukan bagi penulis dalam penulisan artikel ini. Balai Taman Nasional Karimunjawa atas izin dan pendampingan selama penelitian di lapangan serta semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan sehingga artikel ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Azkab, M. H. 1999. Pedoman Inventarisasi Lamun. Oseana, XXIV (1): 1-16.
- Cahyani, N. F. D., A, Hartoko dan Suryanti. 2014. Sebaran dan Jenis Lamun Pantai Pancuran Belakang Pulau Karimunjawa, Taman Nasional Karimunjawa, Jepara. Diponegoro Journal of Maquares, 3(1): 61-70.
- Christon. 2012. Pengaruh Tinggi Pasang Surut Terhadap Pertumbuhan dan Biomassa Daun Lamun *Enhalus*

- acoroides* di Pulau Pari Kepulauan Seribu Jakarta. J. Universitas Padjajaran, 3(3): 287-294.
- Direktorat Konservasi Kawasan dan Jenis Ikan. 2008. Buku Pedoman Identifikasi Potensi dan Pemantauan Biofisik Kawasan Konservasi Perairan, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Direktorat Jendral Kelautan, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- Duarte, C. M. 1990. Seagrass Nutrient Content. Mar. Ecol. Prog. Ser., 67: 201-207. DOI: 10.3354/meps067201
- Erfteemeijer, P.L.A., R. Osinga and A.E. Mars. 1993. Primary Production of Seagrass Beds in South Sulawesi (Indonesia): A Comparison of Habits, Method and Species. Aquat Bot., 46: 67-90 pp. DOI: 10.1016/0304-3770(93)90065-5
- English, S. C., Wilkinson and V. Baker. 1994. Survey Manual for Tropical Marine Resources. Australian Institute of Marine Science. Townville.
- Fourqurean, J. W., C. M. Duarte., H. Kennedy., N. Marba., M. Holmer., M. A. Mateo., E. Apostolaki., G. A. Kendrick., D. Krause-Jensen., K.J. Mc Glathery and O. Serrano. 2012. Seagrass Ecosystems As a Globally Significant Carbon Stock. Nature Geoscience, pp 1-5. DOI: 10.1038/ngeo1477
- Graha, Y. I., I. W. Arthana dan I. W. G. A. Karang. 2015. Simpanan Karbon Padang Lamun di Kawasan Pantai Sanur, Kota Denpasar. J. Ecotrophic 10(1): 46-53. DOI: 10.24843/EJES.2016.v10.i01.p08
- Harianto. 2005. Inventarisasi Lamun di Kepulauan Karimunjawa: Laporan Kegiatan Inventarisasi Lamun (Seagrass) Balai Taman Nasional Karimunjawa, Juli 2005. Karimunjawa.
- Hartati, R., I. Pratikto dan T. N. Pratiwi. 2017. Biomassa dan Estimasi Simpanan Karbon pada Ekosistem Padang Lamun di Pulau Menjangan Kecil dan Pulau Sintok, Kepulauan Karimunjawa. Buletin Oseanografi Marina, 1(6): 74-81. DOI: 10.14710/buloma.v6i1.15746
- Helrich, K. 1990. Method of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists. Fifteenth Edition. Virginia. DOI: 10.3109/15563657608988149
- Howard, J., S. Hoyt., K. Isensee., M. Telszewski and E. Pidgeon (eds.). 2014. Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes and Seagrasses. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA.
- Hutomo, M., W. Kiswara and M.H. Azkab. 1988. The Status of Seagrass Ecosystems in Indonesia: Resources, Probes, Research and Management. Paper Presented at SEAGRAM I, Manila 17-22 January 1988: 24p.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Cambridge Univ Press. Cambridge. 881p. <https://doi.org/10.1002/joc.763>
- Kawaroe, M. 2009. Perpektif Lamun Sebagai Blue Carbon Sink di Laut. Dalam: Lokakarya Nasional I Pengelolaan Ekosistem Lamun Tanggal 18 November 2009. Jakarta.
- Kennedy, H and M. Bjork. 2009. Seagrasses Meadows, In: Laffoley, D. d'A dan Grimsditch, G. (eds). 2009. The Management of Natural Coastal Carbon Sinks. IUCN. Gland.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51. 2004. Baku Mutu Air Laut. MENLH. Jakarta.
- Khouw, A. S. 2009. Metode dan Analisa Kuantitatif dalam Bioekologi Laut. Pusat Pembelajaran dan Pengembangan Pesisir dan Laut. Jakarta.
- Kusmana, C., S. Sabiham., K. Abe and H. Watanabe. 1992. An Estimation of Above Ground Tree Biomass of A Mangrove Forest in East Sumatra. Tropics 14(4): 143-257. DOI: 10.3759/tropics.1.243
- Lakrum, A. W. D., R. J. Orth and C. M. Duarte. 2006. Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. Spinger. 676 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-2983-7
- McKenzie, L. J., Campbell, S.J and Roder, C. A. 2003. Seagrass-Watch: Manual for Mapping and Monitoring Seagrass Resources by Community (citizen) Volunteers. 2nd Edition. (QFS, NFC, Cairns) 100pp.
- Odum, E. P. 1998. Dasar-Dasar Ekologi. 3rd ed. Universitas Gadjadara, Yogyakarta.
- Pranowo, W. S., N. S. Adi., A. Rustam., T. L. Kepel., B. A. Subki., T. R. Adi dan S. Wirasantosa. 2011. Rencana Strategis Riset Karbon Laut di Indonesia Edisi II – Tahun 2010. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- Risianti, N., Ruswahyuni dan Suryanti. 2014. Hubungan Kelimpahan Epifauna pada Kerapatan Lamun Yang Berbeda di Pantai Pancuran Belakang Pulau Karimunjawa, Jepara. Diponegoro Journal of Maquares 3(4): 34-40.
- Sabine, C. L., R. A. Feely., N. Gruber., R. M. Key., K. Lee., J. L. Bullister., R. Wanninkhof., C. S. Wong., D. W. R. Wallace., B. Tilbrook., F. J. Millero., T. H. Peng. A. Kozyr., T. Ono and A. F. Rios. 2004. The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂. Science, 305: 367-371pp. DOI: 10.1126/science.1097403
- Sulaeman., Suparto dan Eviati. 2005. Petunjuk Teknis Analisis Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian. Bogor.
- Supriadi., R.F. Kaswadji., D.G. Bengen dan M. Hutomo. 2012. Potensi Penyimpanan Karbon Lamun Enhalus *acoroides* di Pulau Baranglombo Makassar. Universitas Hasanuddin Makassar. J. Ilmu Kelautan 19(1): 1–10. DOI: 10.14710/ik.ijms.19.1.1-10
- Tomascik, T., A. J. Mah., A. Nontji and M. K. Moosa. 1997. The Ecology of Indonesian Seas. 2nd ed. The Ecology of Indonesian Series, 752 p. DOI: 10.1086/393445
- UNEP. 2009. Blue Carbon: A Rapid Response Assessment. Environment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, 71 p.
- Wicaksono, S. G., Widianingsih dan S. T. Hartati. 2012. Struktur Vegetasi dan Kerapatan Jenis Lamun di Perairan Kepulauan Karimunjawa Kabupaten Jepara. Journal of Marine Research, 1(2): 1-7.
- Wardah., B. Toknok dan Zulkaidhah. 2009. Persediaan Karbon Tegakan Agroforestri di Zona Penyangga Hutan Konservasi Taman Nasional Lore Lindu, Sulawesi Tengah. Penelitian Strategi Nasional. Universitas Tadulako, Palu. Sulawesi Tengah. <http://dx.doi.org/10.5400/jts.2011.v16i2.123-128>