



Potensi Cadangan dan Serapan Karbon oleh Padang Lamun di bagian Utara dan Timur Pulau Bintan

The Carbon Stock and Potential Uptake of Seagrass Beds in the Northern and Eastern Part of Bintan Island

Andri Irawan

Pusat Penelitian Laut Dalam – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia,

Email: andri.irawan@lipi.go.id

Submitted 1 August 2017. Reviewed 21 October 2017. Accepted 5 December 2017

Abstrak

Padang lamun adalah vegetasi tumbuhan laut yang memiliki potensi besar dalam mengurangi dampak emisi karbondioksida di lingkungan. Akan tetapi, informasi mengenai potensi ini masih terbatas sehingga padang lamun masih kurang mendapat perhatian. Oleh karena itu, pada April 2016 telah dilakukan penelitian untuk memperkirakan potensi cadangan dan serapan karbon di dua lokasi di Pulau Bintan, yaitu di bagian utara (Desa Pengudang) dan bagian timur (Teluk Bakau). Perkiraan cadangan karbon pada kegiatan ini dilakukan dengan pengamatan kerapatan lamun, sedangkan serapan karbon diukur berdasarkan laju produksi/pertumbuhannya. Berdasarkan pengamatan, potensi cadangan karbon oleh padang lamun di kedua lokasi berada pada nilai yang hampir sama yaitu 133,24 gC/m² (di utara) dan 133,71 gC/m² (di timur). Walaupun demikian, serapan karbon (karbondioksida) yang digunakan oleh lamun untuk memproduksi daun lebih tinggi di bagian timur dengan nilai 0,50 gC/h/m² dibandingkan di utara sebesar 0,10 gC/h/m². Dari laju produksi tersebut, laju karbon yang tersimpan di padang lamun adalah 0,0630 gC/h/m² di bagian utara dan 0,3375 gC/h/m² di bagian timur. Dengan demikian, area padang lamun di bagian timur Pulau Bintan (Teluk Bakau) memiliki potensi cadangan dan tingkat serapan karbon yang lebih besar daripada di bagian utara (Pengudang).

Kata kunci: *standing stock*, produktivitas, karbon, padang lamun, Bintan

Abstract

Seagrass is marine plant vegetation which have large potention on reducing carbondioxide emission effects in the environment. Nevertheless, the information about this potention is still limited, so the seagrass beds are still having less attention. Therefore, in April 2016 a research has done to estimate the potential of carbon stock and uptake at two location in Bintan Island, that were in the northern part (Pengudang Village) and in the eastern part (Teluk Bakau). Carbon stock estimation done by observing the seagrass density, meanwhile the carbon uptake by seagrasses was measured based on their growth/production rate. Its was known from the observation that the carbon stock potention of seagrass beds in both locations were almost at the same value, which were 133.24 gC/m² (in the northern side) and 133.71 gC/m² (in the eastern side). Nevertheless, the uptake of carbon (carbondioxide) which is used by segrass to produce leaves was higher

in the eastern side at 0.50 gC/d/m² than in the northern side at 0.10 gC/d/m². From that productivity, the carbon storage rate by seagrass beds are 0.0630 gC/d/m² in the north and 0.3375 gC/d/m² in the east. Thus, seagrass bed area in the eastern side of Bintan Island (Teluk Bakau) was having higher carbon stock and uptake potential than in the northern side (Pengudang).

Keywords: standing stock, productivity, carbon, seagrass beds, Bintan

Pendahuluan

Seiring perkembangan peradaban manusia, terutama sejak dimulainya revolusi industri, telah terjadi peningkatan kadar karbondioksida (CO₂) di alam akibat bertambahnya emisi terutama dari pembakaran bahan bakar dan biomassa (IPCC 2007; Sunquist et al. 2008; Samiaji 2011). Meningkatnya CO₂ di udara menyebabkan bertambahnya akumulasi gas-gas rumah kaca yang mengakibatkan terjadinya pemanasan global (Goel dan Bhatt, 2012). Fenomena ini diyakini telah memicu perubahan iklim yang dampaknya sangat luas, antara lain meningkatnya frekuensi suhu ekstrim, banjir, topan, badai, kekeringan dan naiknya permukaan laut (Brath et al. 2015). Selain itu, lingkungan laut juga akan terkena dampak negatif berupa meningkatnya keasaman air laut (Sunquist et al. 2008) karena CO₂ berikatan dengan air laut dan menimbulkan reaksi yang menyebabkan penurunan pH air laut dan konsentrasi ion karbonat (Wang dan Chameides 2005; Makarow et al. 2009). Karbonat ini sangat penting bagi beberapa biota laut untuk membentuk kerangka tubuhnya, seperti koral, kerang, tiram, kepiting dan lobster (Harrould-Kolieb et al. 2010).

Dalam siklus karbon, mekanisme alami untuk mengurangi CO₂ di alam adalah melalui proses fotosintesis oleh vegetasi (Sunquist et al. 2008; Bala 2014). Melalui fotosintesis, CO₂ akan diikat dan diubah menjadi biomassa dalam bentuk organ tubuh ataupun cadangan makanan (Harris dan Feriz 2011). Biomassa ini kemudian akan masuk dalam jaring makanan melalui proses herbivori (Diaz-Pulido dan McCook 2008; Madsen 2014) maupun dekomposisi (Trancoso 2002; Lembi 2014). Dengan demikian, tumbuhan berperan penting dalam mengurangi pemanasan global dan pengasaman laut serta menjadi produsen yang sangat berguna bagi organisme lain dalam jaring makanan.

Pada lingkungan laut dan pesisir, tumbuhan yang ada tidak sebanyak di daratan, bahkan cakupannya hanya <2% dari area permukaan lautan (Duarte et al. 2005). Meskipun demikian, tumbuhan yang ada seperti mangrove,

lamun, makroalga, vegetasi rawa payau dan fitoplankton berperan penting dalam menyerap CO₂ (Duarte et al. 2005; Harrould-Kolieb et al. 2010). Mangrove menyerap CO₂ yang ada di udara sebagaimana tumbuhan darat lainnya, sedangkan CO₂ yang ada di dalam air diserap oleh lamun, makroalga dan fitoplakton (Lembi 2014). Makroalga dan fitoplakton bersifat dinamis, mengikuti perubahan kualitas air dan tekanan lingkungan (Trancoso 2002; Devlin et al. 2012) sehingga kelimpahannya sering berubah sepanjang waktu. Sebaliknya, lamun sifatnya lebih stabil sehingga membentuk ekosistem padang lamun di pesisir yang didiami oleh berbagai biota lainnya.

Dalam ekosistem padang lamun, tumbuhan lamun merupakan komponen biotik yang bersifat autotrof (*autotroph*) (Gopal dan Bhardwaj 1979). Sebagai organisme autotrof, lamun memiliki kemampuan fotosintesis untuk menghasilkan materi organik baru. Proses ini disebut juga sebagai produksi primer (Azkab 2000). Laju produksi (produktivitas) lamun memiliki nilai tertinggi di daerah tropis dibanding daerah lainnya (Dawes 1981). Dengan demikian, vegetasi lamun sangat penting keberadaannya di daerah tropis karena selain berperan dalam penyerapan CO₂, hasil fiksasi karbon ini sebagian besar memasuki rantai makanan di laut, baik melalui herbivori yang dilanjutkan dengan pemangsaan oleh tingkat trofik di atasnya maupun melalui proses dekomposisi sebagai serasah (Hutomo dan Azkab 1987).

Semakin terasanya dampak peningkatan CO₂ oleh manusia mengakibatkan juga meningkatnya kesadaran akan pentingnya organisme autotrof dalam menyerap CO₂ dan mengubahnya jadi cadangan karbon yang lebih bersahabat bagi kehidupan manusia (Bala 2014), salah satu contohnya adalah kebijakan adaptasi pemanasan global melalui pendekatan manajemen ekosistem seperti penghutanan kembali, infrasuktur hijau dan penanaman kembali mangrove (Brath et al. 2015). Akan tetapi, sejauh ini perhatian lebih banyak tertuju pada tumbuhan di darat daripada di laut (Duarte et al. 2013). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh masih kurangnya informasi ilmiah yang menunjukkan pentingnya tumbuhan laut dalam

menyerap CO₂ dan mengubahnya jadi cadangan karbon, terutama oleh vegetasi lamun (Duarte et al. 2005). Saat ini hanya strategi karbon biru (*blue carbon*) yang berupaya mengeksplorasi potensi vegetasi laut dalam mitigasi perubahan iklim (Duarte et al. 2013). Oleh sebab itu, penelitian yang mengkaji potensi stok dan serapan karbon oleh tumbuhan laut (terutama lamun) perlu senantiasa dilakukan untuk memperkaya informasi penyerapan karbon oleh ekosistem laut. Berdasarkan hal tersebut, pada April 2016 telah dilakukan penelitian di Pulau Bintan bagian utara dan timur dengan tujuan untuk mengukur potensi stok dan serapan karbon di ekosistem lamun, sebagai bagian dari salah satu program unggulan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dengan topik mitigasi perubahan iklim berbasis potensi vegetasi kawasan dalam penyerapan karbon.

Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan pada 24 – 30 April 2016 di pesisir utara (Desa Pengudang) dan timur (Teluk Bakau) Pulau Bintan (Gambar 1). Perkiraan cadangan karbon pada kegiatan ini dilakukan dengan pengamatan kerapatan lamun, sedangkan serapan karbon diukur berdasarkan laju produksinya, karena potensi serapan karbon di tanah pesisir terkait dengan produktivitas dan biomassa tumbuhan (Armitage dan Fourqurean 2016).

Perkiraan cadangan karbon

Cadangan karbon dihitung melalui penghitungan *standing stock* berdasarkan nilai kerapatan lamun dan biomasanya. Kerapatan jenis lamun dihitung dengan cara sub sampel pada bingkai berukuran 1x1 m² (Gambar 2). Kerapatan hanya dihitung pada kotak berlabel 1, 2, 3, 4, dan 5 untuk setiap jenis. Kerapatan tiap jenis lamun dihitung sebagai jumlah taruk (*shoot*) jenis tersebut dibagi luas sampling lamun sehingga satuannya adalah taruk/m².

Pengukuran biomassa dilakukan dengan metode pemanenan dan sub sampel. Setiap jenis lamun diambil sebanyak minimal 5 taruk. Satu taruk didefinisikan sebagai satu tunas (daun) dan satu segmen rimpang dan akar sehingga setiap taruk memiliki tiga bagian yaitu daun (ditambah seludang bila ada), rimpang dan akar. Jumlah taruk yang diambil sebagai sampel dicatat. Sampel kemudian dikeringkan pada suhu 60° C sampai mencapai berat konstan sehingga diperoleh bobot kering (BK) untuk daun, rimpang, dan akar. Selanjutnya, biomassa kering setiap jenis per taruk dapat diketahui. Kemudian,

biomassa per satuan luas diperoleh dari perkalian jumlah kerapatan per unit luas dan biomassa per taruk.

Pengamatan dan pengukuran kerapatan dan *standing stock* lamun di Pulau Bintan bagian utara dan timur dilakukan pada 4 titik di kedua lokasi. Sedikitnya titik pengamatan disebabkan kurang idealnya kondisi pasang surut sehingga penentuan titik berdasarkan pada perbedaan karakteristik padang lamunnya. Dengan demikian, pada P. Bintan bagian utara (Pengudang) hanya diambil 1 titik karena padang lamunnya cenderung seragam sedangkan pada bagian timur (Teluk Bakau) diambil 3 titik karena ditemui karakter padang lamun yang berbeda.

Perkiraan serapan karbon

Serapan karbon oleh padang lamun ditaksir dengan menggunakan pendekatan pengukuran laju produksi oleh lamun sebagai hasil konversi karbon oleh proses fotosintesis. Terdapat beberapa parameter yang perlu diukur yaitu laju pertumbuhan daun, laju pertumbuhan rimpang, dan laju produksi serasah.

Laju pertumbuhan daun

Pengukuran pertumbuhan daun lamun dilakukan dengan menggunakan metode penandaan daun (Short dan Duarte 2001). Pertumbuhan daun diamati pada jenis lamun yang dominan *standing stock*-nya (pada penelitian ini adalah *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii*) minimal pada 5 taruk, dalam kurun waktu tiga hari.

Untuk pelaksanaan di lapangan, pertamanya kertas label diberi nomor dan dilubangi, kemudian dipasangkan dengan tali rafia/nylon kecil ke sumpit. Sumpit yang sudah berlabel ditancapkan ke dalam tanah dekat lamun yang akan diukur pertumbuhannya. Sumpit ditancapkan hingga ujung atasnya berada di antara seludang dan daun. Kemudian pada bagian daun yang sejajar dengan ujung atas sumpit dilubangi (Gambar 3). Untuk mempermudah menemukan lokasi ketika panen, koordinat tiap lamun yang ditandai/dilubangi dicatat atau disimpan dalam perangkat GPS. Setelah 3 hari, tepat pada bagian daun di atas sumpit digunting dan sampel dimasukkan ke dalam plastik sampel.

Selanjutnya, antara bagian dasar daun yang dipotong dengan lubang penanda/*tagging* dipotong (daun yang tumbuh) per helai daun dihitung panjang pertumbuhannya. Daun dalam satu taruk, kemudian disatukan dan dimasukkan ke dalam kertas samson dan diberi label. Di laboratorium, daun dikeringkan pada suhu 60° C sampai mencapai berat konstan.

Laju pertumbuhan rimpang

Pertumbuhan rimpang diukur pada minimal 5 ujung rimpang *Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides*. Pada ujung rimpang dipasang kawat atau *cable ties*. Setelah tiga hari, rimpang, akar, dan tunas yang tumbuh setelah penanda (kawat/*cable ties*) digunting, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label (Gambar 4). Setelah itu, setiap taruk baru diukur panjang rimpangnya dan jumlah tunasnya. Kemudian, dibagi berdasarkan rimpang, akar, dan tunas baru (daun dan seludang daun). Setiap komponen dimasukkan ke dalam kertas samson dan diberi label.

Laju produksi serasah

Produksi serasah daun lamun diukur dengan menggunakan perangkap (jaring) serasah yang berbentuk kotak dengan luas alas 0,5 x 0,5 m² dan tinggi 1,5 m serta mata jaring ukuran 2 x 3 mm (Gambar 5), dengan waktu pemasangan perangkap selama 3 hari (sampel serasah diambil pada hari ke tiga). Sebanyak tiga buah jaring diletakan tegak lurus garis pantai pada padang lamun di kedua lokasi yaitu di tempat dangkal (kedalaman ketika surut sekitar 0,5 m), sedikit dalam (kedalaman ketika surut sekitar 1 m) dan lebih dalam (kedalaman ketika surut sekitar 1-1,5 m).

Pada pelaksanaan di lapangan, setelah patok besi ditancapkan dan jaring setengah dipasang, dasar sedimen lamun dibersihkan dahulu dari serasah yang sudah ada dan juga makrobenthos. Setelah itu, jaring dipasang hingga menutupi seluruh kotak. Tiga hari kemudian, serasah dipanen kemudian dibedakan berdasarkan jenisnya. Setelah itu serasah di dikeringkan pada suhu 60° C hingga beratnya konstan

Analisa kandungan karbon dilakukan terhadap sampel lamun yang telah dikeringkan. Sampel biomassa kering dikirimkan pada Laboratorium Departemen Ilmu Tanah dan

Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB. Sampel dianalisis kandungan karbon organiknya dengan metode LOI (*Loss of Ignition*) (Fourqurean et al. 2014). Untuk sampel yang terlalu sedikit untuk dianalisis maka dilakukan konversi dari pustaka, antara lain dari (Lindeboom dan Sandee 1989; Nienhuis et al. 1989; Mariani dan Alcoverro 1999; Supriadi 2012; Rahmawati dan Prayuda 2014).

Potensi penyimpanan karbon

Selain potensi penyerapan karbon, berdasarkan data yang diperoleh dapat pula diperkirakan kemampuan penyimpanan karbon oleh padang lamun. Kemampuan ini ditentukan berdasarkan persamaan neraca massa karbon sebagai berikut :

$$NPP = D + H + E + S \quad (\text{Duarte dan Cebrian 1996})$$

Keterangan:

NPP = *Net primary production* (produksi primer bersih)

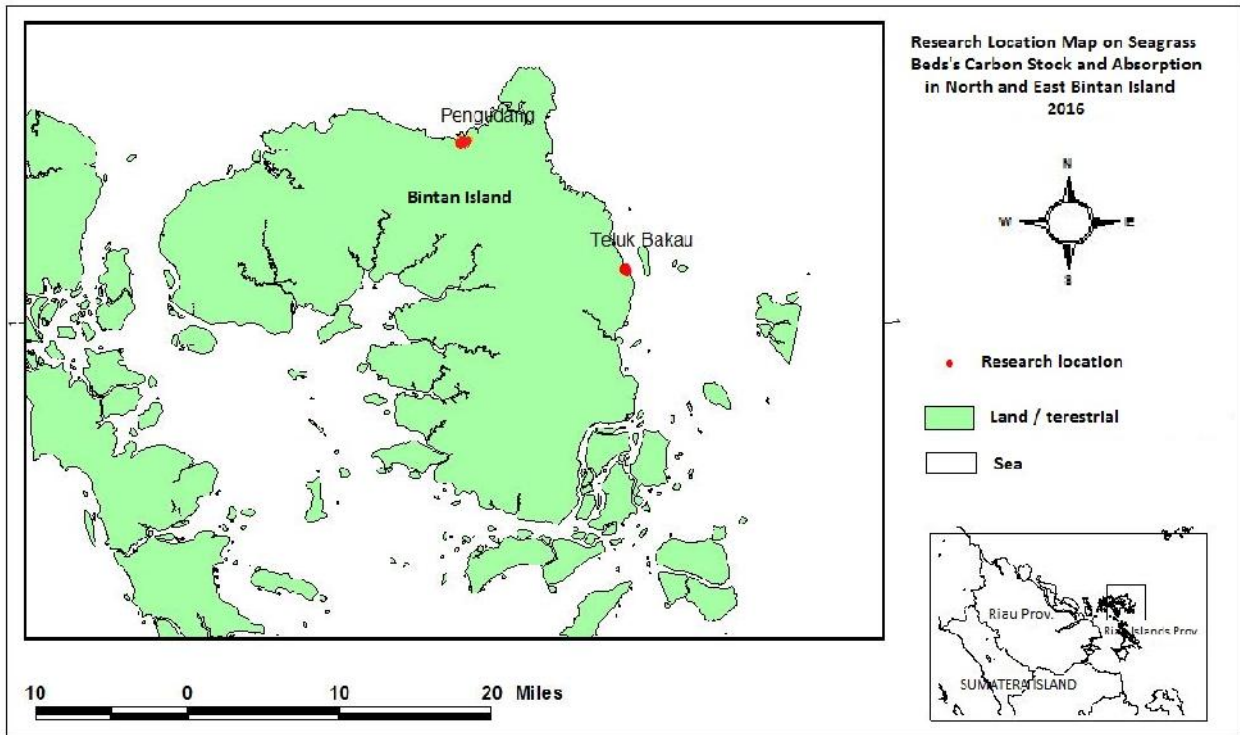
D = *Decomposition* (karbon yang terdekomposisi)

H = *Herbivory* (karbon yang dikonsumsi oleh herbivora)

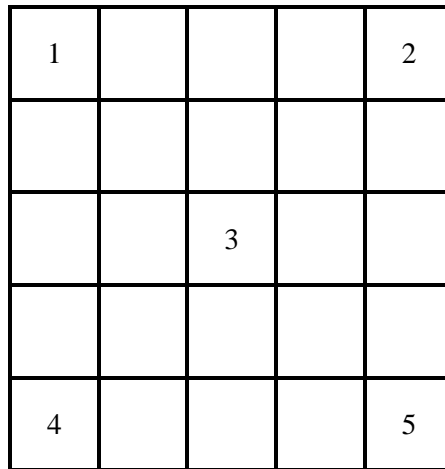
E = *Export* (karbon yang di ekspor keluar sistem)

S = *Storage* (potensi penyimpanan karbon di dalam ekosistem)

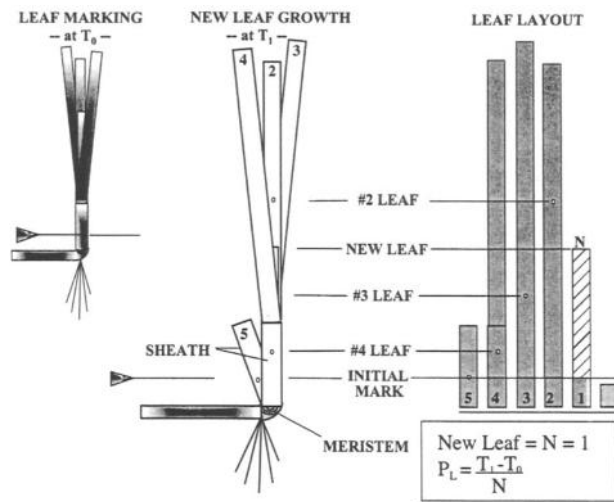
NPP diasumsikan sebagai jumlah karbon bersih yang diserap oleh lamun, sudah dikurangi oleh kebutuhan aktivitas lamun. Nilai NPP diperoleh dari produktivitas/pertumbuhan komponen daun dan rimpang, sedangkan D + E merupakan komponen lamun yang terdekomposisi dan mengalami ekspor ke luar dari sistem, dalam hal ini produksi serasah. Nilai karbon yang dikonsumsi oleh herbivora ditentukan sebanyak 18,6% dari NPP (Duarte dan Cebrian 1996). Selisih jumlah karbon yang diserap (NPP) dengan penjumlahan karbon yang dilepaskan (faktor D, H, dan E) menghasilkan nilai S yaitu karbon yang tersimpan.



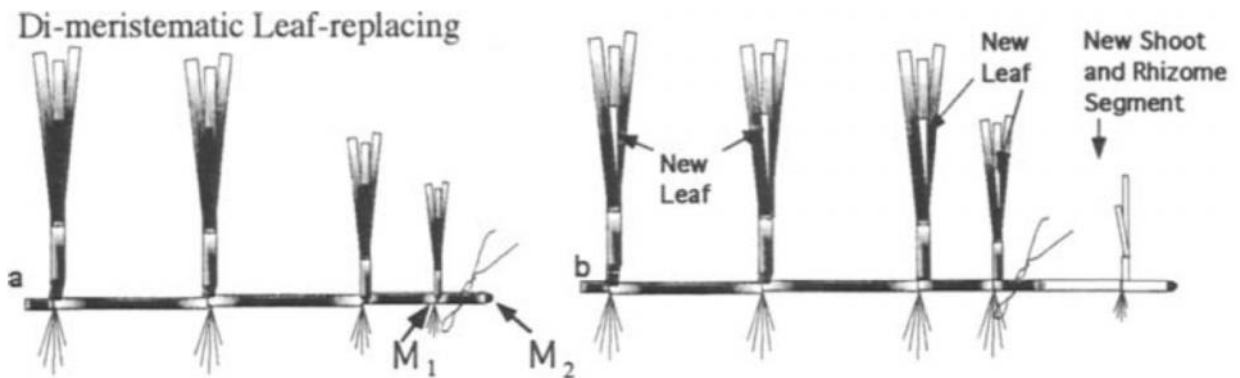
Gambar 1. Peta titik sampling lamun di P. Bintan
 Figure 1. Seagrass sampling locations in Bintan Island



Gambar 2. Kotak perhitungan sampel kerapatan dalam bingkai 1x1 m
 Figure 2. Density counting boxes inside a 1x1 m² frame



Gambar 3. Ilustrasi metode penandaan pada pengukuran produktivitas daun lamun (Short dan Duarte 2001)
 Figure 3. Leaf marking method on leaf productivity measurement (Short and Duarte 2001)



Gambar 4. Ilustrasi pengukuran pertumbuhan rimpang pada lamun berdaun seperti pita (Short dan Duarte 2001). Keterangan: a = pemasangan penanda di ujung rimpang pada hari ke-0, b = hari ke-n ketika rimpang telah memanjang dari batas penanda dan taruk baru telah muncul, M = area tumbuh (meristem)
 Figure 4. Rhizome growth measurement illustration on ribbon like leaves seagrasses (Short and Duarte 2001). Notes: a = marker installation at day 0, b = the n days when rhizome has elongated from marker and new shoot has appeared, M = meristem area



Gambar 5. Perangkap serasah (LT) lamun dengan luas alas 0,5 x 0,5 m
Figure 5. Seagrass litter trap (LT) with base dimension of 0.5 x 0.5 m

Hasil

Cadangan karbon

Pada pengamatan dalam frame kuadrat 1 x 1 m² pada titik-titik yang berhasil diamati, ditemui enam jenis lamun yaitu *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, *Halophila ovalis*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata* dan *Syringodium isoetifolium*. Selain itu, terdapat jenis *Halodule uninervis* yang banyak terdapat di tepi pantai dan *Thalassodendron ciliatum* yang terdapat dekat tubir namun tidak ditemui di frame kuadrat pengamatan.

Hasil penghitungan kerapatan (Tabel 1) menunjukkan bahwa di bagian utara lamun dengan kerapatan tertinggi adalah *Syringodium isoetifolium* (95,00 taruk/m²) sedangkan di bagian timur adalah *Thalassia hemprichii* (96,67 taruk/m²). Akan tetapi, kerapatan yang tinggi tersebut tidak disertai dengan nilai *standing stock* (Tabel 2) yang tinggi juga. Nilai *standing stock* tertinggi di kedua lokasi dimiliki oleh *Enhalus acoroides* sebesar 102,20 gC/m² (di utara) dan 105,77 gC/m² (di timur).

Nilai total *standing stock* lamun sebagai penunjuk potensi cadangan karbon oleh padang lamun di kedua lokasi berada pada tingkat yang hampir sama yaitu 133,24 gC/m² (utara) dan 133,71 gC/m² (timur). Walaupun kerapatan di Teluk Bakau lebih rendah daripada di Pengudang namun dengan kerapatan *Enhalus* yang jauh lebih tinggi di Teluk Bakau menyebabkan *standing stock* di lokasi ini menjadi hampir sama (Tabel 2).

Morfologi *Enhalus acoroides* dengan daunnya yang lebar dan panjang menyebabkan lebih banyak biomassa yang dapat disimpan dalam satu taruknya

Serapan karbon

Laju pertumbuhan (produktivitas) daun

Produktivitas daun dan rimpang dilakukan pada dua jenis lamun yang lebih dominan yaitu *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii* di kedua stasiun. Sebanyak 5 kumpulan daun (5 taruk) ditandai untuk kedua jenis lamun.

Pada saat pemanenan, beberapa kumpulan daun *Thalassia hemprichii* yang telah ditandai tidak dapat ditemukan. Di lokasi utara (Pengudang) semua daun *T. hemprichii* yang telah ditandai tidak dapat ditemukan kembali sehingga data pertumbuhan daunnya menjadi hilang. Di lokasi timur hanya ditemukan dua daun yang telah ditandai. Sulitnya menemukan kembali daun tersebut kebanyakan karena hilangnya penanda (sumpit) yang tujuannya untuk mempermudah pencarian.

Nilai rata-rata produktivitas daun dan rimpang untuk masing-masing jenis di kedua lokasi dapat dilihat pada Tabel 3. Lamun jenis *Enhalus acoroides* memiliki rata-rata produktivitas daun empat kali lebih besar dibanding *Thalassia hemprichii* untuk satu taruknya. Dari data tersebut dapat diperkirakan bahwa untuk setiap *E. acoroides* pada area 1 m² dalam satu hari menyerap CO₂ dan mengubahnya menjadi biomassa daun sebanyak 0,10 gram

karbon di lokasi utara sedangkan di timur sebanyak 0,41 gram. Sedangkan untuk *T. hemprichii* pada area 1 m² dalam satu hari setidaknya mengubah CO₂ menjadi biomassa daun sebanyak 0,10 gram karbon

Laju konsumsi oleh herbivora

Berdasarkan nilai produktivitas pada Tabel 3, dapat diperkirakan juga laju konsumsi oleh herbivora dengan nilai konversi 18,6% dari NPP (Duarte dan Cebrian 1996). Padang lamun di lokasi timur diperkirakan memiliki laju konsumsi oleh hewan herbivora sebesar 0,0939 gC/h/m² sedangkan di bagian utara sebesar 0,0193 gC/h/m² (Tabel 4).

Laju produksi serasah

Berdasarkan sampel dan data dari jaring perangkap, diperoleh serasah dari tiga jenis lamun (Tabel 5). Data serasah ini bisa memberikan perkiraan berapa biomassa (yang berisi karbon) yang dilepas oleh lamun dalam bentuk serasah dalam satu meter persegi perharinya. Serasah ini kemudian akan dimanfaatkan oleh biota lain sebagai makanannya atau mengendap ke dalam substrat. *Enhalus acoroides* memiliki rata-rata produktivitas serasah terbesar di kedua lokasi dengan nilai 0,0214 (di utara) dan 0,0411 (di timur) gram karbon per hari per meter persegi diikuti oleh *Thalassia hemprichii* (0,0106 dan 0,0324 gC/h/m²). Hal ini menunjukkan produktivitas serasah di bagian timur P. Bintan

lebih besar dibanding di bagian utara, selaras dengan perbandingan nilai produktivitas daun.

Penyimpanan karbon

Perkiraan biomassa tersimpan dihitung dalam penelitian ini hanya bisa dihitung untuk jenis *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii* saja karena untuk jenis lamun lainnya memerlukan waktu penelitian lapangan yang lebih panjang. Walaupun demikian, kedua jenis lamun tersebut sangat dominan dalam hal *standing stock* (Tabel 2) sehingga bisa mewakili gambaran padang lamun yang ada di kedua lokasi.

Berdasarkan perhitungan neraca massa karbon yaitu biomassa tersimpan merupakan selisih antara biomassa yang dihasilkan (produktivitas daun) dengan biomassa yang keluar (herbivori dan produktivitas serasah), maka rata-rata biomassa yang tersimpan ditampilkan pada Tabel 6. Nilai biomassa tersimpan oleh *Thalassia hemprichii* di Pengudang tidak dapat ditampilkan karena nilai produktivitasnya tidak diperoleh akibat sampel tidak ditemukan, sehingga bila dimasukkan dalam persamaan akan menghasilkan nilai negatif untuk biomassa tersimpannya. Berdasarkan data yang ada, padang lamun di Teluk Bakau kembali memiliki nilai karbon tersimpan yang lebih besar daripada di Pengudang yaitu 0,337 gC/h/m² dibanding 0,063 gC/h/m².

Tabel 1. Rata-rata kerapatan lamun (taruk/m²) di P. Bintan bagian utara dan timur

Table 1. Seagrass density average (shoots/m²) in the northern and eastern part of Bintan Island

| Species | Density averages (shoots/m ²) | |
|---------------------------------|---|--------------------|
| | North (Pengudang) | East (Teluk Bakau) |
| <i>Enhalus acoroides</i> | 25.00 | 81.67 |
| <i>Thalassia hemprichii</i> | 85.00 | 96.67 |
| <i>Halophila ovalis</i> | 0.00 | 11.67 |
| <i>Cymodocea rotundata</i> | 50.00 | 0.00 |
| <i>Cymodocea serrulata</i> | 10.00 | 5.00 |
| <i>Syringodium isoetifolium</i> | 95.00 | 0.00 |
| Total | 265.00 | 195.00 |

Tabel 2. Standing stock (biomassa yang terkumpul) lamun di Pulau Bintan bagian utara dan timur dalam satuan gram karbon per meter persegi (gC/m²)Table 2. Seagrasses standing stock (gathered biomass) in the northern and eastern part of Bintan Island in gram carbon per square meter (gC/m²) unit.

| Species | Standing stock averages (gC/m ²) | |
|---------------------------------|--|--------------------|
| | North (Pengudang) | East (Teluk Bakau) |
| <i>Enhalus acoroides</i> | 102.20 | 105.77 |
| <i>Thalassia hemprichii</i> | 22.83 | 27.46 |
| <i>Halophila ovalis</i> | 0.00 | 0.12 |
| <i>Cymodocea rotundata</i> | 5.96 | 0.00 |
| <i>Cymodocea serrulata</i> | 0.61 | 0.36 |
| <i>Syringodium isoetifolium</i> | 1.64 | 0.00 |
| Total | 133.24 | 133.71 |

Tabel 3. Rata-rata produktivitas daun (gC/h/m²) *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii*Table 3. Leaves productivity averages (gC/d/m²) of *Enhalus acoroides* and *Thalassia hemprichii*

| Species | Leaves productivity averages (gC/d/m ²) | |
|-----------------------------|---|--------------------|
| | North (Pengudang) | East (Teluk Bakau) |
| <i>Enhalus acoroides</i> | 0.10 | 0.41 |
| <i>Thalassia hemprichii</i> | -dl- | 0.10 |
| Total | 0.10 | 0.50 |

Note: -dl- = data loss, gC/d/m² = gram per days per meter squareTabel 4. Rata-rata laju konsumsi oleh herbivora (gC/h/m²) *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii*Table 4. Herbivory rate averages (gC/d/m²) of *Enhalus acoroides* and *Thalassia hemprichii*.

| Species | Herbivory averages (gC/d/m ²) | |
|-----------------------------|---|--------------------|
| | North (Pengudang) | East (Teluk Bakau) |
| <i>Enhalus acoroides</i> | 0.0193 | 0.0757 |
| <i>Thalassia hemprichii</i> | -dl- | 0.0182 |
| Total | 0.0193 | 0.0939 |

Note: -dl- = data loss, gC/d/m² = gram per days per meter squareTabel 5. Rata-rata produktivitas serasah (gC/h/m²) lamun di kedua lokasiTable 5. Seagrass litter productivity averages (gC/d/m²) in both locations

| Species | Litter productivity (gC/d/m ²) | |
|---------------------------------|--|--------------------|
| | North (Pengudang) | East (Teluk Bakau) |
| <i>Enhalus acoroides</i> | 0.0214 | 0.0411 |
| <i>Thalassia hemprichii</i> | 0.0106 | 0.0324 |
| <i>Halodule uninervis</i> | 0.0043 | |
| <i>Syringodium isoetifolium</i> | 0.0045 | 0.0340 |
| Total | 0.0408 | 0.1075 |

Tabel 6. Perkiraan rata-rata biomassa (karbon) yang tersimpan di padang lamun.
Table 6. Estimation of stored seagrass biomass (carbon) averages in seagrass beds

| Stored seagrass biomass average (gC/d/m ²) | | |
|--|-------------------|--------------------|
| Species | North (Pengudang) | East (Teluk Bakau) |
| <i>Enhalus acoroides</i> | 0.063 | 0.290 |
| <i>Thalassia hemprichii</i> | -uc- | 0.047 |
| total | 0.063 | 0.337 |

Note: -uc- = uncounted because the biomass is too small to measure

Pembahasan

Dalam penelitian ini dijumpai enam spesies lamun yang berada dalam bingkai pengamatan dan dua spesies lamun yang berada di luar bingkai pengamatan, sehingga secara total terdapat delapan spesies lamun yang dijumpai di lapangan. dari delapan spesies tersebut, terdapat satu spesies yang berada di luar sebaran umumnya di Indonesia yaitu *Thalassodendron ciliatum*. Awalnya spesies ini hanya ditemui di area Indonesia bagian timur (den Hartog 1970; Kiswara dan Hutomo 1985), akan tetapi, dengan dijumpainya spesies ini di Bintan maka spesies ini sebarannya juga ada di bagian barat Indonesia.

Dalam perhitungan stok karbon teramati bahwa padang lamun yang kerapatannya lebih tinggi tidak berarti memiliki *standing stock* atau biomassa yang lebih tinggi juga. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan morfologi daun tiap jenis lamun yang dapat mempengaruhi kerapatannya (Kiswara dan Winardi 1994). Lamun berukuran besar seperti *Enhalus acoroides* memiliki biomassa yang besar untuk satu taruknya, sehingga walaupun kerapatannya rendah, kandungan biomasnya tinggi. Sebaliknya lamun yang berukuran lebih kecil memiliki biomassa yang rendah untuk satu taruknya, sehingga walaupun kerapatannya tinggi, kandungan biomasnya rendah. Dengan demikian, padang lamun yang didominasi spesies lamun berukuran besar seperti *Enhalus acoroides* cenderung memiliki potensi cadangan karbon yang lebih besar dibandingkan padang lamun yang didominasi spesies lamun berukuran kecil.

Pada penelitian ini diperoleh cadangan karbon dalam vegetasi lamun (biomassa/*standing stock*) di kedua lokasi sebesar 133,24 – 133,71 gC/m² (Tabel 2). Bila dibandingkan dengan penelitian serupa di lokasi lain, nilai ini lebih rendah daripada cadangan karbon di Pulau Pari, Jakarta, yaitu sebesar 200,5 gC/m² (Rahmawati

2011), namun lebih tinggi daripada di Pantai Sanur Bali sebesar 21 gC/m² (Graha 2015). Akan tetapi, penelitian di P. Pari dilaksanakan pada bulan Juni 2010 dan di Pantai Sanur pada Juni-Februari sehingga perbedaan kondisi musim perlu dipertimbangkan lebih jauh.

Produktivitas lamun di dua lokasi ini dapat dikatakan di bawah perkiraan (*underestimation*) karena hanya diukur dari dua jenis lamun, sebagian data hilang dan pertumbuhan rimpang tidak terukur. Walaupun demikian, rentang produktivitasnya (0,1 – 0,5 gC/h/m²) masih lebih besar dari hasil penelitian di sekitar Laut Flores yaitu sebesar 0,1-0,3 gC/h/m² (Lindeboom dan Sandee 1989). Akan tetapi, di area sebelah utara Laut Flores yaitu di Selat Makassar (tepatnya di P. Baranglombo), produktivitas lamun bisa berkisar dari 0,206 – 1,528 gC/h/m² (Supriadi 2012) sehingga lebih tinggi dari nilai di Bintan pada penelitian ini.

Penelitian produktivitas lamun telah dilakukan juga di lokasi lain di Indonesia, antara lain di Lombok, Riau dan Jakarta. Bila nilai produktivitas daun (dalam satuan berat kering) *Enhalus acoroides* di kedua lokasi ini dibandingkan dengan data dari lokasi lainnya, maka lajunya hampir setara dengan di Teluk Kuta, Lombok yaitu 0,834 – 1,058 gBK/h/m² (Azkab 1996) namun lebih rendah daripada di P. Mapor, Kepulauan Riau yaitu 0,43 – 1,92 gBK/h/m² (Kiswara 1997) dan Pulau Pari, Jakarta yaitu 3,368 gBK/h/m² (Azkab 1998). Penelitian lebih luas terkait kondisi lingkungan perlu dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor yang berperan dalam menentukan produktivitas di tiap lokasi.

Berdasarkan keterangan dari warga sekitar, kondisi lamun saat penelitian dilakukan (bulan April) tidak selebat biasanya. Dengan kondisi ini, ada kemungkinan cadangan dan serapan karbon oleh lamun di bulan-bulan lainnya bisa lebih besar dari hasil perhitungan pada penelitian ini.

Pada monitoring jangka panjang terhadap padang lamun di dekat Bintan yaitu di Singapura telah diketahui bahwa lamun nampaknya memiliki pola pertumbuhan unimodal sepanjang tahunnya, yaitu terdapat puncak pertumbuhan pada akhir periode peralihan musim sebelum permulaan musim muson barat daya (McKenzie et al. 2016), dalam hal ini sekitar bulan Mei dan Juni. Dengan jarak dengan Singapura relatif dekat, kemungkinan pola pertumbuhan lamun di Pulau Bintan juga memiliki pola yang mirip sehingga cadangan dan serapan karbon pada bulan Mei dan Juni kemungkinannya akan lebih besar. Penelitian lain pada waktu dan kondisi musim yang berbeda diperlukan untuk memverifikasi kemungkinan tersebut.

Pada September 2014 telah dilakukan kajian aliran karbon di tiga lokasi di Pulau Bintan yaitu di Berakit, Malang dan Teluk Bakau (Wahyudi et al. 2016). Dengan adanya satu lokasi yang sama yaitu di Teluk Bakau maka dapat dibandingkan situasi aliran karbon pada bulan atau bahkan pada musim yang berbeda, karena pada penelitian tersebut dilakukan pada musim kemarau sedangkan pada penelitian ini dilakukan pada musim hujan. Beberapa aspek yang dapat dibandingkan dengan penelitian tersebut adalah mengenai cadangan karbon (biomassa) pada *Enhalus acoroides* dan produktivitas daun (NPP) di lokasi Teluk Bakau (Tabel 7). Berdasarkan perbandingan tersebut, dapat diketahui bahwa sebagian besar data tahun 2014 nilainya lebih besar daripada data tahun 2016. Hal ini memperkuat dugaan bahwa stok dan serapan karbon akan lebih besar pada bulan setelah April, sebagaimana yang terjadi di pulau tetangga yaitu Singapura (McKenzie et al. 2016).

Dinamika kondisi stok dan serapan karbon pada periode yang berbeda bisa berkaitan dengan musim yang terjadi. Pada saat musim hujan, awan terbentuk lebih banyak sehingga mengurangi cahaya matahari yang masuk (McKenzie et al. 2016). Selain itu, pada musim ini biasanya sedimen yang datang dari darat lebih banyak masuk ke padang lamun karena dibawa *runoff* air hujan, sehingga meningkatkan kekeruhan perairan. Dua hal ini berperan dalam mengurangi intensitas cahaya matahari yang dibutuhkan oleh proses fotosintesis. Beberapa penelitian telah menemukan bahwa terjadi penurunan pertumbuhan lamun ketika cahaya berkurang (Collier et al. 2012; Strydom et al. 2017), terutama akibat bertambahnya kekeruhan pada periode curah hujan tinggi (Petus et al. 2014).

Potensi padang lamun dalam menyimpan karbon (*carbon sequestration*) merupakan bukti penting yang menunjukkan kemampuan lamun dalam mitigasi perubahan iklim. Dengan menyerap dan menyimpan karbon maka emisi karbon di lingkungan bisa dikurangi sehingga mengurangi laju pemanasan global yang menjadi penyebab utama perubahan iklim global. Karbon yang tersimpan ini kemudian akan berkontribusi dalam menambah cadangan karbon di padang lamun berupa *standing stock*.

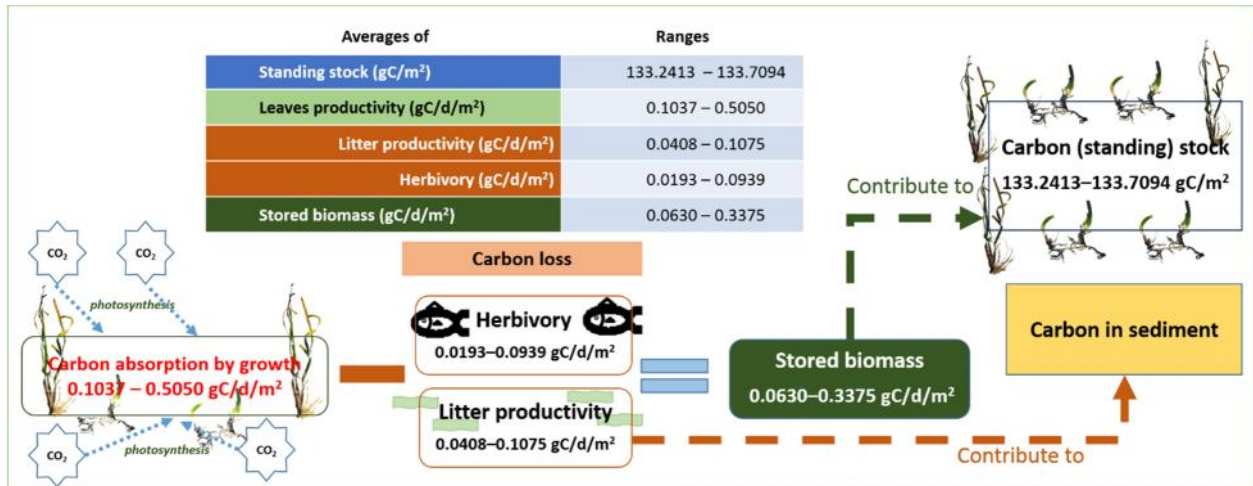
Bila diasumsikan bahwa padang lamun di bagian utara dan timur adalah cerminan seluruh padang lamun yang terhampar dari bagian utara sampai timur, maka bisa dianggap bahwa nilai neraca yang ada di utara adalah nilai minimal dan sebaliknya yang di timur adalah nilai maksimal. Dengan asumsi tersebut maka kisaran nilai yang ada dapat digambarkan dalam suatu skema neraca karbon pada Gambar 6

Tabel 7. Perbandingan data di Teluk Bakau pada penelitian tahun 2014 dan 2016

Table 7. Comparison of 2014 and 2016 data in Teluk Bakau

| | 2014 (Wahyudi et al. 2016) | This research (2016) |
|--|--|---|
| Biomass | 275.32 (above ground) + 802.93 (below ground) = 1078.25 gDW/m ² | 105.77 gC/m ² 248.74 gDW/m ² |
| <i>Enhalus</i> leaf productivity | 0.79 tonC/Ha/y | 0.41 gC/m ² /d 1.49 tonC/Ha/y |
| <i>Thalassia</i> leaf productivity | 1.98 tonC/Ha/y | 0.10 gC/m ² /d 0.36 tonC/Ha/y |
| <i>Enhalus</i> + <i>Thalassia</i> productivity | 2.77 tonC/Ha/y | 1.82 tonC/Ha/y |

Note: DW = dry weight, Ha = hectares, d = days, y = years, C = carbon.



Gambar 6. Skema neraca karbon di padang lamun Pulau Bintan bagian utara dan timur
Figure 6. Carbon balance scheme in seagrass beds of north and east Bintan Island.

Pada skema di atas, dapat dilihat alur yang terjadi pada karbon dari mulai masih berbentuk karbondioksida (CO₂) yang kemudian diserap oleh padang lamun dan kemudian sisanya menjadi karbon yang tersimpan. Mula-mula, karbon dalam bentuk karbondioksida diserap oleh tumbuhan lamun melalui proses fotosintesis. Hasil fotosintesis sebagian dipakai oleh metabolisme sel lamun (respirasi dan sebagainya) dan sisanya adalah biomassa tumbuhan yang merupakan produk bersih (NPP) sebesar 0,1037 – 0,5050 gC/m². Biomassa ini kemudian sebagian ada yang hilang dari padang lamun karena dikonsumsi oleh hewan herbivora seperti ikan, penyu, duyung, dan lain-lain sebesar 0,0193 – 0,0939 gC/h/m², dan ada juga yang sejalan waktu gugur sebagai serasah sebesar 0,0408 – 0,1075 gC/h/m². Serasah lamun kemudian terdeposit di substrat dan menyumbang pada kandungan karbon di sedimen. Sisa biomassa lamun yang tidak dikonsumsi oleh herbivor dan tidak gugur merupakan biomassa yang tersimpan di vegetasi padang lamun, yaitu sebesar 0,0630 – 0,3375 gC/h/m². Biomassa yang tersimpan ini kemudian berkontribusi dalam menyumbang pada cadangan karbon yang berupa *standing stock* vegetasi padang lamun, yang pada saat pengamatan memiliki stok karbon sebesar 133,2413 – 133,7039 gC/m².

Kesimpulan

Cadangan karbon oleh padang lamun di bagian utara P. Bintan (Desa Pengudang) sebesar 133,24 gC/m², sedangkan di bagian timur (Teluk Bakau) sebesar 133,71 gC/m². Walaupun cadangan karbonnya hampir sama ternyata

serapan karbon (karbondioksida) yang digunakan oleh lamun untuk memproduksi daun lebih tinggi di bagian timur P. Bintan dengan nilai 0,50 gC/h/m² dibandingkan di utara sebesar 0,10 gC/h/m². Adapun laju karbon yang tersimpan di padang lamun dari produksi tersebut adalah 0,0630 gC/h/m² di bagian utara dan 0,3375 gC/h/m² di bagian timur. Dari hasil penelitian, penulis menyarankan untuk menggabungkan angka-angka yang diperoleh dengan hasil pemetaan luas padang lamun di kedua lokasi sehingga akan diperoleh nilai potensi karbon dalam lingkup yang lebih luas.

Persantunan

Penelitian ini didanai oleh LIPI melalui program unggulan dengan topik mitigasi perubahan iklim berbasis potensi vegetasi kawasan dalam penyerapan karbon. Terimakasih penulis ucapkan pada koordinator penelitian yaitu Dr. A'an J. Wahyudi yang telah melibatkan peneliti dalam salah satu kegiatan program unggulan LIPI. Tidak lupa penulis berterimakasih pada saudara M. Yusuf Rumaida dari Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Bintan yang telah membantu dalam penelitian di lapangan.

Daftar Pustaka

- Armitage, A. R. and J. W. Fourqurean. 2016. Carbon storage in seagrass soils: long-term nutrient history exceeds the effects of near-term nutrient enrichment. *Biogeosciences* 13: 313-321.
- Azkab, M. H. 1996. Leaf Growth and Production of *Enhalus acoroides* (L. f.) Royle in Kuta

- Bay, Lombok Island, Indonesia. Pages 139-142 *in*: J. Kuo, R. C. Phillips, D. I. Walker and H. Kirkman, editors. *Seagrass Biology: Proceeding of an International Workshop*. 1996. Rottneest Island, Western Australia.
- Azkab, M. H. 1998. Pertumbuhan dan Produksi Lamun, *Enhalus acoroides* (L.f.) Royle di Rataan Terumbu Pulau Pari, Kepulauan Seribu. Pages 55-59 *in* M. K. Moosa, D. Praseno and Soekarno, editors. *Teluk Jakarta: Biologi, Budidaya, Oseanografi, Geologi dan Kondisi Perairan*. P3O – LIPI, Jakarta.
- Azkab, M. H. 2000. Produktivitas di Lamun. *Oseana XXV*: 1-11.
- Bala, G. 2014. Can planting new trees help to reduce global warming? *Curent Science* 106(12): 1623-1624.
- Brath, B., T. Friesen, Y. Guerard, C. Jacques-Brissette, C. Lindman, K. Lockridge, S. Mulgund and B-J Walke. 2015. Climate Change and resource Sustainability: An overview for Actuaries. *Canadian Institute of Actuaries, Canada*.
- Collier, C., M. Waycott and A. Ospina. 2012. Responses of four Indo-West Pacific seagrass species to shading. *Marine Pollution Bulletin* 65: 342-354.
- Dawes, C. 1981. *Marine Botany*. Wiley-Interscience. New York.
- den Hartog, C. 1970. *The Sea-Grasses of the World*. North Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Devlin, M., J. Debose and J. Brodie. 2012. Review of phytoplankton in the Great Barrier Reef and potential links to Crown of Thorns. *Center for Tropical Water and Aquatic Ecosystem Research, James Cook University, Townsville*.
- Diaz-Pulido, G. and L. McCook. 2008. Macroalgae (Seaweeds). Pages 1-44 *in*: A. Chin, editor. *The State of the Great Barrier Reef On-line*. Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville.
- Duarte, C. and J. Cebrian. 1996. The fate of marine autotrophic production. *Limnology and Oceanography* 41(8): 1758-1766.
- Duarte, C. M., I. J. Losada, I. E. Hendriks, I. Mazarrasa and N. Marba. 2013. The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change* 3: 961-968.
- Duarte, C. M., J. Middelburg and N. Caraco. 2005. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences* 2: 1-8.
- Fourqurean, J., B. Johnson, J. B. Kauffman, H. Kennedy and C. Lovelock. 2014. Field Sampling of Soil Carbon Pools in Coastal Ecosystems. Pages 39-66 *in*: *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangrove, tidal salt marshes, and seagrass meadows*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission, IUCN. Arlington, Virginia.
- Goel, A. and R. Bhatt. 2012. Causes and consequences of Global Warming. *International Journal of Life Science Biotechnology and Pharma Research* 1(1): 27-31.
- Gopal, B. and N. Bhardwaj. 1979. *Elements of Ecology*. Vikas Publishing House Pvt. Ltd., New Delhi.
- Graha, Y. I. 2015. *Simpanan Karbon Padang Lamun di Kawasan Pantai Sanur, Kota Denpasar*. Master's thesis. Program Pascasarjana Universitas Udayana, Denpasar.
- Harris, J. and M. Feriz. 2011. *Forest, Agriculture, and Climate: Economics and Policy Issues*. Global Development and Environment Institute, Tufts University, Medford.
- Harrould-Kolieb, E., M. Huelsenbeck and V. Selz. 2010. *Ocean Acidification, The Untold Stories*. Oceana. Washington.
- Hutomo, M. dan M. H. Azkab. 1987. *Peranaan Lamun di Lingkungan Laut Dangkal*. *Oseana XII*(1): 13-23.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climateder Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK & New York, USA.
- Kiswara, W. 1997. Pertumbuhan dan Produksi Daun *Enhalus* di Pulau Mapor, Kepulauan Riau. Lampung. Pages 1448-1452 *in*: *Prosiding III Seminar Nasional Biologi XV*. Perhimpunan Biologi Indonesia Cabang Lampung dan Universitas Lampung, Lampung.
- Kiswara, W. dan M. Hutomo. 1985. Habitat dan sebaran geografik lamun. *Oseana X*(1): 21-30.
- Kiswara, W. dan Winardi. 1994. Keanekaragaman dan Sebaran Lamun di Teluk Kuta dan Teluk Gerupuk, Lombok Selatan. Pages 15-32 *in*: W. Kiswara, M. K. Moosa, dan M. Hutomo, editors. *Struktur Komunitas Biologi Padang Lamun di Pantai Selatan Lombok dan Kondisi Lingkungannya*. P3O-LIPI, Jakarta.
- Lembi, C. 2014. The Biology and Management of Algae. Pages 97-104 *in*: L. Gettys, W. Haller, and D. Petty, editors. *Biology and Control of Aquatic Plants: A Best Management Practices Handbook*, 3rd edition.

- Aquatic Ecosystem Restoration Foundation, Marietta.
- Lindeboom, H. and A. Sandee. 1989. Production and consumption of tropical seagrass fields in eastern Indonesia measured with bell jars and microelectrodes. *Netherlands Journal of Sea Research* 23(2): 181-190.
- Madsen, J. 2014. Impact of Invasive Aquatic Plants on Aquatic Biology. Pages 1-8 *in*: L. Gettys, W. Haller and D. Petty, editors. *Biology and Control of Aquatic Plants: A Best Management Practices Handbook*, 3rd edition. Aquatic Ecosystem Restoration Foundation, Marietta.
- Makarow, M., R. Ceulemans and L. Horn. 2009. Impact of Ocean Acidification. *ESF Science Policy Briefing* 37: 1-12.
- Mariani, S. and T. Alcoverro. 1999. A multiple-choice feeding-preference experiment utilising seagrasses with a natural population of herbivorous fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 189: 295-299.
- McKenzie, L. J., S. M. Yaakub, R. Tan, J. Seymour and R. L. Yoshida. 2016. Seagrass habitats of Singapore: Environmental drivers and key processes. *Raffles Bulletin of Zoology* 34: 60-77.
- Nienhuis, P., J. Coosen and W. Kiswara. 1989. Community structure and biomass distribution of seagrasses and macrofauna in the Flores Sea, Indonesia. *Netherlands Journal of Sea Research* 23(2): 187-214.
- Petus, C., C. Collier, M. Devlin, M. Rasheed and S. McKenna. 2014. Using MODIS data for understanding changes in seagrass meadow health: A case study in the Great Barrier Reef (Australia). *Marine Environmental Research* 98: 68-85.
- Rahmawati, S. 2011. Estimasi cadangan karbon pada komunitas lamun di Pulau Pari, Taman Nasional Kepulauan Seribu, Jakarta. *J. Segara* 7(1): 1-12.
- Rahmawati, S. dan B. Prayuda. 2014. Estimasi Cadangan dan Serapan Karbon dengan Pendekatan Penginderaan Jauh, Analisis OBIA (Object Based Image Analysis). Report. P2O-LIPI, Jakarta.
- Samiaji, T. 2011. Gas CO₂ di Wilayah Indonesia. *Berita Dirgantara* 12(2): 68-75.
- Short, F. T and C. M. Duarte. 2001. Methods for the measurement of seagrass growth and production. Pages 155-182 *in*: F.T. Short and R. G. Coles, editors. *Global Seagrass Research Methods*. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Strydom, S., K. McMaho, and P. S. Laverty. 2017. Response of the seagrass *Halophila ovalis* to altered light quality in a simulated dredge plume. *Marine Pollution Bulletin* 121: 323-330.
- Sunquist, E., R. Burruss, S. Fulkner, R. Gleason, J. Harden, Y. Kharaka, L. Tieszen and M. Weldrop. 2008. Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change. United States Geological Survey.
- Supriadi. 2012. Stok dan Neraca Karbon Komunitas Lamun di Pulau Baranglombo Makassar. Master's thesis. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor.
- Trancoso, A. 2002. Modelling Macroalgae in Estuaries. Trabalho Final de Curso da Licenciatura em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Tecnico, Universidade Tecnica de Lisboa. Lisboa.
- Wahyudi, A. J., S. Rahmawati, B. Prayudha, M. R. Iskandar dan T. Arfianti. 2016. Vertical carbon flux of marine snow in *Enhalus acoroides*-dominated seagrass meadows. *Regional Studies in Marine Science* 5: 27-34.
- Wang, J. and B. Chameides. 2005. Global Warming's Increasing Visible Impacts. Environmental Defence, Los Angeles.