

KAJIAN POTENSI KARBON BIRU DAN HABITAT PENYU DI DAERAH KONSERVASI KABUPATEN BERAU: STUDI KASUS BIDUK BIDUK

STUDY OF BLUE CARBON POTENCY AND SEA TURTLE HABITAT IN THE CONSERVATION AREA OF BERAU REGENCY: A CASE STUDY OF THE BIDUK BIDUK

Agustin Rustam, Dini Purbani, Devi Dwiyantri Suryono, Hadiwijaya Lesmana Salim, Nasir Sudirman, Restu Nur Afi Ati, Mariska A. Kusumaningtyas, & Wahyu Hidayat

Pusat Riset Konservasi Sumber Daya Laut dan Perairan Darat, Badan Riset Inovasi Nasional
Kawasan Sains dan Teknologi Dr. (H.C.) Ir. H. Soekarno, Cibinong Jl. Raya Jakarta-Bogor Km 46, Pakansari, Kecamatan Cibinong, Kabupaten Bogor
16911

e-mail : agustin.rustam@brin.go.id

Diterima tanggal: 3 Mei 2023 ; diterima setelah perbaikan: 9 Oktober 2023 ; Disetujui tanggal: 12 Oktober 2023

ABSTRAK

Daerah Biduk-biduk merupakan bagian dari 285.266 ha kawasan konservasi laut daerah Berau. Lamun merupakan salah satu ekosistem pesisir yang dapat dikaitkan dengan keberadaan penyu dan potensi sebagai penyimpan karbon pesisir. Penelitian ini dilakukan dengan metode survei, studi literatur dan analisis di laboratorium. Kondisi eksisting lamun yang ditemukan dominan lamun berukuran kecil yaitu jenis *Halophila ovalis* (Ho) dan *Halodule pinifolia* (Hp) yang membentuk hamparan luas. Indeks nilai penting (INP) jenis lamun tertinggi di P Kaniungan adalah *Halophila ovalis* (Ho) dan di Teluk Sulaiman adalah *Halodule pinifolia* (Hp). Stok karbon pada biomasa lamun sebesar 2,11 kgC/ha setara dengan penyerapan 7,74 kgCO_{2e}/ha. Ekosistem lamun yang membentuk hamparan dan berukuran kecil pada biomasa bagian atas menunjukkan jenis lamun yang tumbuh rapat dan menjadi sumber makanan bagi penyu dan biota lainnya. Keberadaan rhizoma lamun yang merupakan biomasa bagian bawah akan menjaga stok karbon sedimen dan membuat sedimen menjadi stabil. Produksi perikanan di Kecamatan Biduk-biduk meningkat 7,7 % sejak tahun 2010 sampai 2014. Sehingga diperlukan upaya untuk menjaga keberadaan ekosistem lamun di Kecamatan Biduk-Biduk khususnya dan Kabupaten Berau pada umumnya agar keberadaan penyu dan layanan ekosistem lamun lainnya terpelihara dengan baik.

Kata kunci: Karbon biru, konservasi, lamun, & penyu.

ABSTRACT

The area of the Biduk Biduk is apart of the 285266 ha marine conservation area of Berau. Seagrass is one of the coastal ecosystems that can be attributed to the presence of turtles and the potential for coastal carbon storage. This research was conducted by survey method, literature study and laboratory analysis The existing conditions of the seagrass found were dominated by small seagrasses, namely Halophila ovalis (Ho) and Halodule pinifolia (Hp) which formed a large expanse of seagrass. The highest importance value index (INP) for seagrass species in Kaniungan Island is Halophila ovalis (Ho) and in Suleman Bay is Halodule pinifolia (Hp). The carbon stock at the seagrass ecosystem of 2,11 kgC/ha is equivalent to the absorption of 7,74 kgCO_{2e}/ha. Seagrass ecosystems that form seagrass beds and are small in size in above-ground biomass indicate seagrass species that grow densely and are a feeding ground for sea turtles and other biota. The existence of rhizoma as below-ground biomass may preserve the stock of sedimentary carbon and create a stable sediment. The production of fisheries in Biduk-biduk -district has increased by 7.7% from year 2010 to 2014. So it is necessary to maintain the existence of seagrass ecosystem especially in Biduk-Biduk district and also at the Berau regency so then the existence of sea turtle and seagrass ecosystem services are well maintained.

Keywords: blue carbon, conservation, seagrass, & sea turtle.

PENDAHULUAN

Tumbuhan lamun merupakan tumbuhan sejati berbunga (*Angiospermae*) yang beradaptasi untuk hidup terendam dalam air bersalinitas tinggi, dengan sistem reproduksi secara generatif dan vegetatif dan dapat membentuk suatu hamparan (Duarte, 2002; Short *et al.*, 2006). Layanan ekosistem lamun antara lain sebagai penyedia sumber makanan, daerah asuhan, dan tempat mencari makan dari berbagai biota besar maupun kecil. Beberapa jenis lamun seperti *Thalassia hemprichii*, *Halodule uninervis*, dan *Halodule pinifolia*, dihubungkan dengan keberadaan penyu dan duyung. Hal ini diketahui bahwa beberapa jenis lamun tersebut merupakan makanan dari dua biota yang terancam punah jika tempat dan sumber makanannya hilang (Wirsing *et al.*, 2007).

Kecamatan Biduk-Biduk merupakan bagian daerah kawasan konservasi laut Kabupaten Berau seluas 1,2 juta ha (Peraturan Bupati Nomor 31 tahun 2005) yang kemudian berubah menjadi 285.266 ha (Surat Keputusan Bupati Berau, 2013). Luas kawasan konservasi yang baru ini tersebar di empat kecamatan, dengan Kecamatan Biduk-Biduk seluas 14.651,28 ha (Kementerian Kelautan Perikanan, 2016). Berkurangnya luasan daerah konservasi Berau dari 1,2 juta ha tahun 2005 menjadi kurang lebih 300.000 ha di tahun 2013 memerlukan pemutakhiran data kembali. Daerah konservasi Berau diketahui memiliki ekosistem pesisir yang beragam, antara lain ekosistem lamun (Rustam *et al.*, 2015). Keberadaan ekosistem lamun di Kabupaten Berau menunjukkan akan keberadaan biota yang memanfaatkan lamun sebagai sumber makanan seperti penyu dan duyung dan keberadaan sumber ikhtiofauna lainnya seperti kerang, teripang dan ikan.

Beberapa pulau di Kepulauan Derawan merupakan daerah tempat penyu bertelur, yaitu: Pulau Sangalaki, Pulau Derawan, Pulau Semama, Pulau Sambit, Pulau Bilang-bilangan, Pulau Mataha dan Pulau Balikukup (Ibrahim *et al.*, 2016). Selain itu keberadaan penyu hijau ditemukan di perairan kabupaten Berau sampai ke perairan Biduk Biduk (The Nature Conservancy, 2013). Penyu hijau dewasa merupakan megaherbivora yang memakan lamun terutama bagian atasnya yang akan kembali ke lokasi yang sama untuk memakan lamun yang baru tumbuh (Hearne *et al.*, 2019). Selain itu penyu membantu penyebaran benih lamun dengan jarak mencapai 650 km, sehingga ada interkoneksi keberadaan penyu dan habitatnya yang saling menguntungkan (Tol *et al.*, 2017). Upaya konservasi penyu sekaligus menjaga perilaku penangkapan ikan

yang berlebih akan menjaga keberlanjutan layanan ekosistem lamun sebagai penyedia (sumber makanan) (Heithus *et al.*, 2014).

Layanan ekosistem lamun lainnya adalah sebagai pengatur dan berperan dalam mitigasi perubahan iklim, di mana lamun dalam proses fotosintesis akan memanfaatkan CO₂ dan menyimpannya dalam biomassa serta mengendapkannya di sedimen (Nelleman *et al.*, 2009). Potensi ini dikenal sebagai *blue carbon ecosystems*, yang memberikan layanan ekosistem lainnya seperti penyedia, estetika/kultural dan pendukung untuk kehidupan manusia dan kekayaan negara (Macreadie *et al.*, 2021; Bertram *et al.*, 2021). Peranan ini akan bekerja sangat baik jika ekosistem karbon biru khususnya ekosistem lamun dalam keadaan baik. Keberadaan ekosistem pesisir khususnya ekosistem lamun akan bermanfaat langsung dan tidak langsung untuk kesejahteraan manusia sehingga ketersediaannya sumberdayanya terutama ikhtiofauna perlu berkelanjutan dan lestari.

Oleh karena itu keberadaan suatu ekosistem pesisir yang berkondisi sehat akan berfungsi dengan sebaik-baiknya dalam menopang kehidupan biota lainnya, di dalam maupun di luar ekosistem. Hal ini menjadi sangat penting untuk menjaga keberadaan ekosistem pesisir yang sehat dan baik pada kawasan konservasi di pesisir maupun pulau-pulau kecil sebagai sumber bahan makanan dalam menopang kekayaan ikhtiofauna. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data/informasi ekosistem lamun dan kualitas perairan terkait di Kecamatan Biduk-Biduk, Kabupaten Berau. Kemudian dilanjutkan dengan menganalisis keberadaan ekosistem lamun terhadap keberadaan penyu dan potensi penyimpanan karbon.

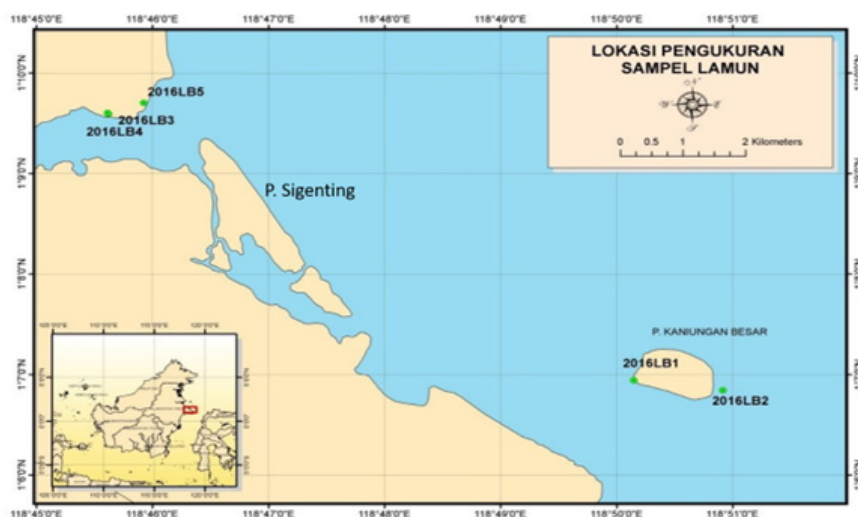
BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian di Kecamatan Biduk Biduk yang memiliki luas kawasan konservasi perairan sebesar 14.651,28 ha sebanyak 5 titik sampling. Titik sampling ini dibagi atas dua lokasi yaitu pesisir Teluk Suleman (titik sampling 2016LB3, 2016LB4 dan 2016LB5) dan satu pulau kecil yaitu P Kaniungan Besar yaitu titik sampling 2016LB1 dan 2016LB2 (Gambar 1).

Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah metode survei. Metode pengambilan sampel secara purposive sampling berdasarkan keberadaan lokasi lamun, dengan menggunakan perahu dan berjalan kaki. Metode



Gambar 1. Lokasi penelitian ekosistem lamun, di Kecamatan Biduk-Biduk tahun 2016.
 Figure 1. Study site of seagrass ecosystem in Biduk-Biduk subdistrict in 2016.

pengambilan data lamun yang dilakukan secara transek garis (*line transect*) mengadopsi *seagrasswatch*. Parameter yang diambil di setiap stasiun penelitian adalah persentase tutupan tajuk lamun dalam setiap kuadrat 50 x 50 cm² diambil dengan metode estimasi visual berdasarkan panduan persentase tutupan lamun standar *SeagrassWatch* (McKenzie *et al.*, 2003). Dilakukan penghitungan jumlah tunas lamun untuk lamun berukuran besar (*E. acoroides*) dihitung di setiap kuadrat 50x50 cm², sedangkan untuk spesies lainnya dilakukan pengambilan spesimen dengan core berukuran 0,059108 m². Spesimen dimasukkan kedalam plastik berlabel dan penghitungan jumlah individu dalam kuadrat tersebut dilakukan di base camp. Setiap jenis lamun yang ditemukan juga diambil sebagai spesimen untuk diidentifikasi ulang.

Analisis struktur komunitas lamun bertujuan untuk mengetahui kondisi eksisting ekosistem lamun. Analisis yang dilakukan adalah menghitung komposisi jenis lamun, menghitung frekwensi jenis dan frekwensi relatif, menghitung kerapatan jenis dan kerapatan relatif, menghitung penutupan jenis dan penutupan relatif dan untuk menduga keseluruhan dari peranan suatu jenis lamun dilakukan perhitungan indeks nilai penting (Krebs, 1989; Brower *et al.*, 1990; English *et al.*, 1997; Fachrul, 2007). Analisis berbasis literatur dilakukan terkait dengan artikel yang berhubungan dengan konservasi terutama hubungan antara penyusutan lamun dan daerah konservasi laut daerah Kabupaten Berau. Analisis karbon stok pada sedimen dan biomassa lamun serta analisis deskriptif dari parameter lingkungan.

Analisis karbon stok pada ekosistem lamun dilakukan berdasarkan pengukuran berat biomassa. Biomassa yang didapat dibersihkan lamun dari epifit dan substrat yang masih menempel, pemisahan lamun bagian atas (*above ground biomass*) dan bagian bawah (*below ground biomass*) dilanjutkan penimbangan berat basah serta penyimpanan. Di laboratorium biomassa yang didapat ditimbang berat kering yang sebelumnya dilakukan dengan cara mengoven sampel biomassa pada suhu 60°C sampai berat stabil kurang lebih 3 hari. Selanjutnya sampel dihaluskan dan dianalisis dengan alat mengukur unsur *Carbon Hydrogen Nitrogen Sulfur Analyzer (CHNS analyzer)* untuk mendapatkan nilai karbon. Perlakuan yang sama untuk sampel sedimen (karbon total) yang telah dibagi per lapisan kedalaman (5 cm). Dikarenakan sedimen yang terambil hanya sampai kedalaman 30 cm, yang merupakan kedalaman analisis sedimen karbon total.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas perairan di ekosistem lamun

Kualitas perairan pesisir Biduk-Biduk pada ekosistem lamun dianalisis peranannya terhadap kesesuaian biota berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup (KMNLH) Nomor 51 tahun 2004 Lampiran III untuk biota dan pertumbuhan lamun dan literatur lainnya.

Berdasarkan Tabel 1, empat belas parameter kualitas perairan yang terukur di ekosistem lamun secara in situ dan laboratorium masih dalam ambang batas baku mutu KMNLH No 51 Tahun 2004 Lampiran III. Nilai kualitas perairan ekosistem lamun di dua

Tabel 1. Kualitas perairan yang terukur di ekosistem lamun P. Kaniungan Besar dan Teluk Suleman
 Table 1. Water quality measured in seagrass ecosystem on Kaniungan Besar Island and Suleman bay

Parameter	P. Kaniungan Besar		Teluk Suleman		KMNLH No 51 Tahun 2004	Literatur
	Rata-rata	Standar Error	Rata-rata	Standar Error		
pH	8,12	0,005	7,77	0,06	7 - 8,5	7,3 – 9#
DO	7,30	0,05	5,79	0,30	> 5	
Cond (S/m)	4,69	0,005	3,57	0,24		
Turbiditas (NTU)	0	0	9,62	9,62	< 5	
Suhu (°C)	30,59	0,127	29,41	0,68	28 - 30	23 – 32*
Salinitas (PSU)	31,43	0,045	23,1	1,74	33 - 34	24 – 35 **
Sigma-t	18,82	0,044	12,97	1,25		
Kecerahan (m)	10,33	1,453	4,67	1,97	>3	
Ammonia (mg/L)	0,37	0,01	0,36	0,01	0, 3	
Nitrat (mg/L)	0,12	0,00	0,17	0,02	0,008	
Nitrit (mg/L)	0,01	0,00	0,00	0,00		
Orto Fosfat (mg/L)	0,00	0,00	0,01	0,00	0,015	
Silika (Si) (mg/L)	0,44	0,12	0,68	0,11		
Klorofil (µg/L)	0,63	0,11	1,13	0,49		

Setiawan, Riniatsih dan Yudiati, 2013; *Lee, Park dan Kim, 2007; ** Hillman, Walker, Larkum dan Mc Comb, 1989

lokasi penelitian terlihat parameter in situ perairan yang diukur masih dalam kondisi baik. Nilai turbiditas sedikit di atas baku mutu di Teluk Suleman, lebih disebabkan karena perairan dangkal sehingga terjadi pengadukan sedimen dasar ke kolom air. Berdasarkan empat titik pengukuran kualitas perairan di lokasi ekosistem lamun Teluk Suleman nilai turbiditas 75 % nihil hanya satu titik dekat dermaga Teluk Suleman tinggi (38,46 NTU) dikarenakan kedalaman perairan 0,5 m. Salinitas lamun berdasarkan baku mutu masih sesuai, namun salinitas optimum untuk pertumbuhan lamun berkisar 24-35 PSU (Hillman *et al.*, 1989). Salinitas akan mempengaruhi tekanan osmosis lamun yang dapat mempengaruhi kerentanan lamun terhadap penyakit (Short *et al.*, 2001). Selain itu pH optimum perairan untuk pertumbuhan lamun berkisar antara 7,3 – 9,0 (Setiawan *et al.*, 2013). Besarnya nilai pH dipengaruhi oleh dekomposisi tanah, dasar perairan dan lingkungan sekitarnya.

Nilai suhu optimum berkisar antara 23 - 32 °C akan berpengaruh terhadap pola pertumbuhan lamun yang akan meningkat pada musim panas (Lee *et al.*, 2007). Parameter nutrisi berpengaruh terhadap pemanfaatan nutrisi untuk pertumbuhan lamun. Keberadaan nutrisi yang berlebih akan menyebabkan kompetisi lamun dengan makro alga maupun mikro alga, dalam kondisi eutrofikasi lamun dapat tersukses dan tergantikan oleh makroalga bahkan mikroalga (fitoplankton).

Kondisi eksisting ekosistem lamun di Biduk Biduk

Pengukuran kondisi eksisting ekosistem lamun yang dilakukan pada April 2016, terdapat di perairan P. Kaniungan Besar dan di pesisir teluk Suleman. Lamun juga ditemukan di selat antara daratan utama dengan P. Sigenting di Desa Teluk Suleman.

Hasil penelitian lamun di perairan Biduk-Biduk, Kabupaten Berau ditemukan delapan spesies lamun yang terdiri dari dua famili yaitu *Hydrocharitaceae* dan *Cymodoceaceae*. Empat jenis dari famili *Hydrocharitaceae* yaitu *Enhalus acoroides* (Ea), *Thalassia hemprichii* (Th), *Halophila decipiens* (Hd) dan *Halophila ovalis* (Ho). Empat jenis dari famili *Cymodoceae* yaitu *Cymodocea rotundata* (Cr), *Halodule uninervis* (Hu), *Halodule pinifolia* (Hp) dan *Syringodium isoetifolium* (Si). Jenis lamun yang ditemukan di lokasi dapat dilihat pada Tabel 2. Delapan jenis lamun yang ditemukan pada saat penelitian, dengan jumlah jenis terbanyak ditemukan di P Kaniungan Besar (8) dan di Teluk Suleman 4 jenis. Jumlah ini lebih tinggi dari yang didapatkan Kepel *et al.* (2015) di Kepulauan Derawan penelitian tahun 2012 dan Rustam *et al.* (2015) tahun 2013 dan 2014 di Kecamatan Kepulauan Derawan dan Kecamatan Maratua di perairan Kabupaten Berau.

Keberadaan lamun di perairan Biduk-Biduk berukuran kecil dengan dominan adalah jenis pioner (Ho, Hp, dan Hd). Umumnya lamun membentuk hamparan yang



Gambar 2. (a) Ekosistem Lamun di Pulau Kaniungan Besar di dominasi spesies Ho dan Hp; (b) Teluk Suleman didominasi Hp. (Sumber: Survei, 2016)

Figure 2. (a) The seagrass ecosystem in Kaniungan Besar island was dominated by Ho and Hp species; (b) Suleman bay was dominated by Hp. (source: Field survey in 2016)

cukup luas berwarna kehijauan yang dapat tidak terlihat jika dalam keadaan pasang atau tertutup pasir karena pergerakan arus (Gambar 2). Hal ini dapat disebabkan perairan Biduk-biduk atau perairan Kabupaten Berau yang berada di Laut Sulawesi umumnya merupakan perairan terbuka dengan pasokan nutrient terbesar dari daratan yang memiliki sungai besar seperti Sungai Berau, sehingga keberadaan lamun tetap eksisting membentuk hamparan namun tidak dapat tumbuh menjadi lamun yang berukuran lebih besar selain itu diperkirakan adanya faktor *over grazing* dari penyu laut. Diketahui perairan Biduk-biduk berada di perairan terbuka laut Sulawesi yang merupakan pintu masuk utama masuknya massa air dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia dengan volume transpor sekitar $11 \times 10^6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ yang dikenal dengan Arus Lintas Indonesia (Arlindo) (Gordon *et al.*, 2010). Sebagian besar massa air terbawa melewati Selat Makassar dan sebagian lagi kembali ke Samudera Pasifik yang berpengaruh besar pada lapisan permukaan hingga lapisan termoklin (Sprintall *et al.*, 2009). Hal ini diperkuat dengan kekuatan arus lapisan tercampur (10 m) mendekati daratan Kalimantan perairan Berau lebih besar

dibandingkan dengan bagian tengah Laut Sulawesi (Atmadipoera & Mubaraq, 2016).

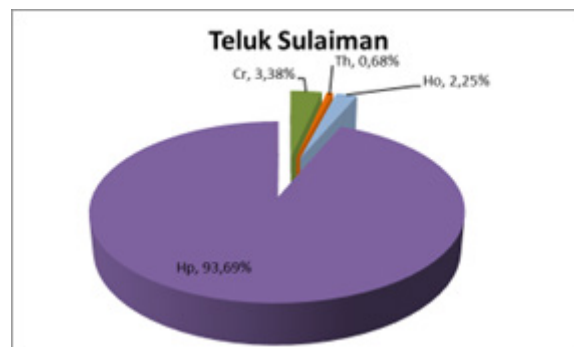
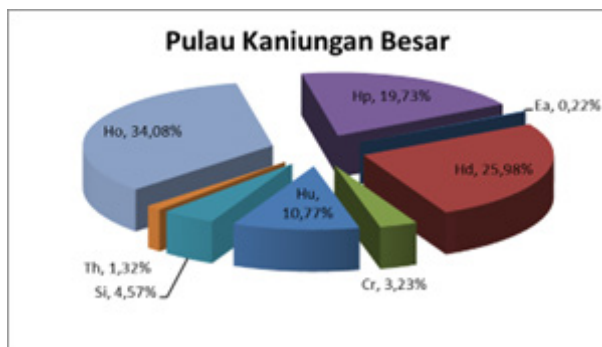
Tabel 2 menunjukkan bahwa jenis lamun lebih banyak ditemukan di P. Kaniungan Besar dengan ukuran relatif lebih besar dibandingkan di Teluk Suleman yang masih kecil-kecil. Lamun yang ditemukan di P. Sigenting terlihat ada jenis Th, Ho, dan Hp dengan ukuran lebih besar yang dapat disebabkan perairan ini terlindungi dengan adanya pulau Sigenting dan dekat daratan dan terlihat beberapa penyu yang sedang berenang.

Komposisi lamun yang ditemukan lebih banyak di P. Kaniungan Besar dibandingkan di daerah Teluk Suleman. Lamun di P. Kaniungan Besar membentuk padang lamun campuran, dengan substrat pasir (Gambar 2a). Keberadaan lamun di Teluk Suleman membentuk padang lamun *monospecies* Hp selebar kurang lebih 40 m dari darat ke laut kemudian ditemukan spesies *Ho mix* dengan Hp (Gambar 2b). Ekosistem di belakang lamun terdapat mangrove dan di depan lamun ekosistem terumbu karang ke arah laut kurang lebih sejauh 300 m.

Tabel 2. Spesies lamun yang ditemukan di perairan Biduk Biduk
Table 2. The species of seagrass was found in the water of Biduk-Biduk

Jenis lamun	Lokasi	
	P. Kaniungan Besar	Teluk Suleman
<i>Enhalus acoroides</i> (Ea)	V	-
<i>Halophila ovalis</i> (Ho)	V	V
<i>Halophila decipiens</i> (Hd)	V	-
<i>Thalassia hemprichii</i> (Th)	V	V
<i>Cymodocea rotundata</i> (Cr)	V	V
<i>Syringodium isoetifolium</i> (Si)	V	-
<i>Halodule uninervis</i> (Hu)	V	-
<i>Halodule pinifolia</i> (Hp)	V	V

Keterangan: V = ada; - = tidak ada



Keterangan:

Ea = *Enhalus acoroides* Th = *Thalassia hemprichii* Ho = *Halophila ovalis* Cr = *Cymodocea rotundata*
 Si = *Syringodium isoetifolium* Hu = *Halodule uninervis* Hd = *Halophila decipiens* Hp = *Halodule pinifolia*

Gambar 3. Komposisi lamun yang ditemukan di lokasi penelitian.

Figure 3. The seagrass composition was found at study site.

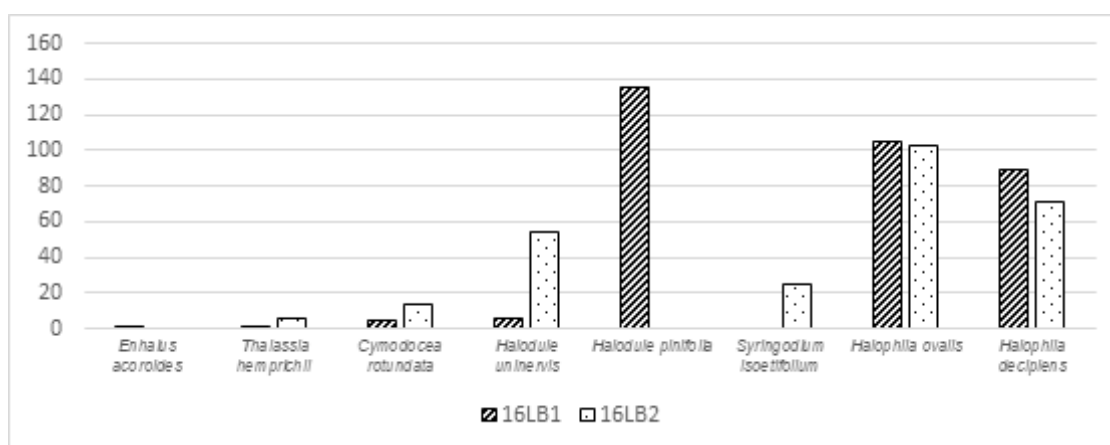
Gambar 3 menunjukkan besarnya komposisi jenis lamun di Kecamatan Biduk-Biduk, Kabupaten Berau, Pulau Kaniungan Besar ditemukan jenis lamun terbanyak 8 spesies dengan dominasi lamun berukuran kecil (Ho, Hd dan Hp= 79,8 %) komposisi terbesar Ho 34 %. Di Teluk Suleman terlihat adanya dominasi jenis lamun tertentu, komposisi terbesar jenis Hp sebesar 93,7 % (Gambar 3).

Prosentase tutupan total lamun di perairan Biduk-Biduk selama penelitian berkisar antara 0 - 70%. Rata-rata tutupan lebih besar di Pulau Kaniungan Besar (23,46%) dibandingkan Teluk Suleman (13,49%). Nilai prosentase penutupan rata-rata menurut Brower *et al.*, 1990, menunjukkan lamun di lokasi penelitian dalam kategori kerapatan rendah. Nilai tutupan rendah lebih disebabkan lamun yang ditemukan berukuran kecil atau lamun pioner. Tidak ditemukan di lokasi penelitian lamun berukuran besar atau cukup besar untuk jenis-jenis yang ditemukan. Diperkirakan hal ini disebabkan lokasi penelitian merupakan daerah

konservasi dan tempat makan penyu, selama penelitian sering ditemukan penyu.

Kerapatan lamun yang terukur menentukan besaran biomassa yang tersimpan dalam ekosistem lamun selain ukuran lamun itu sendiri. Sehingga dapat diperhitungkan besaran karbon stok ekosistem lamun terkait dengan potensi penyerapan karbondioksida oleh lamun. Namun dikarenakan lamun yang ditemukan di Teluk Suleman dominasi jenis Hp yang berukuran kecil seperti benang (Gambar 2b) tidak dilakukan pengambilan biomassa lamun. Pengukuran biomassa lamun hanya dilakukan di Pulau Kaniungan Besar.

Gambar 4 menunjukkan kerapatan rata-rata jenis lamun pada lokasi penelitian, paling rapat adalah jenis lamun Ho sebesar 104 ind/m², dengan jumlah individu lamun di setiap plot transek seragam dan ditemukan di 60 % plot yang diukur. Kerapatan terendah adalah lamun jenis Ea sebesar 1 ind/m² di dan masih berumur muda. Kerapatan total menunjukkan bahwa lamun



Gambar 4. Kerapatan jenis lamun di Pulau Kaniungan Besar.

Figure 4. The seagrass species density in Kaniungan Besar island.

yang ditemukan dalam jumlah besar adalah lamun yang berukuran lebih kecil dibandingkan Ea maupun Th.

Nilai indeks keanekaragaman, keseragaman, dan dominansi spesies lamun di Pulau Kaniungan Besar terlihat pada Gambar 5. Nilai indeks keanekaragaman sebesar 1,4 termasuk rendah (Lee *et al.*, 1978) walaupun jenis yang ditemukan cukup banyak yaitu 62 % dari lamun yang ditemukan di Indonesia (13 jenis).

Berdasarkan hasil perhitungan nilai frekuensi relative (FR), ditemukan dua jenis lamun di Teluk Suleman dengan jenis *Halodule pinifolia* (Hp) ditemukan hampir di semua titik pengamatan (87,2%) dibandingkan 3 jenis lainnya dari 4 jenis lamun yang ditemukan sehingga terlihat adanya dominansi jenis Hp. Lokasi lamun di Pulau Kaniungan Besar tidak terlihat sebaran yang dominan dari delapan jenis lamun yang ditemukan, nilai FR tertinggi jenis *Halophila ovalis* (Ho) sebesar 26 %, namun secara keseluruhan nilai FR total adalah dua lamun berukuran kecil yaitu Ho dan Hp, nilai FR Th juga cukup tinggi namun yang ditemukan berumur muda.

Penutupan relatif (PR) di lokasi Teluk Suleman menunjukkan nilai lebih tinggi dengan nilai FR pada jenis Hp, yaitu 96,3 %. Berbeda dengan lokasi Pulau Kaniungan Besar pada FR nilai tertinggi pada jenis Ho namun pada nilai PR nilai tertinggi jenis Th meningkat menjadi 27,5 % dan *Halodule pinifolia* (Hp) menurun menjadi 6,1 %. Hal ini menunjukkan lamun yang berukuran agak besar akan memiliki penutupan relatif lebih tinggi dibandingkan yang berukuran kecil.

Nilai penutupan relatif menunjukkan berapa luasan lamun jenis tertentu menutupi areal penelitian.

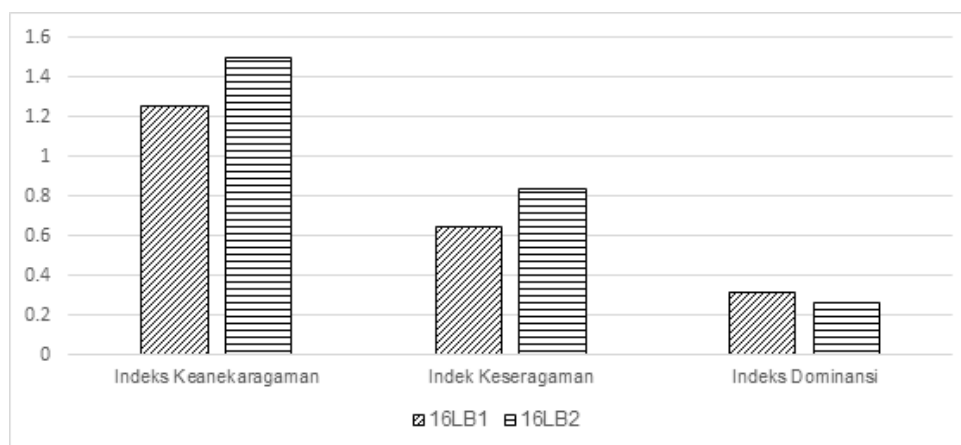
Tingginya nilai Th dibandingkan jenis lain di Kaniungan Besar menunjukkan bahwa Th merupakan spesies yang melimpah di daerah intertidal rata-rata terumbu karang yang menerima hampasan energi yang tinggi dengan substrat pasir dan pecahan-pecahan karang yang kasar (Tomascik *et al.*, 1997).

Indeks Nilai Penting (INP) pada lokasi Teluk Suleman sesuai dengan tingginya nilai FR, PR dan komposisi jenis maka lamun yang berperan penting di lokasi ini adalah *Halodule pinifolia* (Hp) sebesar 184 %. Lokasi Pulau Kaniungan Besar jenis yang berperan adalah Ho (84 %) kemudian Th (53%), Hd (49 %), Hp (46 %). Ho, Hd dan Hp merupakan lamun yang berukuran kecil, dan Th juga berumur muda atau berukuran kecil. Diketahui ke empat jenis tersebut melimpah di daerah terumbu karang dan merupakan makanan penyu hijau.

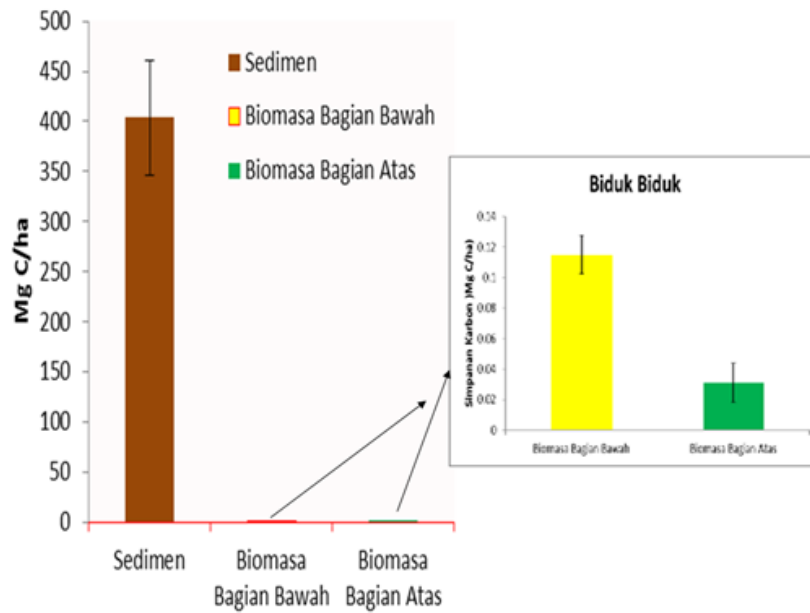
Karbon Stok Ekosistem Lamun Pulau Kaniungan Besar

Karbon stok total ekosistem lamun di lokasi penelitian dilakukan pada tiga kolam penyimpanan karbon yaitu biomasa bagian atas, biomasa bagian bawah lamun dan sedimen yang terukur dalam satuan Mg C per luasan (hektar=ha) (Gambar 6). Sedimen terambil pada tiga titik sampling dari 5 titik sampling yang dilakukan (Gambar 7).

Kisaran prosentase karbon yang terkandung dalam biomasa lamun bagian atas 32 – 35,5 % rerata 34,2 % dari berat kering biomassa. Biomasa bagian atas berkisar antara 25 – 35,4 % dengan rerata 31,2 % berat kering dengan rerata biomasa (atas dan bawah) sebesar 32,7 %. Nilai ini lebih rendah dibandingkan nilai yang dipakai Duarte & Chiscano (1999) sebesar 33,5 % yang memakai nilai rerata kandungan karbon pada biomassa lamun di daerah Mediterania (daerah subtropis), nilai



Gambar 5. Nilai indeks keanekaragaman, keseragaman dan dominansi di lokasi penelitian.
Figure 5. Diversity index, similarity index and dominance index values in study site.



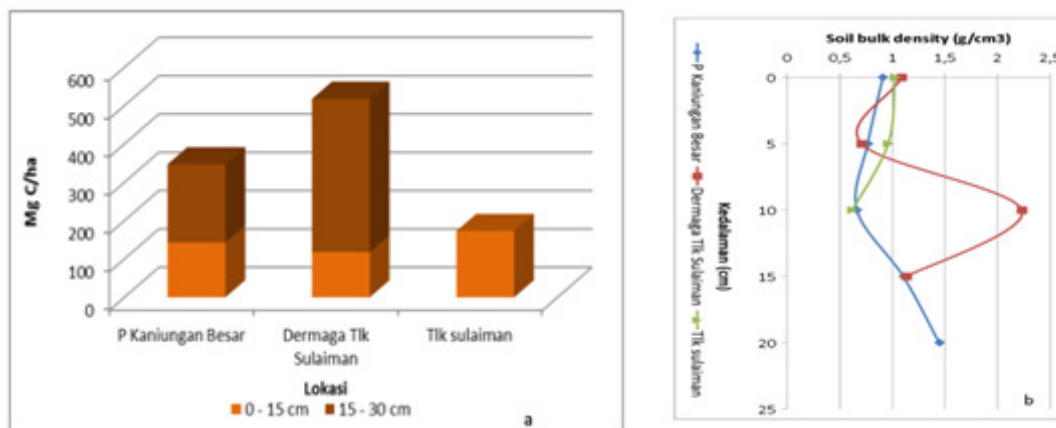
Gambar Gambar 6. Stok karbon rata rata ekosistem lamun dalam tiga kolam penyimpanan (sedimen, biomasa bagian atas dan biomasa bagian bawah) di lokasi penelitian.

Figure 6. The average carbon stock of seagrass ecosystem in three carbon pool (sediment, above ground biomass and below ground biomass) at the study site.

ini bisa dipakai di Indonesia (Rahmawati *et al.*, 2019). Besarnya biomassa total ekosistem lamun di Biduk-Biduk berdasarkan lokasi Pulau Kaniungan Besar dan Teluk Suleman sebesar 0,002 MgC/ha (Gambar 6). Nilai ini lebih rendah dibandingkan di Kepulauan Derawan berkisar 0,024 – 0,142 MgC/ha (Kepel *et al.*, 2015), 1,32 MgC/ha Tanjung Lesung, Banten (Rustam *et al.*, 2014) dan Kepulauan Spermonde 0,77 – 1,89 MgC/ha (Rustam *et al.*, 2017). Nilai karbon stok per hektar pada biomasa lamun di Biduk Biduk rendah dikarenakan lamun yang ada merupakan lamun pioner yang memiliki biomasa yang kecil.

Nilai stok karbon ekosistem lamun Biduk-Biduk

terbesar di sedimen, dibandingkan sedimen nilai stok karbon biomasa sangat rendah. Hal ini disebabkan bahwa kondisi lamun di Biduk Biduk merupakan lamun berukuran kecil walaupun membentuk hamparan nilai stok karbon tetap rendah dibandingkan sedimen. Nilai tinggi di sedimen dapat disebabkan sedimen tempat tumbuh lamun merupakan sedimen karbonat (sedimen asli laut) yang berasal dari pecahan cangkang, karang dan biota bercangkang lainnya yang tinggi kandungan karbonatnya yang ditunjukkan dengan pasir berwarna putih dan yang terukur masih kandungan karbon total (Gambar 2 dan 6). Keberadaan lamun di lokasi ini akan menjaga kandungan karbon di sedimen agar tidak lepas ke kolom air baik dengan proses fisik (arus)



Gambar 7. (a) Stok karbon total (organik dan anorganik) pada sedimen; (b) nilai bulk density sedimen.

Figure 7. (a) Total carbon stock (organic and organic) at sediment; (b) bulk density value of sediment.

maupun kimia (remineralisasi) dengan adanya akar dan rizoma lamun yang akan mengikat sedimen. Hal ini ditunjukkan dengan nilai karbon sedimen pada kedalaman lebih dari 15 cm lebih besar dibandingkan permukaan (Gambar 7).

Stok karbon total rata-rata sedimen lamun yang terukur sampai kedalaman 30 cm sebesar $403,67 \pm 57,1$ Mg C/ha. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan nilai stok karbon total di sedimen di Tanjung Lesung sampai kedalaman 30 cm sebesar 171,72 MgC/ha (Rustam *et al.*, 2014) dan lebih rendah dibandingkan Pulau Kapoposang, Kepulauan Spermonde 415,35 MgC/ha kedalaman yang sama 30 cm (Rustam *et al.*, 2017). Diketahui bahwa lamun tumbuh di laut yang umumnya merupakan sedimen karbonat yang tinggi kandungan karbonnya. Kandungan karbon total di sedimen berkisar antara 11,12 – 12,46 persen dari berat kering sedimen. Nilai *soil bulk density* sedimen berkisar antara 0,62 – 2,23 dengan rata-rata $1,06 \pm 0,13$. Untuk nilai stok karbon organik tidak diukur, namun melihat posisi dan karakteristik keberadaan lamun perairan Biduk Biduk yang berada di Selat Makassar diketahui nilai stok karbon organik di Pulau Kapoposang perairan Spermonde sebesar 32,1 MgC/ha (Rahayu *et al.*, 2019) kurang lebih 7,7 % dari stok karbon total di sedimen. Maka jika diasumsikan sama nilai stok karbon organik di Biduk Biduk sebesar 8 % dari nilai stok karbon total 31,19734 MgC/ha, sehingga nilai stok karbon ekosistem lamun dalam tiga kolam karbon sebesar 31,19934 MgC/ha atau nilai stok karbon organik di sedimen sebesar 99,9936%. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan karbon di sedimen tempat tumbuh lamun (vegetasi) tinggi, keberadaan lamun akan menjaga sedimen tetap stabil (Boer, 2000). Selain itu keberadaan lamun berperan dalam penambahan fraksi

inorganik karbon di sedimen dengan proses presipitasi, disolusio dan sedimentasi yang bergantung dengan aktivitas metabolisme dan struktur tanaman lamun itu sendiri sehingga dapat dikatakan ekosistem lamun sebagai tempat penyimpanan sedimen karbonat (Mazarrasa *et al.*, 2015).

Konektivitas ekosistem lamun Biduk Biduk dengan konservasi penyu dan produktivitas ikhtiofauna

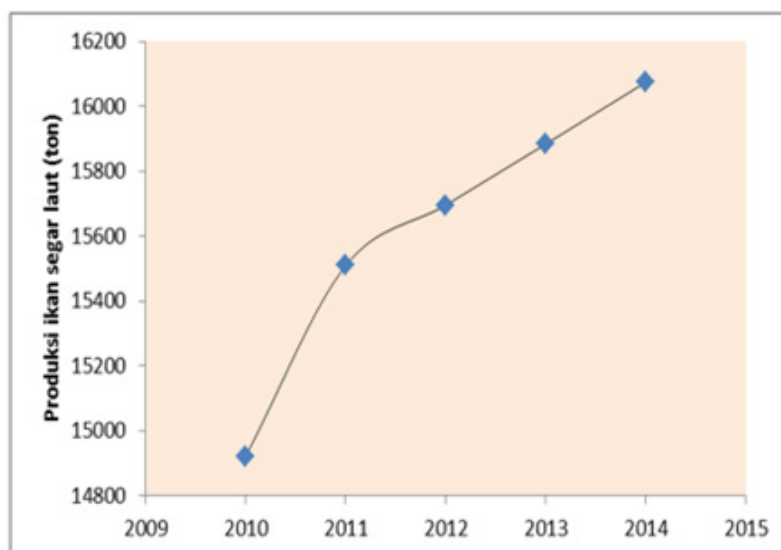
Kawasan perairan Kabupaten Berau terutama Kepulauan Derawan merupakan salah satu habitat penyu hijau (*Chelonia mydas*) di dunia. Konektivitas ekosistem lamun di Kabupaten Berau berdasarkan daerah konservasi atas keberadaan penyu sangat penting. Berdasarkan hasil penelitian selama tahun 2012 sampai dengan 2016, dari 7 lokasi penelitian 86 % terlihat keberadaan penyu di lokasi (Tabel 3). Pulau Semama merupakan salah satu lokasi tempat bertelur dari tujuh pulau (Pulau Derawan, Pulau Semama, Pulau Sangalaki, Pulau Belambangan, Pulau Sambit, Pulau Mataha, dan Pulau Bilang-Bilangan) yang ada di Kabupaten Berau yang juga lokasi penangkaran penyu yang dikelola BKSDA KLHK (WWF, 2016).

Populasi penyu terus merosot di Kabupaten Berau akibat masih ada perilaku yang merusak dari sebagian masyarakat dengan melakukan penangkapan menggunakan jaring yang tidak ramah lingkungan sehingga penyu tertangkap (*bycatch*) ataupun pengambilan telur penyu untuk konsumsi. Berdasarkan data di Pemda Kabupaten Berau, tahun 1999 terdapat 27.120 sarang penyu dengan produksi telur mencapai 2.535.280 butir pertahun. Tidak mengherankan jika pada masa itu omzetnya mencapai lebih dari 2-3 miliar pertahun. Akibatnya, populasi penyu hijau pun menurun drastis (WWF, 2016). Adanya Perbub No.

Tabel 3. Penelitian lamun di Kabupaten Berau 2012 – 2016 oleh Pusat Riset Kelautan, BRSDMKP KKP dengan ditemukan penyu

Table 3. Seagrass research in Berau Regency from 2012 -2016 by Marine Research Center, BRSDMKP-KKP with the discovery of sea turtles

Lokasi	2012	2013	2014	2016	Ditemukan penyu
Pulau – Pulau dan Gosong Pasir					
Pulau Panjang	✓	-	✓	-	✓
Pulau Samama	✓	-	✓	-	✓
Pulau Derawan	✓	✓	-	-	✓
Pulau Maratua	✓	✓	-	-	✓
Pulau Sangalaki	-	✓	✓	-	✓
Gusung Kelimis	✓	-	-	-	-
Daratan Kalimantan/Pesisir Kabupaten Berau Biduk-Biduk	-	-	-	✓	✓



Gambar 8. Produksi perikanan segar dari laut Kabupaten Berau. (Sumber: BPS Berau, 2015a)
 Figure 8. Fresh Fish production from sea in Berau Regency. (Source: Statistics Indonesia of Berau, 2015a)

31 Tahun 2005 tentang kawasan konservasi daerah Kabupaten Berau seluas 1,2 juta ha, luasan berubah menjadi 285.266 ha berdasarkan SK Bupati Berau No. 516 Tahun 2013 tanggal 02 09-2013 dan berbagai perangkat peraturan mampu menekan penjualan telur penyu. Selain itu yang perlu diperhatikan adalah keberadaan lamun sebagai makanan penyu hijau harus dapat dijaga keberadaannya. Ancaman terhadap ekosistem lamun terutama dengan pesatnya sektor wisata terutama Kepulauan Derawan dengan pembangunan resort-resort dapat menghilangkan ekosistem lamun yang telah ada akibat proses pengerukan. Limbah rumah tangga/resort juga dapat menyebabkan perairan tercemar (*eutrofikasi*) sehingga lamun dapat tersuksei tergantikan oleh alga.

Konektivitas ekosistem lamun di Kabupaten Berau berdasarkan produktivitas ikhtiofauna ditunjukkan dengan produksi perikanan yang didapat dari data sekunder Biro Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Berau tahun 2015 walaupun tidak mencantumkan secara pasti besarnya produksi ikan segar yang hidup di lamun seperti beronang (*Siganus sp*). Perikanan laut menjadi salah satu produk unggulan bagi sebagian besar masyarakat yang tinggal di pesisir dengan nelayan sebagai mata pencaharian utama. Selama kurun waktu 2010-2014, produksi ikan segar di Kabupaten Berau menunjukkan peningkatan sebesar 7,72 persen dengan peningkatan setiap tahun berkisar antara 1 hingga 4 persen. Pada tahun 2010, produksi ikan segar sebanyak 14.922,4 ton dan terus meningkat pada tahun tahun selanjutnya, hingga mencapai 16.075 ton pada tahun 2014 (BPS Berau, 2015b).

Selain itu konektivitas produksi dengan ikhtiofauna juga berhubungan dengan produktivitas lamun dalam ekosistem pesisir bersama ekosistem mangrove sebagai sumber makanan. Banyak ikan ekonomis yang tertangkap di perairan karang atau laut lepas menghabiskan sebagian besar hidupnya di ekosistem lamun dan ekosistem mangrove. Ikan jenis *Lutjanus sp* atau kakap besar di terumbu karang ketika memijah di daerah mangrove, anakan akan berpindah ke daerah padang lamun (Dahuri, 2003; Janes *et al.*, 2020).

KESIMPULAN DAN SARAN

Lamun yang ditemukan di kecamatan Biduk-Biduk yang terbagi dua kelompok (P. Kaniungan Besar dan Teluk Suleman) ada delapan spesies lamun yang terdiri dari dua famili yaitu *Hydrocharitaceae* dan *Cymodoceaceae*. Empat jenis dari famili *Hydrocharitaceae* yaitu *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii* *Halophila decipiens* dan *Halophila ovalis*. Empat jenis dari famili *Cymodoceaceae* yaitu *Cymodocea rotundata*, *Halodule uninervis*, *Halodule pinifolia* dan *Syringodium isoetifolium*. Kisaran prosentase penutupan di Pulau Kaniungan Besar berkisar 0 – 45 % dengan rata-rata 23,46% dan di Teluk Suleman 0 – 70 % dengan rata-rata 13,49 %. Lamun jenis *Halophila ovalis* berperan penting di Pulau Kaniungan Besar (INP=84%), di Teluk Suleman jenis *Halodule pinifolia* (INP=184 %). Karbon stok total ekosistem lamun pada biomasa di lokasi penelitian sebesar 2,11 kgCorg/ha (0,002 Mg Corg/ha) setara dengan penyerapan 7,74 kgCO_{2e}/ha (0,008 Mg Cor/ha). Karbon stok di sedimen sebesar 31,197 MgCorg/ha. Jenis biota penting yang berasosiasi

dengan ekosistem lamun adalah penyu hijau dengan layanan ekosistem lamun sebagai sumber makanan, pembesaran dan pemijahan berbagai ikhtiofauna (ikan, udang dan kerang) meningkatkan produksi perikanan tahun 2014 di Kabupaten Berau sebesar 7,7 % sejak tahun 2010.

Diperlukan penelitian secara keseluruhan yang komprehensif terutama untuk ekosistem lamun, khususnya di Kecamatan Biduk-Biduk, karena belum tersedianya data terkait dengan konservasi penyu dan kesehatan perairan secara menyeluruh. Selain itu diperlukan penelitian yang time series terkait kesehatan perairan karena adanya potensi usaha yang merusak di daratan seperti usaha penebangan pohon dan pertambangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan sebagian hasil kegiatan penelitian Karbon Biru tahun 2016 di Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir (P3SDLP), Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Judul kegiatan “Kajian Karbon Biru Ekosistem Pesisir Pada Kawasan Konservasi dan Rehabilitasi”. Nomor DIPA 032.11.04.2373.002.001.051A, TA 2016. Berdasarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 6/PERMEN-KP/2017 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Kelautan dan Perikanan, institusi ini menjadi Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia Kelautan dan Perikanan. Semua penulis adalah kontributor utama.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmadipoera, A. S., & Mubaraq, G. L. (2016). Struktur dan variabilitas Arlindo di Laut Sulawesi. *Jurnal Kelautan Nasional*, 11(3), 159-174.
- Boer, W. F. (2000). Biomass dynamics of seagrasses and the role of mangrove and seagrass vegetation as different nutrient sources for an intertidal ecosystem in Mozambique. *Aqua Bot*, 66, 225-239.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Berau. (2015a). Berau dalam Angka 2015. Katalog BPS: 1102001.6405. 307 hal.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Berau. (2015b). Statistik Daerah Kabupaten Kabupaten Berau

2015. Katalog BPS: 1101002.6405. 61.
- Brower, J. E., Zar, J. H., & Von-Ende, C. (1990). *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. Wm.C. Brown Publisher. USA. 345 pp.
- Duarte, C. M., & Chiscano, C. L. (1999). Seagrass biomass and production: a reassessment. *Aquatic Botany*, 65, 159–174.
- Duarte, C. M. (2002). The future of seagrass meadow. *Environmental Conservation*, 29(2), 192-206. doi: 10.1017/S0376892902000127
- English, S., Wilkinson, C., & Baker, V. (1994). *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. ASEAN-Australia Marine Science. Project: Living Coastal Resources. Townsville.
- Fachrul, F. (2007). *Metode Sampling Bioekologi*. Bumi Aksara Prees. Jakarta.
- Gordon, A. L., Sprintall, J., Aken, H. M. V., Susanto, R. D., Wijffels, S., Molcard, R., Ffield, A., Pranowo, W., & Wirasantosa, S. (2010). The Indonesian throughflow during 2004–2006 as observed by the INSTANT program. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*. 50(2):1-14. doi: 10.1016/j.dynatmoce.2009.12.002.
- Hearne, E. L., Johnson, R. A., Gulick, A. G., Candelmo, A., Bolten, A. B., Bjorndal, K. A. (2019). Effects of green turtle grazing on seagrass and macroalgae diversity vary spatially among seagrass meadows. *Aquatic Botany*, 152(January 2019), 10-15. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2018.09.005>
- Heithaus, M.R., Alcoverro, T., Arthur, R., Burkholder, D.A., Coates, K.A., Christianen, M.J.A., Kelkar, N., Manuel, S. A., Wirsing, A. J., Kenworthy, W. J., & Fourqurean, J. W. (2014). Seagrasses in the age of sea turtle conservation and shark overfishing. *Front. Mar. Sci*, 1(28,1-6). doi: 10.3389/fmars.2014.00028
- Hillman, K., Walker, D. J., Larkum, A. W. D., & Mc Comb, A. J. (1989). Productivity and nutrient limitation of seagrasses. Dalam: Larkum, A.W., McComb, D.A.J & Shepherd, S.A. (eds). *Biology of Seagrasses*. Netherland: Elsevier Science Publishers.
- Ibrahim, A., Djumanto., & Probosunu, N. (2016).

Sebaran lokasi peneluran penyu hijau (*Chelonia mydas*) di Pulau Sangalaki Kepulauan Derawan Kabupaten Berau. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 18(2), 39-46.

monitoring seagrass resources by community (citizen) volunteers 2nd edition. The state of Queensland, Department of Primary Industries, CRC Reef. Queensland. pp 104.

- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2016). Data kawasan konservasi kabupaten Berau. Diakses 13 September 2016, dari <http://kkji.kp3k.kkp.go.id/index.php/basisdata-kawasan-konservasi/details/1/89>
- Kepel, T. L., Ati, R. N. A., Rustam, A., Amri, S. N., & Hutahean, A. (2015). Ekosistem Karbon Biru Lamun di Pulau Pulau Kecil Kepulauan Derawan, Kalimantan Timur. Dalam Pranowo, W.S dan Brodjonegoro, I.S. *Ekonomi Biru Sumberdaya Pesisir*. P3SDLP, Balitbang KP, KKP. Hal 61 – 78. e-ISBN 978-602-9086-41-6.
- Keputusan Bupati Berau No 516. (2013). Tentang pencadangan kawasan konservasi pesisir dan pulau pulau kecil sebagai taman pesisir kepulauan Derawan kabupaten Berau.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 51. (2004). Tentang Baku Mutu Air Laut. 9 hal.
- Krebs, C. J. (1989). *Ecological methodology*. Harper and Row Publ. New York.
- Lee, C. D., Wang, S. B., & Kuo, C. L. (1978). Benthic Macroinvertebrate and Fish as Biological Indicators of Water Quality, With Reference of Community Diversity Index. *Bangkok. International Conference on Water Pollution Control in Development Countries*.
- Lee, K. S., Park, S. R., & Kim, Y. K. (2007). Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of seagrasses: A review. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 350, 144–175.
- Mazarrasa, I., Marba, N., Lovelock, C. E., Serrano, O., Lavery, P. S., Fourqurean, J. W., Kennedy, Hilary, Mateo, M. A, Krause-Jensen, D., Steven, A. D., Duarte, C. M. (2015). Seagrass meadows as a globally significant carbonate reservoir. *Biogeosciences*, 12(16), 4993-5003. DOI: 10.5194/bg-12-4993-2015.
- McKenzie, L.J., Campbell, S.J & Roder, C.A. (2003). *Seagrasswatch: Manual for mapping & monitoring seagrass resources by community (citizen) volunteers 2nd edition*. The state of Queensland, Department of Primary Industries, CRC Reef. Queensland. pp 104.
- Peraturan Bupati Berau Nomor 31 Tahun 2005 (2005). Tentang Kawasan konservasi laut Kabupaten Berau.
- Rahayu, Y. P., Solihuddin, T., Kusumaningtyas, M. A., Ati, R. N. A., Salim, H. L., Rixen, T., & Hutahean, A. A. (2019). The Sources of Organic Matter in Seagrass Sediments and Their Contribution to Carbon Stocks in the Spermonde Islands, Indonesia. *Aquatic Geochemistry*, 25, 161-178. <https://doi.org/10.1007/s10498-019-09358-7>
- Rustam, A., T. L. Kepel, R.N Afiati, H. L. Salim, M. A. Kusumaningtyas. A. Daulat, P. Mangindaan, N. Sudirman, Y. P. Rahayu, D.D Suryono & A. Hutahean. 2014. Kajian dan potensi Blue Carbon pada ekosistem padang lamun di Tanjung Lesung, Banten. *J Segara Vol 10 No. 2: 107-117*
- Rustam, A., Adi, N. S., Ati, R. N. A., Kepel, T. L., Daulat, A., et.al. (2015). BLUE CARBON: Program Inisiatif Blue Carbon Indonesia Kep. Derawan-Berau, Kalimantan Timur. (Editor: Pranowo, W.S & Hutahean, A.A). Jakarta: Pusat Riset Kelautan.
- Rustam, A., Sudirman, N., Ati, R. N. A., Salim, H. L., & Rahayu, Y. P. (2017). Seagrass ecosystem carbon stock in the small islands: case study in Spermonde island, South Sulawesi, Indonesia. *J Segara*. 13(2), 97–106.
- Setiawan, D., Riniatsih, I., & Yudiati, E. (2013). Kajian Hubungan Fosfat Air dan Fosfat Sedimen terhadap pertumbuhan lamun *Thalassia hemprichii* di Perairan Teluk Awur dan pulau Panjang Jepara. *Journal of Marine Research*, 2(2), 39-44.
- Short, F. T., Coles, R. G., & Martini, C. P. (2001). Global seagrass distribution. Dalam Short FT and Coles RG. 2001. *Global Seagrass Research Methods*, 5- 30. DOI:10.13140/2.1.2569.6324
- Short, F. T., McKenzie, L. J., Coles, R. G., Vidler K. P., & Gaeckle, J. L. (2006). *SeagrassNet Manual for Scientific Monitoring of Seagrass*

Habitat, Worldwide edition. University of New Hampshire Publication. 75 hlm.

Sprintall, J., Wijffels, S. E., Molcard, R., Jaya, I. (2009). Direct estimates of the Indonesian Throughflow entering the Indian Ocean: 2004-2006. *J. Geophys Res.* 114, 1- 19. doi:10.1029/2008JC005257

TNC. The Nature Conservancy –IMP Berau. (2013). Identifikasi CAP Biduk-Biduk. MPAG Marine Protected Area Governance. 26 hal.

Tol, S. J., Jarvis, J. C., York, P. H., Grech, A., Congdon, B. C. & Coles, R. G. (2017). Long distance biotic dispersal of tropical seagrass seeds by marine mega-herbivores. *Scientific Reports*, 7, 4458 DOI:10.1038/s41598-017-04421-1

Tomascik, T., Mah, A. J., Nontji, A., & Moosa, M. K. (1997). The Ecologi Of Indonesian Seas. Part two. *The Ecologi of Indonesia Series*. Volume VII

Wirsing, A. J., Heithaus, M. R., & Dill, L. M. (2007). Fear factor: do dugongs (Dugong dugon) trade food for safety from tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*). *Oecologia*, 153, 1031–1040. DOI 10.1007/s00442-007-0802-3

World Wildlife Fund (WWF). (2016). Penyu berau menetas dalam ancaman. Di akses tanggal 13 September 2016, dari http://www.wwf.or.id/berita_fakta/?29301/penyu-berau-menetas-dalam-ancaman.

