

Potensi Karbon Biru Pesisir Kalimantan Barat

Ayunda Annisa Putri¹, Aji Ali Akbar^{1*}, Romiyanto², Dian Rahayu Jati¹, Ochih Saziati¹

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura

²Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura

Jl. Prof. Dr. H.Hadari Nawawi, Pontianak, Kalimantan Barat 78124 Indonesia

Email Korespondensi:aji.ali.akbar.2011@gmail.com

Abstrak

Potensi karbon biru (*blue carbon*) di pesisir Kalimantan Barat terdapat pada ekosistem mangrove, padang lamun, dan terumbu karang. Ketiga ekosistem ini tersebar di Kabupaten Sambas, Bengkayang, Mempawah, Kubu Raya, Ketapang dan Kota Singkawang. Penelitian ini bertujuan mengetahui luas dan keanekaragaman jenis ekosistem pesisir terkait dengan potensi karbon biru. Metode non-destruktif digunakan untuk mengkaji kemampuan ekosistem pesisir dalam menyerap karbon. Mangrove didominasi jenis didominasi oleh *Rhizophora spp.*, *Avicennia spp.*, *Bruguiera spp.*, *Sonneratia alba*, *Excoecaria agallocha*, dan *Nypa fruticans*. Padang lamun didominasi jenis *Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides*, sementara terumbu karang didominasi jenis *Porites spp.* dan *Montipora spp.* Estimasi serapan karbon terbesar berada di Kubu Raya sebesar 0,026 PgC (0,095 PgCO₂e) dan yang terkecil berada di Kota Singkawang sebesar 0,000032 PgC (0,00012 PgCO₂e). Penelitian ini mengungkap bahwa kemampuan serapan karbon berbanding lurus dengan luas ekosistem pesisir. Ekosistem mangrove merupakan ekosistem yang memiliki kemampuan dalam menyerap karbon, daripada ekosistem lamun dan terumbu karang. Upaya antropogenik memperparah degradasi ekosistem di pesisir Kalimantan Barat.

Kata kunci : Mangrove, lamun, karang, non-destruktif, pesisir

Abstract

The Blue Carbon Potential of West Kalimantan Coastal

The potency of blue carbon in the West Kalimantan is found in mangroves, seagrass beds, and coral reefs ecosystem. Sambas, Bengkayang, Mempawah, Kubu Raya, Ketapang, and Singkawang regencies coastal had a big potential blue carbon. This study aims to estimate the potential of blue carbon on coastal ecosystems diversity. This research was applying a non-destructive method to quantify the carbon sequestration of the ecosystems. Rhizophora spp., Avicennia spp, dominates mangrove, in Kalimantan Barat. Bruguiera spp., Sonneratia alba, Excoecaria agallocha, dan Nypa fruticans, for mangroves, Thalassia hemprichii and Enhalus acoroides for seagrass and Porites spp. and Montipora spp, for coral reefs. The most extensive estimated carbon sequestration is in Kubu Raya regency with 0.026 PgC (0.095 PgCO₂e), and the smallest one is in the Singkawang regency with 0.000032 PgC/ha (0.00012 PgCO₂e/ha). Based on this research, it is observed that the ability of carbon sequestration is directly influenced by the coverage area of the coastal ecosystem, especially the mangrove forest which are dynamic due to anthropogenic activities.

Keywords : Mangroves, seagrass, coral reef, non-destructive method, Coastal

PENDAHULUAN

Provinsi Kalimantan Barat terletak pada posisi 2°05'LU-3°05'LS dan 108°30'-114°10'BT memiliki wilayah pesisir dan kepulauan dengan garis pantai 1.398 km dengan total luas laut

sebesar 30.364,59 km². Wilayah pesisir di Kalimantan Barat terdiri dari Kabupaten Sambas, Bengkayang, Mempawah, Kubu Raya, Kayong Utara, Ketapang dan Kota Singkawang yang memiliki ekosistem pesisir seperti mangrove,

*Corresponding author

DOI:10.14710/buloma.v12i3.52009

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/buloma>

Diterima/Received : 24-01-2023

Disetujui/Accepted : 30-08-2023

lamun, dan terumbu karang (Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut, 2021).

Wilayah pesisir Kalimantan Barat memiliki potensi dalam upaya mitigasi iklim melalui sekuestrasi karbon. Hal ini berkaitan dengan tindakan memperlambat perubahan iklim dengan mengombinasikan reduksi emisi di atmosfer dan meningkatkan penyimpanan karbon di tanah (Kumar *et al.*, 2017). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2021) melaporkan penyumbang terbesar tingkat emisi GRK di tahun 2019 adalah sektor kehutanan dan kebakaran gambut sebesar 50% dari total emisi. Kondisi alih fungsi lahan dan karhutla di hutan menyebabkan upaya alternatif lain dibutuhkan dalam mitigasi perubahan iklim, yaitu memanfaatkan daerah pesisir dan laut yang mampu menyerap dan menyimpan karbon lebih besar serta lebih lama (McLeod *et al.*, 2011).

Kemampuan penyerapan pesisir oleh mangrove dan padang lamun di Indonesia mencapai 3,4 PgC atau sekitar 17% dari total karbon biru dunia (Alongi *et al.*, 2016). Perkiraan penyimpanan karbon per satuan luas lahan basah pesisir empat hingga lima kali lebih tinggi daripada rata-rata ekosistem terrestrial (Alongi, 2014; Byun *et al.*, 2019) dikarenakan sekitar 50%-90% total karbon disimpan di dalam sedimen (Lawrence, 2013). Jenis mangrove di Kubu Raya (Kalimantan Barat) memiliki potensi yang besar dalam upaya mitigasi iklim karena mampu menyerap CO₂ dalam jumlah besar (Heriyanto dan Subiandono, 2016). Potensi wilayah pesisir Kalimantan Barat sebagai penghasil karbon biru dalam upaya mitigasi iklim di Kalimantan Barat menjadi kajian yang menarik untuk diteliti.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di sepanjang pesisir Kalimantan Barat. Wilayah penelitian di bagian darat mencakup wilayah pesisir yang dibatasi dengan batas administrasi kabupaten hingga 12 mil kearah laut lepas. Metode yang digunakan berupa *non-destructive* dengan sumber data sekunder melalui analisis deskriptif dan analisis kuantitatif. Analisis deskriptif dilakukan dengan mengkaji jurnal-jurnal lokal tahun 2004-2020 dari berbagai sumber dengan kata kunci keanekaragaman mangrove, lamun, terumbu karang, pesisir, Kalimantan Barat. Didukung dengan dokumen dan hasil analisis citra dari berbagai instansi terkait, seperti 1) Keanekaragaman Jenis Ekosistem Pesisir di Kalimantan Barat Tahun 2012-2020 (BKSDA

Seksi Konservasi Wilayah I Ketapang, 2021-Deskriptif); 2) Peta Distribusi Mangrove Tahun 2020; 3) Peta Distribusi Padang Lamun Tahun 2020; dan Peta Distribusi Terumbu Karang Tahun 2020 (Balai Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut, 2021-*Shape file*).

Sementara itu, analisis kuantitatif dilakukan untuk mengestimasi kemampuan ekosistem pesisir dalam menyerap karbon (ton C) sebagai data primer penelitian. Estimasi penyerapan karbon menggunakan Tier 1 dan Tier 2, yaitu penggabungan harga stok karbon (ton C/ha) dari data spesifik Indonesia dan nilai default global jika data spesifik Indonesia tidak tersedia (Sidik *et al.*, 2017) sesuai dengan Tabel 1. Selanjutnya, untuk mengetahui kemampuan serapan karbon masing-masing ekosistem pada setiap kabupaten pesisir di Kalimantan Barat dilakukan dengan mengalikan luas area ekosistem dengan rata-rata stok karbon yang didapatkan (Howard *et al.*, 2014).

Serapan Karbon (ton C)

$= \text{Luas Ekosistem (ha)} \times \text{Stok Karbon (ton C /ha)}$

Serapan karbondioksida dapat diperoleh diketahui dengan mengkonversi hasil perhitungan serapan karbon dengan menggunakan rumus berikut (Kindangen *et al.*, 2022):

TonCO_2e

$= \text{Total kandungan karbon (C)} \times 3,67$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mangrove merupakan ekosistem pesisir paling produktif yang menyediakan habitat untuk berbagai spesies dan layanan bagi kehidupan manusia (Carugati *et al.*, 2018). Mangrove dapat ditemukan di sepanjang wilayah pesisir Provinsi Kalimantan Barat. Berdasarkan hasil analisis deskriptif, keanekaragaman mangrove di pesisir Kalimantan Barat didominasi oleh *Rhizophora spp.*, *Avicennia spp.*, *Bruguiera spp.*, *Sonneratia alba*, *Excoecaria agallocha*, dan *Nypa fruticans*.

Jenis mangrove tiap kabupaten memiliki spesialisasi berbeda, seperti pada wilayah Kabupaten Kubu Raya, Kayong Utara, dan Sambas yang didominasi jenis *riverine mangroves*, yaitu vegetasi mangrove yang tumbuh di sepanjang hilir sungai, antara lain *Rhizophora spp.*, *Avicennia spp.*, dan *Bruguiera spp.*, dipengaruhi oleh keberadaan muara sungai dan delta berlumpur sehingga dapat tumbuh dengan optimal. Sementara itu, Kabupaten Bengkayang dan Kota Singkawang cenderung memiliki jenis

Tabel 1. Karbon stok ekosistem pesisir

| Objek Penelitian | Stok Karbon (ton C/ha) | Sumber |
|------------------|------------------------|---|
| Mangrove | *201,7 | *) KLHK, (2021)**) Rustam <i>et al.</i> , (2015)***) Sari, (2016) |
| Padang lamun | **0,20 | |
| Terumbu karang | ***8,76 | |

fringe mangrove yang terdiri dari *Sonneratia spp.* dan *Avicennia spp.* yang tumbuh di sepanjang lokasi pesisir dan pulau-pulau lepas pantai (Noor *et al.*, 1999).

Perbedaan jenis mangrove pada setiap kabupaten pesisir di Kalimantan Barat berkaitan dengan zonasi ekosistem mangrove yang ditentukan oleh jarak dari garis pantai, jenis substrat, salinitas, lama penggenangan, dan arus pasang surut. Mangrove di Kalimantan Barat hidup pada salinitas tanah 25,20 ppt, suhu 28°C, pH tanah 6,50 dan oksigen terlarut 5,53 mg/L serta tekstur tanah lumpur lempung (*Meidiana et al.*, 2019). Mangrove tumbuh optimal pada jenis substrat lempung liat berdebu (*silty clay loam*), lempung berdebu (*silt loam*), dan lempung berpasir (*sandy loam*) yang berperan penting dalam regenerasi mangrove (*Meidiana et al.*, 2019). Jenis *Rhizophora* pada dasarnya merupakan jenis mangrove yang sangat mendominasi di pesisir Kalimantan Barat karena sifat adaptatif yang tinggi terhadap perubahan kondisi lingkungan seperti salinitas, substrat, pH dan suhu (Rosalina dan Rombe, 2021).

Kemampuan serapan tiap jenis mangrove di Kalimantan Barat berbeda-beda. Di Kabupaten Kubu Raya, *Rhizophora apiculata* memiliki kandungan karbon yaitu 108,1 ton C/ha, *Bruguiera gymnorhiza* sebesar 55,19 ton C/ha, *Sonneratia alba* sebesar 27,97 ton C/ha, dan *Xylocarpus mollucenssis* sebesar 28,27 ton C/ha dengan kandungan karbon rata-rata 219,53 ton C/ha (805,68 ton CO₂/ha) (Heriyanto dan Subiandono, 2016). Sementara jenis *Avicennia marina* 79,78 mgC/ha, *Bruguiera gymnorhiza* sebesar 10,10 mgC/ha, dan *Rhizophora stylosa* 9,35 mgC/ha, dengan rata-rata serapan karbon sebesar 99,23 mgC/ha (Dinilhuda *et al.*, 2020). Selain jenis vegetasi, serapan karbon pada mangrove dipengaruhi kerapatan, ukuran batang, dan dominasi (Nugroho *et al.*, 2019). Selain jenis vegetasi, sedimen mangrove turut andil dalam penyimpanan karbon. Sedimen mangrove di Sambas dapat menyimpan sekitar 12,43 Mg/ha (*Meidiana et al.*, 2019).

Lamun merupakan tumbuhan tingkat tinggi (*Anthophyta*) termasuk tumbuhan monokotil yang memiliki akar dan batang dan tumbuh di di daerah muara sungai, pesisir, dan laut hingga kedalaman 90 meter yang akan membentuk komunitas dan berinteraksi dengan biota laut lainnya sehingga menciptakan ekosistem padang lamun pesisir dan laut (Rahmawati *et al.*, 2014; Short dan Novak, 2016; Sjafrie *et al.*, 2018). Monitoring lamun di Kalimantan Barat masih sangat minim dilakukan karena kurangnya edukasi tentang keberadaan dan pentingnya lamun bagi wilayah pesisir. Lamun dapat ditemukan di Kabupaten Bengkayang, Mempawah, Kayong Utara, Ketapang dan Kota Singkawang seperti pada Tabel 3.

Hasil penelitian ini didapatkan berdasarkan hasil monitoring padang lamun di Kalimantan dengan jenis yang dominan adalah *Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides* (Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut, 2021). Faktor pembatas yang mempengaruhi pertumbuhan lamun ialah suhu, cahaya, salinitas, kedalaman, substrat dasar, nutrient serta pegerakan muka air laut (Rugebregt *et al.*, 2020). Lamun di pesisir Kalimantan Barat tumbuh di lingkungan dengan suhu 30.5°C dengan salinitas 32⁰/₀₀, kedalaman 0,5-1 meter, pH 8.5, dan arus 0,2-0,4 m/s dengan jenis substrat pasir-berlumpur dalam kategori rusak/miskin (Gusmalawati *et al.*, 2018; Octavina *et al.*, 2020). Jenis *Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides* cenderung lebih melimpah pada lokasi dengan salinitas lebih tinggi dan persentase substrat pasir kasar yang lebih tinggi dari rata-rata (Irawan dan Nganro, 2016). Di Kalimantan Timur, jenis lamun yaitu *Thalassia hemprichii*, *Enhalus acoroides*, dan *Halodule spp.* memiliki kandungan karbon rata-rata sebesar 0,67 ton C/ha (Wahyudi *et al.*, 2018). Penelitian yang dilakukan di Tajung Lesung, menunjukkan bahwa *Enhalus acoroides*, *Cymodocea serulata*, dan *Syringodium isoetifolium* berkontribusi dalam mitigasi iklim melalui penyimpanan karbon hingga 132,18 gC/m² (Rustam *et al.*, 2013).

Terumbu karang terbentuk dari endapan-endapan masif kalsium karbonat yang dihasilkan oleh organisme karang pembentuk terumbu (karang hermatifik) dari filum Cnidaria, ordo Sclerectinia yang bersimbiosis dengan alga *zooxanthellae* dan sedikit tambahan alga berkapur dan organisme lain yang mengsekresi kalsium karbonat (Zurba, 2018). Berdasarkan morfologinya, Keanekaragaman jenis terumbu karang di Kalimantan Barat ditunjukkan pada Tabel 4.

Terumbu karang di Kalimantan Barat dapat ditemukan pada Kabupaten Sambas, Bengkayang, dan Kayong Utara. Menurut Hadi *et al.*, (2020) terumbu karang di Pulau Kalimantan memiliki terumbu karang dengan kriteria yang kurang sehat. Samudera Hindia dan selalu mendapatkan hempasan gelombang yang sangat kuat turut berperan terhadap kurang berkembangnya karang di kawasan ini (Giyanto *et al.*, 2017). Pertumbuhan terumbu karang dipengaruhi oleh cahaya matahari, suhu, salinitas, sedimentasi, pH, kecepatan arus serta kandungan nitrat dan fosfat (Aini *et al.*, 2013).

Lamun dan terumbu karang tidak dapat ditemukan di Kabupaten Kubu Raya karena tingginya sedimentasi. Hal ini didukung oleh Rianto *et al.*, (2017) menyatakan bahwa parameter lingkungan perairan di Kubu Raya, kecerahan 0,20-0,36 meter, TSS 20,75-32,50 mg/L, TDS 148,75-485,50 mg/L dan salinitas 0 ppt, menciptakan kondisi lingkungan yang menghambat penetrasi matahari ke dalam perairan. Hambatan ini berdampak negatif pada proses

fotosintesis. Penyerapan karbon oleh terumbu karang dimungkinkan terjadi melalui proses asimilasi karena memiliki klorofil pada bagian polipnya.

Kondisi lingkungan yang berbeda-beda pada setiap kabupaten menjadi penyebab utama adanya perbedaan jenis dan luasan masing-masing ekosistem di suatu lokasi sesuai dengan Tabel 5. Sahami, (2018) menginformasikan mangrove tumbuh optimal di wilayah pesisir yang memiliki muara sungai besar dan delta yang membawa lumpur sehingga menjadikan Kalimantan Barat memiliki mangrove terluas kedua di Pulau Kalimantan setelah Provinsi Kalimantan Timur (KKP, 2022). Persebaran sedimen yang dipengaruhi oleh energi gelombang laut dan debit sungai dari hulu menyebabkan sedimen mengendap di muara sungai terutama saat air surut (Harjono *et al.*, 2017).

Keberadaan muara sungai dan delta berlumpur menghasilkan jenis substrat yang didominasi lanau berlempung (*silty clay*) yang membantu mengoptimalkan proses regenerasi (penangkapan buah) lebih baik (Irgan *et al.*, 2017; Masruroh dan Insafitri, 2020). Jenis mangrove di Kalimantan Barat didominasi oleh mangrove yang toleran terhadap substrat berlumpur dan asam, anoksik dan selalu tergenang, kadar garam tinggi, tanah kurang stabil dan pasang surut (Rosalina dan Rombe, 2021). Berdasarkan Howard *et al.*, (2014) luas suatu ekosistem dan stok karbon dapat mempengaruhi estimasi kemampuan serapannya.

Tabel 2. Keanekaragaman jenis mangrove di Kalimantan Barat

| No | Kabupaten | Jenis Mangrove | Sumber |
|----|--------------|--|--|
| 1 | Sambas | <i>Avicennia alba</i> , <i>Avicennia marina</i> , <i>Rhizophora mucronata</i> , <i>Sonneratia alba</i> , <i>Bruguiera gymnorhiza</i> , dan <i>Excoecaria agallocha</i> | (Dekky <i>et al.</i> , 2016; Habdiansyah <i>et al.</i> , 2015) |
| 2 | Bengkayang | <i>Avicennia marina</i> , <i>Rhizophora mucronata</i> , dan <i>Rhizophora apiculata</i> | (Hariphin <i>et al.</i> , 2016) |
| 3 | Singkawang | <i>Sonneratia alba</i> , <i>Avicennia marina</i> , <i>Avicennia lanata</i> , <i>Rhizophora mucronata</i> | (Jumaedi, 2016; Nursofiaty <i>et al.</i> , 2020) |
| 4 | Mempawah | <i>Avicennia marina</i> , <i>Avicennia lanata</i> , <i>Avicennia alba</i> , <i>Bruguiera cylindrica</i> , <i>Rhizophora mucronata</i> dan <i>Nypa fruticans</i> | (Kuncoro <i>et al.</i> , 2019; Rumalean dan Purwanti, 2019) |
| 5 | Kubu Raya | <i>Rhizophora apiculata</i> , <i>Avicennia marina</i> dan <i>Avicennia lanata</i> | (Shah <i>et al.</i> , 2021) |
| 6 | Kayong Utara | <i>Rhizophora apiculata</i> dan <i>Avicennia marina</i> | (Harnanda dan Linda, 2018; Khairunnisa <i>et al.</i> , 2020) |
| 7 | Ketapang | <i>Rhizophora apiculata</i> dan <i>Bruguiera gymnorhiza</i> | (Padli <i>et al.</i> , 2019) |

Tabel 3. Keanekaragaman jenis lamun di Kalimantan Barat

| No | Kabupaten | Jenis Lamun | Sumber |
|----|--------------|---|--|
| 1 | Sambas | NA | |
| 2 | Bengkayang | <i>Thalassia hemprichii</i> dan <i>Enhalus acoroides</i> | (Gusmalawati, Seto, dan Sanova, 2018) |
| 3 | Singkawang | NA | |
| 4 | Mempawah | NA | |
| 5 | Kubu Raya | Tidak ditemukan | (Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut Pontianak, 2021) |
| 6 | Kayong Utara | NA | |
| 7 | Ketapang | <i>Enhalus acoroides</i> , <i>Thalassia hemprichii</i> , <i>Cymodocea serrulata</i> dan <i>Halodule uninervis</i> | (Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut Pontianak, 2021) |

*NA = Not Available

Kota Singkawang cenderung mengalami abrasi daripada akresi periode 2008-2017 (Pratama *et al.*, 2020). Abrasi menjadikan luas mangrove di Singkawang dan Bengkayang lebih kecil daripada kabupaten lainnya. Meningkatnya deforestasi mangrove di Kalimantan Barat disebabkan juga oleh alih fungsi lahan menjadi lahan terbuka, tambak, perkebunan kelapa sawit dan lahan pertanian (Akbar *et al.*, 2017).

Konversi lahan mangrove menjadi perkebunan kelapa dan tambak ikan serta udang mengakibatkan kerusakan mangrove rata-rata mencapai 0,18% per tahun sekitar 100 - 2.000 hektar (Akbar *et al.*, 2017). Deforestasi mangrove di Kalimantan Barat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan maupun masyarakat disekitarnya, antara lain perubahan komposisi vegetasi, menghambat regenerasi biota laut, menurunkan pendapatan masyarakat, abrasi secara intensif, intrusi air laut, penurunan kualitas air tanah, dan fenomena banjir rob (Auriliadan Saputra, 2020; Munasikhah dan Wijayanti, 2021). Berkurangnya kerapatan mangrove setiap tahun mengakibatkan keterbukaan wilayah pesisir tanpa penghalang atau peredam arus sehingga mengakibatkan kecenderungan abrasi karena pasang-surut, arus laut dan tinggi gelombang terutama pada angin musim barat dan musim timur (Adriat *et al.*, 2021).

Sementara itu, padang lamun dan terumbu karang terluas berada di Kabupaten Kayong Utara dan Bengkayang. Distribusinya dipengaruhi oleh tingkat sedimentasi yang tinggi. Namun, arus air yang cukup kuat membantu menurunkan tingkat sedimentasi di permukaan karang menjadi lebih kecil akibat fungsi *sediment rejector* dan penetrasi

cahaya matahari yang masih cukup baik membantu mempertahankan keberadaan terumbu karang dan lamun di Kalimantan Barat (Edrus *et al.*, 2004; Rahmawati *et al.*, 2014).

Sementara itu, kerusakan lamun dan terumbu karang di Perairan Kalimantan Barat didominasi oleh faktor antropogenik, seperti sedimentasi akibat penggundulan hutan mangrove dan pembangunan wilayah pesisir, penambangan emas liar, aktivitas kapal dan wisata, sampah antropogenik, *destructive fishing*, dan abrasi (Dewi *et al.*, 2021; Nurcahyanto *et al.*, 2021). Terumbu karang yang mati atau pecah mengakibatkan karang ditumbuhi oleh *turf algae* yang dapat menghambat pertumbuhan hingga mematikan karang karena kehilangan kemampuan dalam regenerasi mengakibatkan meningkatnya persentase DCA (*Dead Coral Algae*) (Swierts dan Vermeij, 2016). Persebaran ekosistem pesisir di Kalimantan Barat ditunjukkan oleh Gambar 1.

Penyerapan karbon berasal dari peningkatan karbon yang terserap dari proses fotosintesis dan penimbunan karbon (*carbon burial*) pada sedimen dan tanah melalui jaringan makanan. Laju kerusakan ekosistem pesisir dapat mencapai empat kali lebih besar dari daratan. Sekitar 40% inventarisasi karbon di pesisir penting untuk mengetahui simpanan karbon dan emisi karbon yang ditimbulkan serta berpotensi dilepaskan karena perubahan dari ketersediaan ekosistem pesisir dan (IUCN, 2017). Berdasarkan *Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics*, (2012) inventarisasi karbon pesisir dapat menggunakan Tier 2 dengan stok karbon di atas permukaan tanah ekosistem berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

serta literatur terkait dengan lokasi penelitian di Indonesia. Kemampuan serapan karbon dapat diketahui pada Tabel 6.

Berdasarkan hasil estimasi, dapat diketahui bahwa total simpanan karbon terbesar berturut-turut berada di Kabupaten Kubu Raya, Kayong

Utara, dan Sambas sebesar 0,026 PgC atau setara dengan 0,095 PgCO_{2e}, 0,005 PgC atau setara dengan 0,018 PgCO_{2e}, dan 0,0025 PgC atau setara dengan 0,009 PgCO_{2e}; dan yang terkecil berada di Kota Singkawang sebesar 0,000032 PgC setara dengan 0,00012 PgCO_{2e}.

Tabel 4. Keanekaragaman Jenis Terumbu Karang di Kalimantan Barat

| Kabupaten | Jenis Terumbu Karang | Sumber |
|-------------------------|---|--|
| Sambas | <i>Heliopora sp, Porites sp, Favites sp, Montipora sp, dan Favia sp.</i> | (Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut Pontianak, 2021) |
| Bengkayang | <i>Porites sp, Favia sp, Goniastrea sp, Galaxea sp, Montira felios, Merulina sp, Pachyseris sp, Montipora sp, Symphyllia sp, dan Pocillopora damicornis</i> | (Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut Pontianak, 2021) |
| Singkawang dan Mempawah | NA NA | |
| Kubu Raya | Tidak ditemukan | (Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut Pontianak, 2021) |
| Kayong Utara | <i>Acroporidae, Favidae dan Mussidae</i> | BKSDA Kalimantan Barat (2017) |
| Ketapang | NA | |

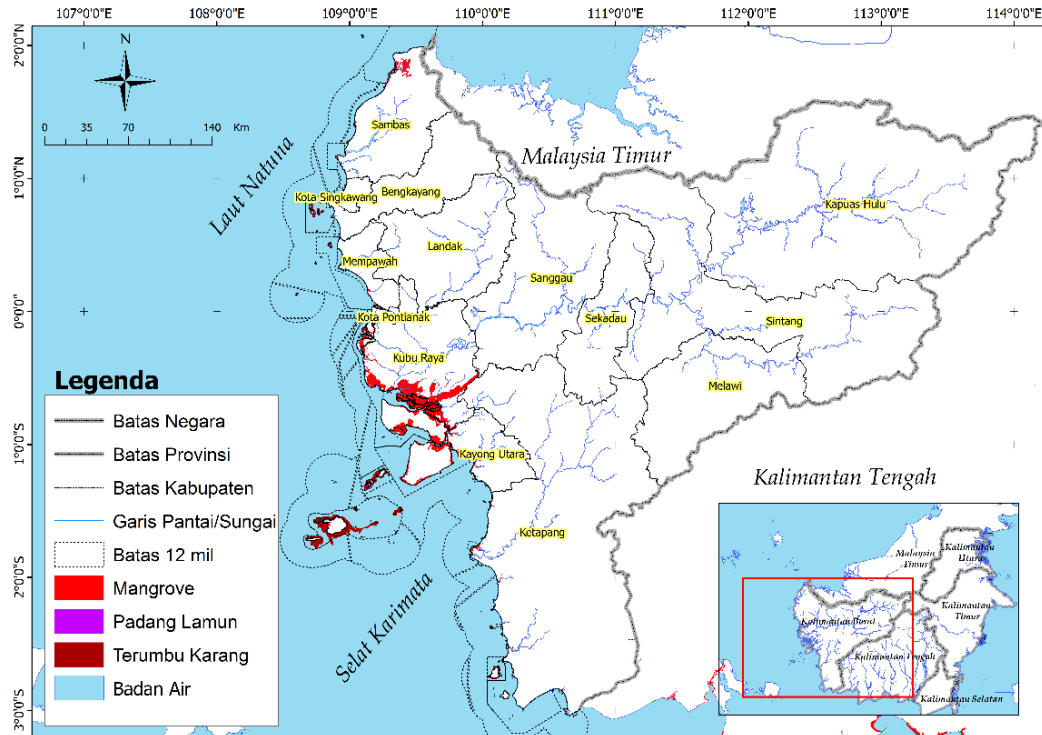
*NA = Not Available

Tabel 5. Luas Ekosistem Pesisir di Kalimantan Barat

| No | Kabupaten | Luas Ekosistem (Ha) | | |
|-------|--------------|---------------------|----------|----------------|
| | | Mangrove | Lamun | Terumbu Karang |
| 1 | Sambas | 12.206,68 | - | 8,04 |
| 2 | Bengkayang | 187,38 | 510,77 | 5.298,43 |
| 3 | Singkawang | 160,13 | 79,13 | - |
| 4 | Mempawah | 2.917,35 | 53,11 | 715,63 |
| 5 | Kubu Raya | 129.308,38 | - | - |
| 6 | Kayong Utara | 22.646,65 | 487,33 | 52.245,41 |
| 7 | Ketapang | 9.157,22 | 29,69 | 3.587,53 |
| Total | | 176.583,79 | 1.160,03 | 61.855,04 |

Tabel 6. Kemampuan Serapan Karbon Ekosistem Pesisir Kalimantan Barat

| No | Kabupaten | Serapan Karbon (ton C) | | | Total Karbon (ton C) | Total Emisi (ton CO _{2e}) |
|-------|--------------|------------------------|---------|----------------|----------------------|-------------------------------------|
| | | Mangrove | Lamun | Terumbu Karang | | |
| 1 | Sambas | 2.462.087,36 | - | 70,43 | 2.462.157,79 | 9.027.911,88 |
| 2 | Bengkayang | 37.794,55 | 102,154 | 46.414,25 | 84.310,95 | 309.140,14 |
| 3 | Singkawang | 32.298,22 | 15,826 | - | 32.314,05 | 118.484,84 |
| 4 | Mempawah | 588.429,50 | 10,622 | 6.268,92 | 594.709,04 | 2.180.599,80 |
| 5 | Kubu Raya | 26.081.500,25 | - | - | 26.081.500,25 | 95.632.167,57 |
| 6 | Kayong Utara | 4.567.829,31 | 97,466 | 457.669,79 | 5.025.596,56 | 18.427.187,40 |
| 7 | Ketapang | 1.847.011,27 | 260,08 | 31.426,76 | 1.878.698,12 | 6.888.559,78 |
| Total | | 35.616.950,44 | 486,15 | 541.850,15 | 36.159.286,75 | 132.584.051,40 |



Gambar 1. Peta distribusi ekosistem pesisir di Kalimantan Barat. Sumber: Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut, 2021

Ekosistem mangrove Kalimantan Barat berkontribusi sekitar 98% bagi simpanan karbon wilayah pesisir di Kalimantan Barat, sementara 1,89% tersimpan di terumbu karang dan sisanya tersimpan di padang lamun. Sehingga jika luas mangrove minimal dipertahankan maka akan berkontribusi mengurangi tingkat emisi GRK dari sektor kehutanan sebesar 0,76% (Hudaya *et al.*, 2015). Sasmito *et al.*, (2020) menambahkan karbon tersimpan pada *riverine mangrove* dua kali lebih besar daripada *fringe mangrove* karena pengaruh sebagian erosi hutan terrestrial tersimpan di ekosistem mangrove. Kandungan karbon pada sedimen lamun dipengaruhi oleh keberadaan mangrove di sekitarnya. Kandungan karbon pada mangrove berkontribusi sebesar 34-83% terhadap kandungan karbon lamun yang berdekatan dengan mangrove (Chen *et al.*, 2017). Keberadaan ekosistem yang lengkap dan saling berdekatan cenderung saling meningkatkan total simpanan karbon (Huxham *et al.*, 2018).

Selain luasan suatu ekosistem, pada dasarnya tingkat penyerapan karbon dipengaruhi oleh iklim, karakteristik lahan, umur dan kerapatan vegetasi, komposisi jenis vegetasi, jarak dari laut dan bentuk geomorfik serta pengelolaannya (Donato *et al.*, 2011). Keadaan ekosistem juga

mempengaruhi kemampuan dalam penyerapan karbon. Data KKP (2022) menyatakan mangrove di Kalimantan Barat tergolong lebat dengan tutupan tajuk <70%. Sementara itu, berdasarkan KEPMEN-LH Nomor 200 Tahun 2004 padang lamun di Kalimantan Barat berada dalam kondisi rusak miskin dengan tutupan $\leq 29,9$ sementara terumbu karang berada dalam kondisi sedang hingga baik (Gusmalawati *et al.*, 2018; Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut Pontianak, 2021).

Indonesia memiliki stok karbon tertinggi di Asia tenggara karena kondisi geologis kelautan tropis mendukung pertumbuhan mangrove dan lamun (Thorhaug *et al.*, 2020). Selain itu, simpanan karbon pesisir tidak hanya berasal dari *autochthonous carbon* (karbon vegetasi), tetapi juga *allochthonous carbon* dari transfer sedimen halus selama pasang-surut yang terpelihara dengan baik. kondisi *allochthonous carbon* ini bersifat anoksik sehingga karbon tidak mudah terurai (Sari, 2016; Suello *et al.*, 2022). Sekitar 49-98% total karbon tersimpan berada di sedimen pesisir yang terakumulasi secara kontinyu ditambah dengan kondisi habitat yang selalu tergenang sehingga menciptakan kondisi anoksik (oksigen rendah) yang memperlambat terjadinya pelepasan karbon

organik ke atmosfer sementara volume sedimen terus bertambah karena adanya pengaruh pasang surut (Alongi, 2014; Rustam *et al.*, 2015). Selain itu, mangrove dan lamun melalui siklus biogeokimia dapat memitigasi wilayah pesisir terhadap asidifikasi (Bergstrom *et al.*, 2019).

Terumbu karang termasuk kedalam kingdom *animalia*, namun hubungan simbiosisnya dengan alga *zooxanthellae* menjadikan terumbu karang dapat melakukan sekuestrasi karbon untuk proses kalsifikasi. Namun proses kalsifikasi juga melepaskan karbondioksida (Tambutté *et al.*, 2011). Sehingga, terumbu karang melepaskan sekitar 0,02-0,08 GtC sebagai CO₂ setiap tahun atau setara dengan 0,4-1,4% dari total emisi pembakaran bahan bakar fosil (Ware *et al.*, 1992). Sebaliknya, kemampuan terumbu karang dalam menyerap karbon, dimana CO₂ yang diserap sama dengan jumlah CO₂ yang dilepaskan pada proses kalsifikasi (Philben, 2016).

Upaya Perlindungan Pesisir

Kerusakan mangrove, padang lamun dan terumbu karang di Kalimantan Barat akibat konversi menjadi lahan terbuka, tambak dan perkebunan, pengeboman, dan penggunaan *trawl*. Upaya perlindungan habitat pesisir dilakukan melalui penegakan hukum dan implementasi usaha rehabilitasi.

Upaya rehabilitasi lahan oleh pemerintah Kalimantan Barat yaitu perbaikan ekosistem pesisir melalui restorasi mangrove seluas 1000 hektar di tahun 2021 dan 500 hektar di tahun 2022. Disamping itu, didirikan Pusat Restorasi dan Pengembangan Ekosistem Pesisir (PRPEP) di Singkawang dengan luas mangrove seluas 255,5 m². Reforestasi, aforestasi, dan memperpanjang masa panen dapat meningkatkan produksi karbon bersih sebesar 56% (Law *et al.*, 2018). Ekosistem mangrove yang direstorasi diharapkan dapat menyerap karbon sebanyak 16,2 MgC/ha/tahun sebagai biomassa atas tanah dan 1,5 MgC/ha/tahun yang tersimpan di dalam tanah (Sidik *et al.*, 2017).

Perlindungan hukum terhadap pengelolaan pesisir dituangkan dalam Undang-Undang Dasar Nomor 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Kebijakan penataan ruang di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil di Provinsi Kalimantan Barat dituangkan dalam Peraturan Daerah Nomor 1 tahun 2019 Tentang Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K) Provinsi Kalimantan Barat Tahun 2019-2038. Aturan ini diperinci melalui Rencana Zonasi Kawasan Konservasi Perairan dan

Kawasan Konservasi Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RPZ) di Kabupaten Kubu Raya, Kabupaten Kayong Utara, Kendawangan di Kabupaten Ketapang, Pulau Randayang di Kabupaten Bengkayang, Paloh di Kabupaten Sambas berdasarkan KEPMEN-LH Nomor 89-93 Tahun 2020. RPZ ini digunakan untuk melakukan pemantauan potensi ekologis, penataan zonasi dan pengembangan strategi serta melaksanakan kegiatan pengelolaan jangka panjang (20 tahun) atau jangka menengah (5 tahun). Perlindungan terhadap ekosistem pesisir.

KESIMPULAN

Ekosistem pesisir di Kalimantan Barat terdiri dari ekosistem mangrove, padang lamun, dan terumbu karang yang memiliki luas dan jenis yang berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi perbedaan kondisi lingkungan dan faktor antropogenik. Mangrove (176.583,79 ha) didominasi jenis didominasi oleh *Rhizophora spp.*, *Avicennia spp.*, *Bruguiera spp.*, *Sonneratia alba*, *Excoecaria agallocha*, dan *Nypa fruticans*. Sedangkan padang lamun (1.160,03 ha) didominasi jenis *Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides*. Sementara, terumbu karang (61.855,04 ha) didominasi jenis *Porites spp.* dan *Montipora spp.* Serapan karbon terbesar terjadi di Kabupaten Kubu Raya, 0,026 PgC (0,095 PgCO₂e), sementara yang terkecil berada di Kota Singkawang 0,000032 PgC (0,00012 PgCO₂e) karena pengaruh luas masing-masing ekosistem. Upaya perlindungan ekosistem pesisir yang dapat dilakukan melalui tindakan perlindungan hukum dan implementasi usaha rehabilitasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pendanaan penelitian ini menggunakan dana DIPA Fakultas Teknik dengan kontrak No. 3195/UN22.4/KU/2021 Tanggal 15 Juni 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, M., Ain, C., & Suryanti. 2013. Profil Kandungan Nitrat dan Fosfat pada Polip Karang *Acropora sp.* di Pulau Menjangan Kecil Tamana Nasional Karimunjawa. *Diponegoro Journal of Maquares*, 2(4): 118–126.
- Akbar, A. 2012. Persamaan allometrik untuk menduga kandungan karbon jenis meranti (*shorea teysmaniana*) di hutan alam rawa gambut kalimantan tengah. *Jurnal Penelitian*

- Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 9(1): 1–11. doi: 10.20886/jsek.2012.9.1.1-11
- Akbar, A.A., Sartohadi, J., Djohan, T.S., & Ritohardoyo, S. (2017). The role of breakwaters on the rehabilitation of coastal and mangrove forest in West Kalimantan, Indonesia. *Ocean and Coastal Management*, 138: 50–59. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2017.01.004
- Alongi, D.M. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6: 195–219. doi: 10.1146/annurev-marine-010213-135020
- Alongi, D.M., Murdiyarso, D., Fourqurean, J.W., Kauffman, J.B., Hutahaean, A., Crooks, S., Lovelock, C.E., Howard, J., Herr, D., Fortes, M., Pidgeon, E., & Wagey, T. 2016. Indonesia's blue carbon: a globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon. *Wetlands Ecology and Management*, 24(1): 3–13. doi: 10.1007/s11273-015-9446-y
- Aurilia, M.F., & Saputra, D.R. 2020. Analisis Fungsi Ekologis Mangrove Sebagai Pencegahan Pencemaran Air Tanah Dangkal Akibat Intrusi Air Laut. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*, 4(1): 424–437. doi: 10.36813/jplb.4.1.424-437
- Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut Pontianak. 2021. Rencana Strategis Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut Pontianak 2020-2024. Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Kalimantan Barat 2021.
- BesrBergstrom, E., Silva, J., Martins, C., & Horta, P. 2019. Seagrass can mitigate negative ocean acidification effects on calcifying algae. *Scientific Reports*, 9(1): 1–11. doi: 10.1038/s41598-018-35670-3
- Byun, C., Lee, S. H., & Kang, H. 2019. Estimation of carbon storage in coastal wetlands and comparison of different management schemes in South Korea. *Journal of Ecology and Environment*, 43(1): 1–12. doi: 10.1186/s41610-019-0106-7
- Carugati, L., Gatto, B., Rastelli, E., Lo Martire, M., Coral, C., Greco, S., & Danovaro, R. 2018. Impact of mangrove forests degradation on biodiversity and ecosystem functioning. *Scientific Reports*, 8(1): 1–11. doi: 10.1038/s41598-018-31683-0
- Chen, G., Azkab, M. H., Chmura, G. L., Chen, S., Sastrosuwondo, P., Ma, Z., Dharmawan, I. W. E., Yin, X., & Chen, B. 2017. Mangroves as a major source of soil carbon storage in adjacent seagrass meadows. *Scientific Reports*, 7: 1–10. doi: 10.1038/srep42406
- Dekky, Linda, R., & Wardoyo, E.R.P. 2016. Inventarisasi Jenis-Jenis Mangrove yang Ditemukan di Kawasan Tanjung Bila Kecamatan Pemangkat Kabupaten Sambas. *Jurnal Protobiont*, 5(3): 54–58.
- Dewi, I. P., Nursalam, N., & Widyanata, D. 2021. Pengaruh Dinamika Oseanografi Terhadap Ekosistem Mangrove Di Desa Pagatan Besar. *Jurnal Geoecebes*, 5(1): 35–45. doi: 10.20956/geoecebes.v5i1.11975
- Dinilhuda, A., Akbar, A.A., Jumiati, & Herawati, H. 2020. Potentials of mangrove ecosystem as storage of carbon for global warming mitigation. *Biodiversitas*, 21(11): 5353–5362. doi: 10.13057/biodiv/d211141
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5): 293–297. doi: 10.1038/ngeo1123
- Edrus, I.N., Siswanto, Y., & Suprihanto, I. (2004). Sumber Daya Terumbu Karang Pulau Penata Besar, Lemukutan Dan Pulau Kabung Perairan Kalimantan Barat. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 10(6): p.61. doi: 10.15578/jppi.10.6.2004.61-74
- Giyanto, Abrar, M., Hadi, T.A., Budiyo, A., Hafizt, M., Salatalohy, A., & Iswari, M.Y. 2017. Status terumbu karang di Indonesia 2017. COREMAP-CTI Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI.
- GOFC-GOLD. 2012. A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation. GOFC-GOLD Report version COP18-1, (GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University, The Netherlands).
- Gusmalawati, D., Seto, A., & Sanova, S. 2018. Tutupan Lamun *Thalassia hemprichii* di Perairan Dusun Karang Utara, Pulau Lemukutan, Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 2(3): 186–191. doi: 10.21776/ub.jfmr.2018.002.03.7
- Habdiansyah, P., Lovadi, I., & Linda, R. (2015).

- Profil Vegetasi Mangrove Desa Sebusub Kecamatan Paloh Kabupaten Sambas. *Jurnal Protobiont*, 4(2): 9–17.
- Hadi, T. A., Abrar, M., Giyanto, B.P., Johan, O., Budiyo, A., Dzumalek, A.R., Alifatri, L.O., Sulha, S., & Suharsono. 2020. The status of Indonesian coral reefs 2019. Research Center for Oceanography-Indonesian Institute of Sciences, Jakarta.
- Handini, D.L., Hadikusumah, H.Y., & Irawan, B. 2014. Kandungan Karbon Tersimpan Pada Biomassa Vegetasi Mangrove Di Hutan Mangrove Kabupaten Nunukan Kalimantan Timur. *Jurnal Biotika*, 12(1):1-11.
- Hariphin, Linda, R., & PW, R.E. 2016. Analisis Vegetasi Hutan Mangrove Di Kawasan Muara Sungai Serukam Kabupaten Bengkayang. *Jurnal Protobiont*, 5(3): 66–72.
- Harjono, R.D.F., Rochaddi, B., & Atmodjo, W. 2017. Sebaran Sedimen Dasar di Muara Sungai Kalimantan Barat. *Journal of Oceanography*, 6(4): 573–578.
- Harnanda, F., & Linda, R. 2018. Komposisi dan Tingkat Kerusakan Vegetasi Hutan Mangrove di Kecamatan Sukadana Kabupaten Kayong Utara Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Protobiont*, 7(1): 51–60.
- Heriyanto, N.M., & Subiandono, E. 2016. Peran Biomassa Mangrove dalam Menyimpan Karbon di Kubu Raya, Kalimantan Barat. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 13(1): 1–12. doi: 10.20886/jakk.2016.13.1.1-12.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., & Telszewski, M. 2014. Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emission factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows. In Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. <http://www.habitat.noaa.gov/coastalbluecarbon.html>
- Hudaya, Y.F., Hartono, Murti, S.H., & Hadiyan, Y. 2015. Pendugaan Potensi Cadangan Karbon Di Atas Permukaan pada Hutan Mangrove di Kubu Raya Menggunakan Citra ALOS PALSAR. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 12(1): 43–58.
- Huxham, M., Whitlock, D., Githaiga, M., & Dencer-Brown, A. 2018. Carbon in the coastal seascape: How interactions between mangrove forests, seagrass meadows and tidal marshes influence carbon storage. *Current Forestry Reports*, 4(2): 101–110. doi: 10.1007/s40725-018-0077-4
- Irawan, A., & Nganro, N.R. 2016. Sebaran Lamun Di Teluk Ambon Dalam. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 8(1): 99–114.
- Irpan, F.B., Manurung, T.F., & Muflihati. 2017. Komposisi dan Struktur Vegetasi Penyusun Zonasi Hutan Mangrove Tanjung Prapat Muda-Tanjung Bakau Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Hutan Lestari*, 5(1): 104–112.
- IUCN. 2017. IUCN Issue Brief: Blue Carbon.
- Jumaedi, S. 2016. Nilai Manfaat Hutan Mangrove Dan Faktor-Faktor Penyebab Konversi Zona Sabuk Hijau (Greenbelt) Menjadi Tambak Di Wilayah Pesisir Kota Singkawang Kalimantan Barat. *Sosiohumaniora*, 18(3): 217-224. doi: 10.24198/sosiohumaniora.v18i3.10104
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. Laporan Inventarisasi GRK 2020 dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV). Dirjen PPI, 1–143.
- Khairunnisa, C., Thamrin, E., & Prayogo, H. 2020. Keanekaragaman Jenis Vegetasi Mangrove Di Desa Dusun Besar Kecamatan Pulau Maya Kabupaten Kayong Utara. *Jurnal Hutan Lestari*, 8(2): 325–336. doi: 10.26418/jhl.v8i2.40074
- Kindangen, G., Sondak, C., & Kumampung, D. S. H. 2022. Estimasi Kandungan Karbon Biomasa Pneumatofor *Avicennia marina*. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 9(3): 141–147. doi: 10.35800/jplt.9.3.2021.38167
- Kumar, P., Kumar, S., Kakraliya, S.K., & Jangir, C.K. 2017. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Innovative Farming*, 2(1): 90–93. doi: 10.1097/ss.0b013e31815cc498
- Kuncoro, I., Aritonang, A.B., & Helena, S. 2019. Analisis Vegetasi Mangrove Di Muara Sungai Peniti, Kabupaten Mempawah. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 2(1): 32-38. doi: 10.26418/lkuntan.v2i1.30191
- Law, B.E., Hudiburg, T.W., Berner, L., Kent, J.J., Buotte, P.C., & Harmon, M.E. 2018. Land use strategies to mitigate climate change in carbon dense temperate forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(14): 3663–3668. doi: 10.1073/pnas.1720064115
- Lawrence, A. 2013. Karbon Biru. WWf Report.

- Masruroh, L., & Insafitri, I. 2020. Pengaruh Jenis Substrat Terhadap Kerapatan Vegetasi *Avicennia marina* di Kabupaten Gresik. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(2): 151–159. doi: 10.21107/juvenil.v1i2.7569
- Maulidia, V., Akbar, A. A., Jumiati, J., Arifin, A., & Sulastri, A. 2022. The Value of Mangrove Ecosystems Based on Mangrove Carbon Sequestration in West Kalimantan. *Journal of Wetlands Environmental Management*, 10(1): 12–25. doi: 10.20527/jwem.v10i1.279
- McLeod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C.M., Lovelock, C.E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. R. 2011. A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10): 552–560. doi: 10.1890/110004
- Meidiana, V., Apriansyah, A., & Safitri, I. 2019. Struktur komunitas Dan Estimasi Karbon Sedimen Di Desa Sebusub Kabupaten Sambas Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 2(3): 107–117. doi: 10.26418/lkuntan.v2i3.35842
- Mernisa, M., & Oktamarsetyani, W. 2017. Keanekaragaman Jenis Vegetasi Mangrove Di Desa Sebong Lagoi, Kabupaten Bintan. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Biologi*, pp. 39–50.
- Mulyoto, M. 2021. Estimasi Kandungan Biomassa Dan Karbon Pada Komunitas Mangrove Di Kota Tarakan, Kalimantan Utara. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 11(1): 60–73. doi: 10.33512/jpk.v11i1.11279
- Munasikhah, S., & Wijayanti, P.A. 2021. Dari Hutan Mangrove Menjadi Tambak :Nat Krisis Ekologis Di Kawasan Sayung Kabupaten Demak 1990–1999. *Journal of Indonesian History*, 10(2):129–140.
- Noor, Y.R., Khazali, M., & Suryadiputra, I.N.N. 1999. Pengenalan Mangrove di Indonesia. PHKA/WI-IP, Bogor.
- Nugroho, T.S., Fahrudin, A., Yulianda, F., & Bengen, D.G. 2019. Structure and Composition of Riverine and Fringe Mangroves at Muara Kubu Protected Areas, West Kalimantan, Indonesia. *AACL Bioflux*, 12(1): 378–393.
- Nurchayanto, T., Muliadi, & Nurrahman, Y. A. 2021. Struktur Komunikasi Terumbu Karang di Perairan Teluk Melanau Timur , Pulau Lemukutan Coral Reef Community Structure In East Melanau Bay , Lemukutan Island. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 4(2): 22–28.
- Nursofiati, N., Kushadiwijayanto, A.A., & Safitri, I. 2020. Struktur Komunitas dan Laju Produksi Karbon Serasah Daun Mangrove di Kuala Singkawang. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 3(3): 105–112. doi: 10.26418/lkuntan.v3i3.42915
- Octavina, C., Fazillah, M.R., Ulfah, M., Purnawan, S., & Perdana, A.W. 2020. Keragaman Lamun Sebagai Pakan Dugong dugon di Teluk Lamteng, Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1): 69–79.
- Padli, Z., Muin, A., & Iskandar. 2019. Komposisi Vegetasi Hutan Mangrove Pantai Air Mata Permai Kecamatan Muara Pawan Kabupaten Ketapang. *Jurnal Hutan Lestari*, 7(1): 178–188.
- Philben, M. 2016. *Do coral reefs help fight climate change?* Oceanbites.
- Pratama, P.R., Apriansyah, & Risiko. 2020. Perubahan Garis Pantai di Perairan Batu Burung Singkawang Selatan (Change of Coastline in Batu Burung Singkawang Waters South Singkawang). *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 3(1): 2614–8005.
- Rahmawati, S., Irawan, A., Supriyadi, I.H., & Azkab, M.H. 2014. Panduan Monitoring Padang Lamun. *Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*
- Rianto, A., Setyawati, T.R., & Yanti, A.H. 2017. Komposisi Rotifera di Muara Sungai Kakap Kecamatan Sungai Kakap Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Protobiont*, 6(1): 64–71.
- Rosalina, D., & Rombe, K.H. 2021. Struktur dan Komposisi Jenis Mangrove di Kabupaten Bangka Barat. *Jurnal Airaha*, 10(01): 099–108. doi: 10.15578/ja.v10i01.219
- Rugebregt, M.J., Matuanakotta, C., & Syafrizal, M. 2020. Keanekaragaman Jenis, Tutupan Lamun, dan Kualitas Air di Perairan Teluk Ambon. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(3): 589–594. doi: 10.14710/jil.18.3.589-594
- Rumalean, A.S., & Purwanti, F. 2019. Struktur Komunitas Hutan Mangrove Pada Kawasan Mempawah Mangrove Park Di Desa Pasir Mempawah Hilir. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(1): 221–230. doi: 10.29244/jitkt.v11i1.25704
- Rustam, A., Adi, N.S., Ati, R.N.A., Kepel, T.L., Daulat, A., Kusumaningtyas, M.A., Suryono, D.D., Sudirman, N., Heriati, A., Mangindaan, P., & Salim, H.L. 2015. Program Inisiatif Blue

- Carbon Indonesia Kep. Derawan-Berau, Kalimantan Timur. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir.
- Rustam, A., Kepel, T.L., Afiati, R.N., Salim, H. L., Astrid, M., Daulat, A., Mangindaan, P., Sudirman, N., Puspitaningsih-R, Y, Dwiyantri, D., Hutahaean, A. 2014. Peran Lamun sebagai Blue Carbon dalam Mitigasi Perubahan Iklim , Studi Kasus Tanjung Lesung, Banten Seagrass role as Blue Carbon in Climate Change Mitigation, Case Study Tanjung Lesung, Banten. *Balitbang Kelautan dan Perikanan*, 10(2): 107-117.
- Sahami, F. 2018. Penilaian Kondisi Mangrove Berdasarkan Tingkat Kerapatan Jenis. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 6(2): 33–40.
- Sari, N.W.P. 2016. Coral Reef, Penyerap atau Penghasil Karbon? *Oseana*, 41(2): 32–40.
- Sasmito, S.D., Kuzyakov, Y., Lubis, A.A., Murdiyarso, D., Hutley, L.B., Bachri, S., Friess, D.A., Martius, C., & Borchard, N. 2020. *Organic carbon burial and sources in soils of coastal mudflat and mangrove ecosystems. Catena*, 187: p.104414. doi: 10.1016/j.catena.2019.104414
- Shah, M.D., Kushadiwijayanto, A.A., & Nurrahman, Y.A. 2021. Struktur Pola Vegetasi Mangrove di Desa Sungai Kupah Kecamatan Sungai Kakap Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 4(1): 56-63. doi: 10.26418/lkuntan.v4i1.44900
- Short, F.T., & Novak, A. 2016. The Wetland Book. *The Wetland Book*. doi: 10.1007/978-94-007-6173-5
- Sidik, F., Arifanti, V.B., & Krisnawati, H. 2017. INFO BRIEF: Perhitungan Karbon Tanah Mangrove (Soil Pool) dalam Inventarisasi Gas Rumah Kaca. www.puspijak.org
- Sjafrie, N.D.M., Hernawan, U.E., Prayudha, B., Rahmat, R., Supriyadi, I.H., Iswari, M.Y., Suyarso, S., Anggraini, K., & Rahmawati, S. 2018. Status padang lamun Indonesia 2018. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, p.40.
- KKP. 2022. Produksi Perikanan Provinsi Kalimantan Barat. <https://statistik.kkp.go.id/>
- Suello, R.H., Hernandez, S.L., Bouillon, S., Belliard, J.P., Dominguez-Granda, L., Van De Broek, M., Rosado Moncayo, A.M., Veliz, J. R., Ramirez, K.P., Govers, G., & Temmerman, S. 2022. Mangrove Sediment Organic Carbon Storage and Sources in Relation to Forest Age and Position Along a Deltaic Salinity Gradient. *Biogeosciences*, 19(5): 1571–1585. doi: 10.5194/bg-19-1571-2022
- Swierts, T., & Vermeij, M.J.A. 2016. Competitive interactions between corals and turf algae depend on coral colony form. *PeerJ*, 5:1–18. doi: 10.7717/peerj.1984
- Tambutté, S., Holcomb, M., Ferrier-Pagès, C., Reynaud, S., Tambuté, É., Zoccola, D., & Allemand, D. 2011. *Coral biomineralization: From the gene to the environment. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 408(1–2): 58–78. doi: 10.1016/j.jembe.2011.07.026
- Thorhaug, A., Gallagher, J.B., Kiswara, W., Prathep, A., Huang, X., Yap, T.K., Dorward, S., & Berlyn, G. 2020. Coastal and estuarine blue carbon stocks in the greater Southeast Asia region: Seagrasses and mangroves per nation and sum of total. *Marine Pollution Bulletin*, 160: p.111168. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111168
- Wahyudi, A.J., Afdal, Adi, N.S., Rustam, A., Hadiyanto, H., Rahmawati, S., Irawan, A., Dharmawan, I. W. ., Prayudha, B., Hafizt, M., Prayitno, H.B., Rahayu, Y.P., Solihudin, T., Ati, R. N.A., Kepel, T.L., Astrid, M. K., Daulat, A., Salim, H. L., Sudirman, N., ... Supriyadi, I. H. 2018. Intisari bagi pengambil kebijakan: Potensi cadangan dan serapan karbon ekosistem mangrove dan padang lamun Indonesia. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, pp.12.
- Ware, J.R., Smith, S.V., & Reaka-kudla, M.L. 1992. Coral reefs: sources or sinks of atmospheric CO₂? *Coral Reefs*, 11: 127–130. doi: 10.1007/BF00255465
- Zurba, N. 2018. Pengenalan Padang Lamun Suatu Ekosistem yang Terlupakan. *Unimal Press*, p.1–114.