

ESTIMASI STOK KARBON TANAH ORGANIK PADA MANGROVE DI TELUK KABA DAN MUARA TELUK PANDAN TAMAN NASIONAL KUTAI

Iin Sumbada Sulistyorini¹, Muli Edwin² dan Imanudin³

^{1,2}Program Studi Kehutanan, Sekolah Tinggi Pertanian Kutai Timur

³Program Studi Ilmu Kelautan, Sekolah Tinggi Pertanian Kutai Timur

Alamat: Jalan Sukarno-Hatta No.1 Sangatta, Kabupaten Kutai Timur, Kaltim, Indonesia.

E-Mail: edwin.kutim@gmail.com

ABSTRAK

Estimasi Stok Karbon Tanah Organik Pada Mangrove Di Teluk Kaba Dan Muara Teluk Pandan Taman nasional kutai. Hutan mangrove Taman Nasional Kutai merupakan ekosistem penting yang harus dijaga dan ditingkatkan kelestariannya. Degradasi ekosistem mangrove melalui berbagai aktivitas manusia telah menjadi penyebab utama berkurangnya kemampuan hutan mangrove dalam menyerap dan menyimpan karbon. Hutan mangrove dianggap sebagai ekosistem yang paling banyak menyimpan karbon di dunia yang sebagian besar karbon tersimpan di tanah. Pada lokasi penelitian ditemukan rata-rata C-organik di Muara Teluk Pandan sebesar 2,20% dan di Teluk Kaba memiliki rata-rata C-organik sebesar 2,27%. Rendahnya kandungan C-organik telah mempengaruhi stok karbon tanah. Di kedua lokasi memiliki kisaran stok karbon tanah, yaitu sebesar 66,2-116,1 ton/ha. Rata-rata stok karbon tanah di Teluk Kaba sebesar 74,85 ton/ha, kemudian rata-rata stok karbon tanah di Muara Teluk Pandan sebesar 94,43 ton/ha. Berdasarkan literatur dan hasil penelitian yang terkait, menunjukkan stok karbon tanah mangrove di lokasi penelitian tergolong rendah. Adanya berbagai aktivitas manusia dan perubahan tata guna lahan terutama untuk tambak telah berpotensi menyebabkan terganggunya ekosistem mangrove termasuk fungsi mangrove sebagai penyimpan karbon.

Kata kunci : Degradasi, Ekosistem, Mangrove, Stok karbon.

ABSTRACT

Estimation of Organic Soil Carbon Stocks in Mangroves in Kaba Bay and Muara Teluk Pandan Kutai National Park. The mangrove forests of the Kutai National Park are important ecosystems that must be maintained and improved its preservation. The degradation of mangrove ecosystems through various human activities has become a major cause of the reduced ability of mangrove forests to absorb and store carbon. Mangrove forests are considered as the most carbon storing ecosystem in the world, most of the carbon stored in the soil. In the research location, it was found that the average C-organic in Muara Teluk Pandan was 2.20% and in Teluk Kaba had an average C-organic of 2.27%. The low C-organic content has affected the soil carbon stock. Both locations have a range of soil carbon stocks, amounting to 66.2-116.1 Mg ha⁻¹. The average soil carbon stock in Teluk Kaba is 74.85 Mg ha⁻¹, then the average soil carbon stock in Muara Teluk Pandan is 94.43 Mg ha⁻¹. Based on literature and related research results, it shows that the carbon stock of mangrove soils in the study location is relatively low. The existence of various human activities and changes in land use, especially for ponds, has the potential to cause disruption of mangrove ecosystems, including the function of mangroves as carbon storage.

Key words : Degredation, Carbon stock, Ecosystem, Mangrove.

1. PENDAHULUAN

Mangrove di Indonesia masih dapat ditemui di banyak tempat. Salah satunya di Kalimantan dimana mangrove masih dapat tumbuh dengan baik (Setyawan &

Winarno, 2006). Secara ekologi, mangrove memiliki peranan sebagai daerah feeding ground dan nursery ground atau lebih dikenal dengan daerah asuhan bagi kehidupan yang ada di

sekitar mangrove (Alongi, 2012). Disamping fungsinya yang menjadi tempat berkembangbiak dan tempat mencari makan biota, hutan mangrove juga dikenal dengan penyerap karbon paling tinggi dibanding dengan hutan-hutan lainnya (Purnobasuki, 2012). Hutan bakau dianggap sebagai ekosistem yang paling banyak menyimpan karbon di dunia yang sebagian besar karbon tersimpan di tanah. Kehilangan karbon tanah karena hilangnya hutan mangrove antara tahun 2000 dan 2015 diperkirakan sekitar 30-122 ton C. Kerugian atau kehilangan tersebut > 75% terjadi di Indonesia, Malaysia dan Myanmar (Sanderman et al., 2018).

Spesies mangrove memiliki nilai biomassa yang berbeda-beda. Hal ini dapat dipengaruhi oleh massa jenis, diameter maupun ketinggian yang dimiliki setiap spesies mangrove itu sendiri dan dipengaruhi sekuestrasi (Rahmawati, 2011). Keberadaan karbon pada mangrove terdapat pada batang, akar, serasah dan di tanah, pada bagian batang mangrove terdapat kandungan biomassa yang tersimpan paling besar dibandingkan pada bagian akar dan serasah mangrove (Hairiah & Rahayu, 2007). Secara ekologis hutan mangrove berperan sebagai penyerap karbon, dimana fungsi tersebut menjadikan hutan mangrove dapat menyimpan karbon dalam jumlah yang besar baik pada vegetasi (biomassa) maupun pada bahan organik lain yang terdapat di hutan mangrove (Noor, Khazali, & Suryadiputra, 1999). Hutan mangrove menyimpan karbon di atas permukaan tanah dan dibawah permukaan tanah, dengan sebagian besar dialokasikan di bawah permukaan tanah (Alongi, 2012). Semakin banyak karbon yang disimpan dalam tanah sebagai karbon organik tanah (Soil Organic Carbon/SOC), maka dapat mengurangi jumlah karbon yang ada di atmosfer sehingga dapat

mengurangi pemanasan global dan perubahan iklim (Chan, 2008). Perbedaan keragaman kandungan SOC pada kedalaman tanah terjadi karena setiap jenis vegetasi berbeda dalam distribusi akar dan meninggalkan jejak yang berbeda pada distribusi kedalaman SOC (Lal, 2005). Pada kedalaman 0,5 m sampai lebih dari 3 m kaya dengan tanah organik, dimana kedalaman tersebut menyumbang 49-98% penyimpanan karbon (Donato et al., 2011). Potensi hutan mangrove sebagai penyerap dan penyimpan karbon dari waktu ke waktu terus mengalami perubahan, potensi simpanan karbon dapat bertambah dikarenakan pertumbuhan dan perkembangan vegetasi, sedangkan potensi simpanan karbon dapat berkurang akibat perubahan tata guna lahan (Mahasani, Karang, & Hendrawan, 2016).

Pada tahun 2011 telah diestimasi sekitar 23% luas mangrove Taman Nasional Kutai (TN-Kutai) mengalami degradasi (Wijaya, 2011). TN-Kutai telah mengalami kerusakan parah di antaranya berada di daerah Muara Sangatta, Teluk Lombok dan Sangkima dengan luas kerusakan diperkirakan sekitar 1.845,85 ha. TN-Kutai memiliki potensi mangrove dengan seluas sekitar 5.192,54 ha. Komunitas mangrove terdiri dari 12 jenis tumbuhan dari 6 famili (Budiarsa & Rizal, 2013). Kepadatan pohon mangrove di Taman Nasional Kutai (TNK) adalah 1.214 pohon / ha. Jumlah spesies yang ditemukan sebanyak 17 spesies dari 6 famili. Spesies dominan dengan jumlah individu yang besar adalah *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, dan *Bruguiera sexangular* (Poedjirahajoe, Sulistyorini, & Komara, 2019). Kawasan konservasi TN-Kutai telah beberapa kali mengalami pengurangan luasan, terakhir tahun 2014 dari 198.269 hektar menjadi 192.709,6 hektar. Pengurangan tersebut juga berdampak pada wilayah pesisir TN-Kutai Termasuk mangrove. Berdasarkan analisis keruangan tahun 2013 secara keseluruhan luas hutan mangrove yang telah terbuka sekitar 26,2%, yaitu untuk tambak dan lahan terbuka

(Budiarsa & Rizal, 2013). Berdasarkan kondisi tersebut dan minimnya literatur terkait karbon tanah pada mangrove di TN-Kutai, maka penelitian ini dilakukan dalam rangka menguatkan informasi terkait cadangan karbon pada mangrove di daerah Teluk Kaba dan Muara Teluk Pandan di wilayah TN-Kutai.

2. METODA PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian dilakukan di kawasan mangrove Taman Nasional Kutai tepatnya di daerah Teluk Kaba (TK) dan Muara Teluk Pandan (MTP). Kedua kawasan mangrove tersebut jauh dari pemukiman dan sangat jarang dikunjungi atau dieksplorasi masyarakat ataupun peneliti. Waktu penelitian dilakukan sekitar 3 bulan, yaitu pada Bulan Januari sampai April Tahun 2019.

2.2. Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data disesuaikan dengan tujuan dari penelitian, dimana sifat penelitian ini adalah studi eksplorasi terhadap stok karbon tanah organik pada mangrove. Sehingga dalam pengumpulan data menggunakan non-probability sampling pada lokasi dianggap representative dan belum sama sekali mengalami gangguan. Menurut (Teddlie & Yu, 2007) menjelaskan bahwa teknik non-probability sampling disebut juga purposive sampling atau tujuan pengambilan sampel secara sengaja terutama untuk penelitian kualitatif. Tahapan pengambilan contoh tanah dilakukan mengacu pada pengukuran dan penghitungan cadangan karbon tahun 2011 yang dikeluarkan oleh

Badan Standardisasi Nasional (BSN) sebagai berikut:

- a. Contoh tanah dari 5 titik, yaitu pada keempat arah mata angin dan di tengah tengah plot untuk plot lingkaran atau pada keempat sudut plot dan di tengah-tengah plot untuk plot persegi panjang;
- b. Melakukan pengambilan contoh tanah dengan metode komposit, yaitu mencampurkan contoh tanah dari kelima titik contoh tanah pada kedalaman sampai 30 cm, untuk mengetahui kandungan C-organik dan beberapa sifat kimia tanah lainnya;
- c. Mengambil contoh tanah utuh dengan ring soil sampler pada kedalaman tertentu (kedalaman 0 cm sampai 10 cm, 10 cm sampai 20 cm, dan 20 cm sampai 30 cm), untuk mengetahui kerapatan lindak;

Sampel tanah dianalisis di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman.

2.3. Analisis Data

Sesuai dengan tujuan penelitian maka metode dalam penelitian ini adalah metode survei dan analisis laboratorium. Data hasil survey lapangan dan analisis kemudian diolah dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Perhitungan karbon tanah organik berdasarkan perkalian dari persentase C-organik, kerapatan lindak dan kedalaman tanah yang mengacu pada persamaan (BSN, 2011). Perhitungan tersebut juga pernah diterapkan oleh (Olsson et al., 2009), dan (Abera & Wolde-Meskel, 2013) sebagai berikut ini:

$$C_t = Kd \times \rho \times \% C \text{ organik} \dots\dots\dots (\text{gram/cm}^2) \quad (1)$$

Keterangan:

- C_t = kandungan karbon tanah, dinyatakan dalam gram (gram/cm^2)
 Kd = kedalaman contoh tanah, dinyatakan dalam sentimeter (cm)
 ρ = kerapatan lindak (bulk density), dinyatakan dalam gram per centimeter kubik (g/cm^3)
 $\% C\text{-organik}$ = nilai persentase kandungan karbon, menggunakan nilai persen karbon yang diperoleh dari hasil pengukuran di laboratorium.

$$C_{\text{tanah}} = C_t \times 100 \dots\dots\dots (\text{ton/ha}) \quad (2)$$

Keterangan :

- C_{tanah} = kandungan organik tanah per hektar, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha)
 C_t = kandungan karbon tanah (g/cm^2)
 100 = faktor konversi dari g/cm^2 ke ton/ha.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kawasan konservasi hutan hujan tropis dataran rendah tersebut terlindungi sejak tahun 1936 dan menjadi Taman Nasional pada tahun 1982. Perkembangan kependudukan, industri dan aksesibilitas di TN-Kutai dan sekitarnya telah berdampak terhadap mangrove. Beberapa penelitian sebelumnya telah menjelaskan bahwa sebaran hutan mangrove TN-Kutai telah mengalami kerusakan dan pengurangan luasan. Berdasarkan kondisi lapangan telah menunjukkan terdapat berbagai aktivitas manusia di sekitar mangrove termasuk pemanfaatan lahan untuk tambak (Wijaya, 2011; Budiarsa & Rizal, 2013). Kawasan mangrove TN-Kutai merupakan dataran rendah dengan kelerengan 0-5% yang menghadap selat Makasar dengan luas sekitar 4.446,6 hektar dan secara geografis terletak antara $117^{\circ}33'35.873''\text{E}$ - $0^{\circ}26'24.737''\text{N}$ lintang utara dan $117^{\circ}30'0,466''$ - $0^{\circ}11'10,576''\text{N}$ lintang selatan. Kedua lokasi penelitian berada di wilayah Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Kutai Timur, Kalimantan Timur.

Jenis-jenis mangrove yang pernah ditemukan di Teluk Kaba adalah

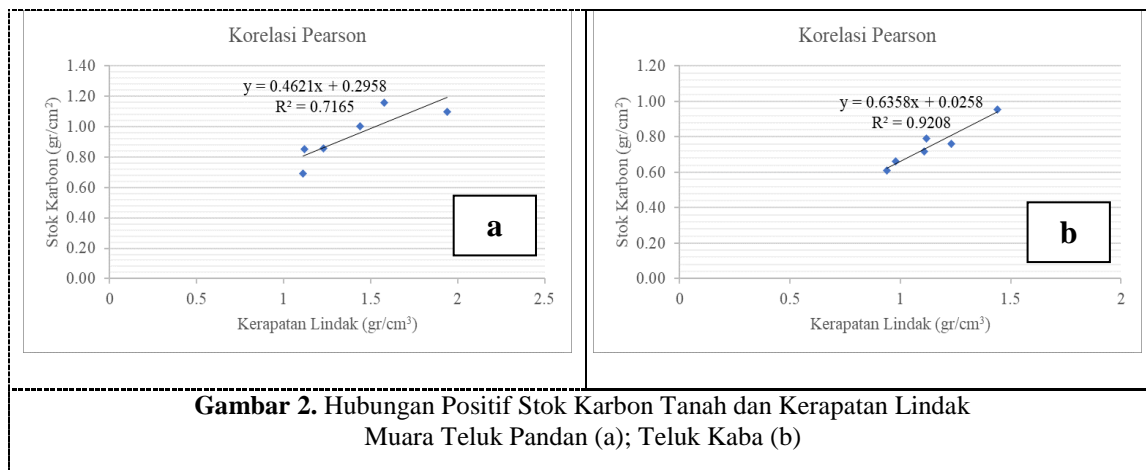
Avicennia alba Blume., *Avicennia lanata* (Ridley)., *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh., *Ceriops decandra* Griff. Ding Hou., *Ceriops tagal* (Perr.) C.B.Rob., *Lumnitzera racemosa* Willd., *Xylocarpus granatum* Koen., *Bruguiera cylindrica* (L.) Bl., *Bruguiera sexangula* (Lour.) Poir., *Rhizophora apiculata* Blume., *Rhizophora mucronata* Lamk., *Rhizophora stylosa* Griff., *Sonneratia alba* J.E. Smith., dan *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. Kemudian di Muara Teluk Pandan terdapat jenis seperti *Avicennia alba* Blume., *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh., *Lumnitzera racemosa* Willd., *Xylocarpus granatum* Koen., *Bruguiera cylindrica* (L.) Bl., *Bruguiera sexangula* (Lour.) Poir., *Rhizophora apiculata* Blume., *Rhizophora mucronata* Lamk., *Rhizophora stylosa* Griff., *Sonneratia alba* J.E. Smith., dan *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. Selanjutnya kerapatan pohon mangrove di Teluk Kaba sebesar 993 batang/ha, di Muara Teluk Pandan sebesar 1.052 batang/ha (Poedjirahajoe et al., 2019).

Berdasarkan hasil penelitian pada tanah mangrove di Teluk Kaba memiliki rata-rata kerapatan lindak $1,14 \text{ gr/cm}^3$ di Muara Teluk Pandan rata-rata $1,40 \text{ gr/cm}^3$. Kemudian rata-rata C-organik di

Muara Teluk Pandan sebesar 2,20% di Teluk Kaba memiliki rata-rata 2,27%. Kerapatan lindak dan C-organik di Muara Teluk Pandan lebih besar dibanding Teluk Kaba, hal tersebut dapat terjadi karena ada pengaruh kerapatan vegetasi dan kehadiran jenis vegetasi mangrove. Menurut Alongi (1998) menjelaskan bahwa bagian pohon mangrove yang mati menyumbang secara signifikan terhadap C-organik di tanah atau di sedimen mangrove. Kemudian menurut Kristensen et al (2008), C-organik juga dapat berasal dari proses pasang surut atau bahan sedimen dari sungai. C-organik tersedia juga dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme.

Korelasi stok karbon terhadap kerapatan lindak memiliki nilai positif

yang berarti semakin besar kerapatan lindak pada tanah mangrove maka stok karbon semakin besar. Pada Gambar 2b menunjukkan korelasi yang lebih besar, yaitu 0,92, hal tersebut menunjukkan kerapatan lindak di Teluk Kaba lebih besar mempengaruhi nilai stok karbon dibanding tanah mangrove di Muara Teluk Pandan. Kerapatan lindak dapat dipengaruhi oleh kandungan bahan organik, tekstur, struktur dan kandungan air tanah serta pemadatan karena ada aktivitas manusia terhadap tanah mangrove. Mangrove di Teluk Kaba lebih sering diakses atau lebih banyak aktivitas manusia dibanding mangrove di Muara Teluk Pandan. Di Teluk Kaba terdapat pemukiman warga dan berbagai aktivitas, terutama aktivitas para nelayan.

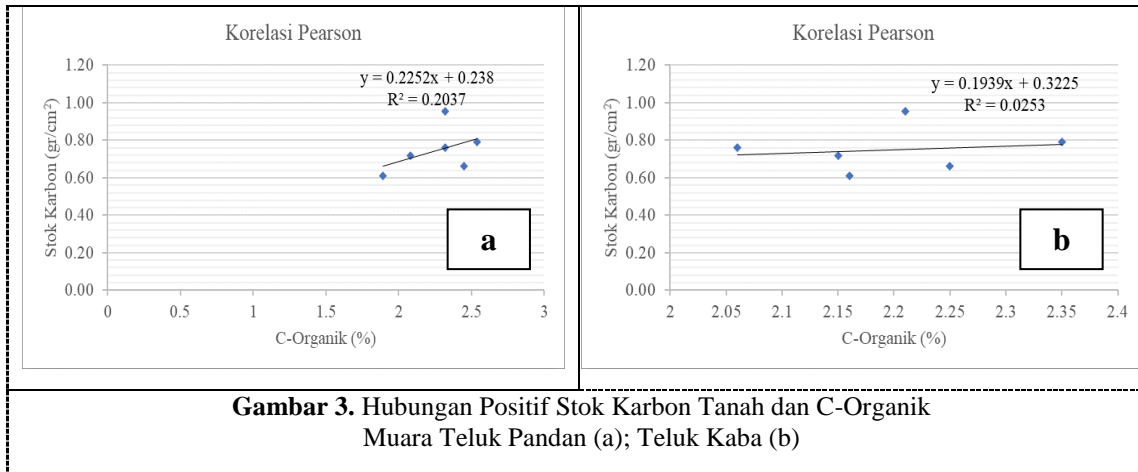


Kerapatan lindak yang tinggi juga dapat dipengaruhi oleh kandungan bahan organik. Di lokasi studi menunjukkan C-organik dan kerapatan lindak di Muara Teluk Pandan sedikit lebih besar dibanding Teluk Kaba. Korelasi C-organik terhadap stok karbon di Teluk Kaba sangat rendah dengan nilai R² sebesar 0,0253 (Gambar 3b). Korelasi tersebut menunjukkan C-organik tidak terlalu mempengaruhi stok karbon tanah mangrove. C-organik di lokasi studi sangat rendah dibanding mangrove di daerah lain.

Di Berau C-organik tanah mangrove mencapai 5,7% (Kusumaningtyas et al., 2019). Pada mangrove di daerah Semarang C-Organik berkisar 2,95%-5,78% (Hakim, Martuti, & Irsadi, 2016). Pada hutan mangrove di Indonesia C-organik tanah berkisar 1,3 sampai 8,4 (Purbopuspito et al., 2014). Kadar organik pada tanah termasuk sedimen sangat sensitif terhadap sejumlah faktor seperti iklim, topografi dan tanah serta kondisi antropogenik lainnya. Rendahnya kandungan C-organik pada penelitian ini dikarenakan jenis sedimen pada area tersebut yang berupa pasir

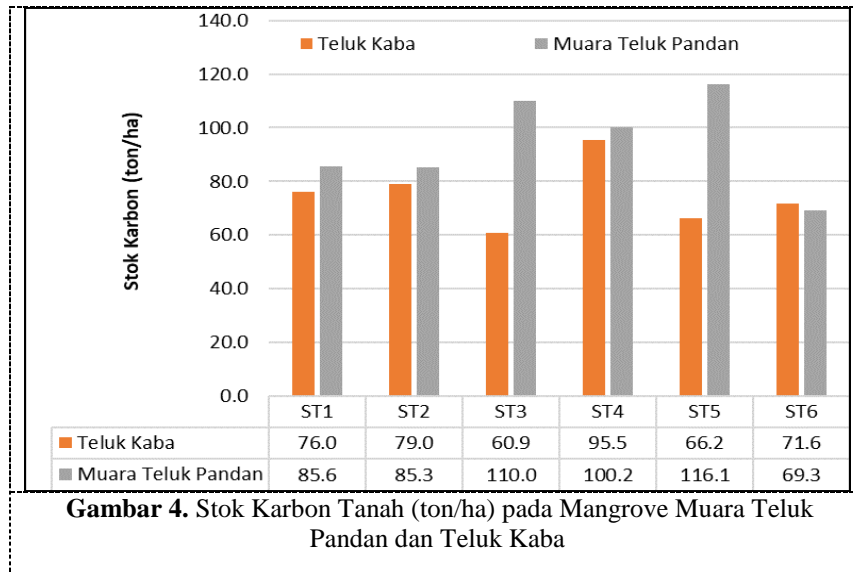
berlumpur. Sedimen pasir sedikit mengandung bahan organik dikarenakan memiliki struktur butiran yang lebih besar dari jenis sedimen lumpur, kerapatannya rendah permeabilitas yang tinggi dan mudah mengalami pencucian, sehingga sulit untuk menyimpan bahan organik yang terlarut. Menurut penjelasan (Rajiman, 2008), pasir memiliki aerasi

yang baik dan mudah diolah, tetapi tingkat kesuburannya rendah. Tanah pasir memiliki kandungan bahan organik dan kalsium yang sangat rendah. Matsui et al (2015) menjelaskan bahwa pH dan C-Organik pada permukaan tanah mangrove bervariasi tergantung pada jenis vegetasi. Di tanah permukaan, pH berkorelasi dengan C-Organik (%).



Gambar 2 dan 3 di atas memperlihatkan kerapatan lindak lebih kuat hubungan dengan stok karbon tanah mangrove. Kemudian hubungan C-organik terlihat lemah. Kedua factor tersebut bukan berarti mutlak mempengaruhi stok karbon tanah, faktor lain seperti kondisi vegetasi, pasang surut, ketebalan lumpur, sedimentasi aliran sungai dan lain-lain dapat berperan dalam mempengaruhi stok karbon tanah. Pada kedua lokasi penelitian terdapat sungai yang juga ikut berperan dalam mempengaruhi sifat fisik maupun kimia tanah. Kemudian berdasarkan kerapatan vegetasi, kerapatan mangrove di Muara Teluk Pandan lebih tinggi, sehingga berpotensi tinggi dalam menyumbangkan

bahan organik di tanah. Di Teluk Kaba memiliki kerapatan vegetasi yang sedikit lebih rendah tetapi jumlah jenis lebih banyak. Menurut Poedjarahajoe et al (2019) di Teluk Kaba terdapat 12 jenis di Muara Teluk Pandan 14 jenis mangrove. Meskipun memiliki jumlah jenis yang lebih banyak stok karbon di Teluk Lombok lebih kecil dibanding stok karbon tanah pada mangrove Muara Teluk Pandan (Gambar 4). Rata-rata stok karbon tanah di Teluk Kaba sebesar 74,85 ton/ha, terbesar ditemukan pada stasiun 4 (ST4) sebesar 95,5 ton/ha. Kemudian rata-rata stok karbon tanah di Muara Teluk Pandan sebesar 94,43 ton/ha, terbesar ditemukan pada stasiun 5 (ST5) sebesar 116,1 ton/ha.



Gambar 4. Stok Karbon Tanah (ton/ha) pada Mangrove Muara Teluk Pandan dan Teluk Kaba

Kondisi kedua fisik kawasan mangrove di lokasi studi hampir sama, seperti ketebalan lumpur, terdapat sungai, merupakan daerah dataran rendah dan pasang surut hampir sama. Perbedaan di kedua lokasi terlihat dari kerapatan jenis mangrove dan kehadiran beberapa jenis mangrove. Berdasarkan laporan penelitian Poedjirahajoe et al (2019) menyebutkan terdapat tiga jenis yang mendominasi atau sering ditemukan di lokasi studi, yaitu *Rhizophora mucronata*, dan *Rhizophora apiculata*. Di kedua lokasi juga memiliki kandungan C-Organik yang rendah. Kondisi tersebut telah mempengaruhi stok karbon tanah mangrove. Stok karbon tanah di kedua lokasi tergolong rendah dengan kisaran 66,2-116,1 ton/ha. Stok karbon yang rendah di kedua lokasi ditemukan bahwa stasiun tempat pengambilan sampel berdekatan dengan sungai. Di Teluk Kaba stasiun yang berdekatan dengan sungai adalah stasiun 5 (ST5) dengan stok karbon sebesar 66,2 ton/ha, di Muara Teluk Pandan pada stasiun 6 (ST6) dengan stok karbon sebesar 69,3 ton/ha. Limpasan pasang surut dan air sungai dapat mempengaruhi kandungan C-Organik atau stok karbon tanah di lokasi penelitian.

Stok karbon tanah mangrove di Pulau Sumatera dapat berkisar 73,0-1.033,5 ton/ha, di pulau Papua 28,2-883,7 ton/ha, kemudian di pulau Kalimantan 50,3-760,1 ton/ha (Purbopuspito et al 2014). Kemudian berdasarkan penelitian Sanderman et al (2018) tentang “A global map of mangrove forest soil carbon at 30m spatial resolution” menyebutkan pada tanah permukaan stok karbon tanah berkisar 86–729 ton/ha (Sanderman et al., 2018). Selanjutnya laporan penelitian stok karbon tanah mangrove di Berau menyebutkan stok karbon berkisar 181-615 ton/ha, kemudian di Segara Anakan Lagoon stok karbon tanah berkisar 483 ± 124 ton/ha (Kusumaningtyas et al., 2019). Pada hutan mangrove di Delta Mahakam diasumsikan memiliki stok karbon tanah berkisar 574,13-675,3 ton/ha (Sidik, Supriyanto, & Lugina, 2017). Ekosistem mangrove merupakan penyimpanan karbon secara alami yang sangat penting. Karbon tersimpan dalam bentuk C-Organik pada bagian sedimen atau tanah mangrove. Rendahnya stok karbon tanah di lokasi penelitian dapat disebabkan berbagai faktor selain rendahnya kandungan C-Organik. Pada kedua lokasi juga sudah terdapat banyak tambak atau pembukaan lahan di sekitar mangrove, hal tersebut dapat berdampak

pada terganggunya ekosistem mangrove di TN-Kutai.

Hutan mangrove lebih berfungsi sebagai penyerap karbon dibandingkan sebagai sumber atau penyimpanan karbon (Purnobasuki, 2012). menjelaskan bahwa sumber karbon organik utama berasal dari vegetasi mati dan mikroalga benthik. Karbon organik dapat diproduksi secara otomatis atau diimpor oleh pasang surut dan / atau sungai. Kondisi pasang surut dan arus sungai di kedua lokasi studi memiliki potensi mempengaruhi kandungan C-Organik dan stok karbon tanah (Kristensen, Bouillon, Dittmar, & Marchand, 2008). Mangrove mengalokasikan lebih banyak karbon di bawah permukaan tetapi sebagai habitat pesisir mereka menyumbang 14% dari penyerapan karbon oleh lautan global. Jika cadangan karbon mangrove terganggu, emisi gas yang dihasilkan mungkin sangat tinggi (Alongi, 2014). Degradasi ekosistem mangrove melalui berbagai aktivitas manusia telah menjadi penyebab utama hilangnya mangrove. Oleh karena itu, mengurangi degradasi bakau dengan reboisasi mangrove yang dikelola secara berkelanjutan diharapkan dapat meningkatkan kapasitas mangrove dalam siklus karbon dan nutrisi (Suratman, 2008). Konversi mangrove di Indonesia telah berlangsung secara masif. Upaya menjaga fungsi ekologi mangrove dalam rangka mitigasi perubahan iklim tidak dapat membendung berbagai aktivitas manusia dalam pemanfaatan lahan mangrove (Junaedi et al., 2020). Mangrove menyimpan lebih banyak karbon daripada hutan rawa skala global. Mangrove menjadi semakin diakui sebagai simpanan karbon penting. Banyak aspek mangrove yang menjadikannya sebagai ekosistem yang penting dan unik (Behara, Shrivastava, & Shedage, 2019). Memperbaiki manajemen, termasuk penggunaan sumber daya secara bijaksana akan

meningkatkan manfaat dan jaminan untuk global dan komunitas lokal. Mangrove TN-Kutai harus dikelola berbasis kemasyarakatan karena di sekitar hutan mangrove sudah terdapat banyak pemukiman dan pemanfaatan lahan. Menjaga dan melestarikan mangrove tidak hanya tugas pemerintah atau pihak manajemen TN-Kutai tetapi juga menjadi tanggungjawab masyarakat sekitar kawasan.

4. KESIMPULAN

Hutan mangrove Taman Nasional Kutai yang berada di daerah Teluk Kaba dan Muara Teluk Pandan merupakan ekosistem penting yang harus dijaga dan ditingkatkan kelestariannya. Pada tanah mangrove di Teluk Kaba memiliki rata-rata kerapatan lindak $1,14 \text{ gr/cm}^3$ di Muara Teluk Pandan rata-rata $1,40 \text{ gr/cm}^3$. Kemudian rata-rata C-organik di Teluk Kaba memiliki rata-rata 2,27% dan di Muara Teluk Pandan sebesar 2,20%. Stok karbon tanah di kedua lokasi memiliki kisaran sebesar 66,2-116,1 ton/ha. Rata-rata stok karbon tanah di Teluk Kaba sebesar 74,85 ton/ha, kemudian rata-rata stok karbon tanah di Muara Teluk Pandan sebesar 94,43 ton/ha. Stok karbon tanah mangrove di lokasi penelitian tergolong rendah dibandingkan dengan stok karbon tanah mangrove di lokasi lain, termasuk mangrove yang ada di Kalimantan Timur.

DAFTAR PUSTAKA

- Abera, G., & Wolde-Meskel, E. (2013). Soil properties, and soil organic carbon stocks of tropical andosol under different land uses. *Journal of Soil Science*, 3, 153-162.
- Alongi, D. M. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests.

- Carbon management*, 3(3), 313-322.
- Alongi, D. M. (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual review of marine science*, 6, 195-219.
- Behara, L. K., Shrivastava, P. K., & Shedage, S. (2019). Carbon Rich Mangrove Forests: An Overview for Strategic Management and Climate Change Mitigation. *Advances in Research*, 1-9. doi:10.9734/air/2019/v18i230084
- BSN, B. S. I. (2011). Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon–Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting). *Badan Standarisasi Indonesia. SNI, 7724*, 2011.
- Budiarsa, A., & Rizal, S. (2013). Mapping and Deforestation Level of Mangrove Forest in Kutai National Park Base on Data Satelite Image of Landsat ETM and Vegetation Density. *Journal of Tropical Fisheries Sciences*, 19(1), 54-61.
- Chan, Y. (2008). Increasing soil organic carbon of agricultural land. *Primefact*, 735, 1-5.
- 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.
- Hairiah, K., & Rahayu, S. (2007). Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. *World Agroforestry Centre. Bogor*, 77.
- Hakim, M. A., Martuti, N. K. T., & Irsadi, A. (2016). Estimasi Stok Karbon Mangrove di Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang. *Life Science*, 5(2), 87-94.
- Junaedi, A., Hidayat, N., Mediawati, Y., Wibowo, A., Rizal, M., Setiarno, & Surasana, I. N. (2020). Biomass, Carbon Stock and Oxygen Produced by Mangrove Vegetation in Tropical Forest in Central Kalimantan, Indonesia. *Asian Journal of Crop Science*, 12(1), 26-33. doi:10.3923/ajcs.2020.26.33
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T., & Marchand, C. (2008). Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: a review. *Aquatic botany*, 89(2), 201-219.
- Kusumaningtyas, M. A., Hutahaean, A. A., Fischer, H. W., Pérez-Mayo, M., Ransby, D., & Jennerjahn, T. C. (2019). Variability in the organic carbon stocks, sources, and accumulation rates of Indonesian mangrove ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218, 310-323.
- Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest ecology and management*, 220(1-3), 242-258.
- Mahasani, I., Karang, I., & Hendrawan, G. (2016). *Karbon Organik Di Bawah Permukaan Tanah Pada Kawasan Rehabilitasi Hutan Mangrove, Taman Hutan Raya Ngurah Rai, Bali*. Paper presented at the Prosiding Seminar Nasional Kelautan.
- Noor, R., Y, Khazali, M., & Suryadiputra, I. (1999). Panduan pengenalan mangrove di Indonesia. *Wetland Internasional Programme. Bogor*.
- Olsson, M. T., Erlandsson, M., Lundin, L., Nilsson, T., Nilsson, Å., & Stendahl, J. (2009). Organic carbon

- stocks in Swedish Podzol soils in relation to soil hydrology and other site characteristics. *Silva Fennica*, 43(2), 209-222.
- Poedjirahajoe, E., Sulistyorini, I. S., & Komara, L. L. (2019). Species diversity of mangrove in Kutai National Park, East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(12).
- Purbopuspito, J., Murdiyarso, D., Warren, M., Kauffman, B., Krisnawati, H., Taberima, S., . . . Sasmito, S. (2014). Mangrove Soil Properties and their Carbon Pools among Large Islands in Indonesia. <https://www.researchgate.net/publication/287347108>. doi:DOI: 10.13140/RG.2.1.1489.6720
- Purnobasuki, H. (2012). Pemanfaatan hutan mangrove sebagai penyimpan karbon. *Buletin PSL Universitas Surabaya*, 28(3-5), 1-6.
- Rahmawati, S. (2011). Estimasi cadangan karbon pada komunitas lamun di Pulau Pari, Taman Nasional Kepulauan Seribu, Jakarta. *Jurnal Segara*, 7(1), 1-12.
- Rajiman, P. Y. (2008). Endang_Sulistyaningsih, dan Eko_Hanudin, 2008. *Pengaruh Pembena Tanah Terhadap Sifat Fisika Tanah Dan Hasil Bawang Merah Pada Lahan Pasir Pantai Bugel Kabupaten Kulon Progo. Agrin*, 12(1), 1410-0029.
- Sanderman, J., Hengl, T., Fiske, G., Solvik, K., Adame, M. F., Benson, L., . . . Donato, D. (2018). A global map of mangrove forest soil carbon at 30 m spatial resolution. *Environmental Research Letters*, 13(5), 055002.
- Setyawan, A. D., & Winarno, K. (2006). Conservation problems of mangrove ecosystem in coastal area of Rembang Regency, Central Java. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 7(2).
- Sidik, F., Supriyanto, B., & Lugina, M. (2017). Tingkat rujukan emisi hutan mangrove delta Mahakam. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan Vol*, 14(2), 93-104.
- Suratman, M. N. (2008). Carbon sequestration potential of mangroves in Southeast Asia. In *Managing forest ecosystems: The challenge of climate change* (pp. 297-315): Springer.
- Teddlie, C., & Yu, F. (2007). Mixed methods sampling: A typology with examples. *Journal of mixed methods research*, 1(1), 77-100.
- Wijaya, N. (2011). Pengelolaan zona pemanfaatan ekosistem mangrove melalui optimasi pemanfaatan sumberdaya kepiting bakau (*Scylla serrata*) di Taman Nasional Kutai Provinsi Kalimantan Timur. *Program Pasca Sarjana. IPB. Bogor*.