

Kajian Perubahan Luasan untuk Prediksi Simpanan Karbon Ekosistem Mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes

Faishal Widiaputra Nugraha^{1*}, Rudhi Pribadi¹, Anindya Wirasatriya²

¹Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

²Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, 50275

Email: faishalwn@gmail.com

Abstrak

Ekosistem mangrove memiliki potensi besar dalam penyerapan CO₂ dari atmosfer. Jumlah kadar CO₂ yang tersimpan pada ekosistem mangrove semakin berkurang seiring menyusutnya luasan ekosistem mangrove tersebut. Ekosistem mangrove Kabupaten Brebes diduga telah mengalami perubahan luasan sehingga berpengaruh terhadap jumlah CO₂ yang terserap. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan luasan dan prediksi simpanan karbon ekosistem mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes. Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2019 dengan menggunakan metode deskriptif. Citra yang digunakan adalah citra satelit Landsat tahun 1996, 2000, 2007, 2010, 2015, dan 2019. Pengolahan citra dilakukan dengan bantuan software *Er Mapper 7.0* dan *Arcmap 10.4.1*. Tahapan identifikasi mangrove menggunakan komposit *band RGB 564*, kemudian dilakukan pemisahan obyek mangrove dan non mangrove dengan menggunakan metode *unsupervised classification*. Metode analisis kerapatan mangrove yang digunakan adalah algoritma NDVI. Perhitungan nilai kandungan biomassa berdasarkan rumus *allometrik* tiap spesies. Perubahan luasan ekosistem mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes tahun 1996 - 2019 berturut-turut adalah 51,84 ha, 114,30 ha, 43,29 ha, 163,62 ha, 286,38 ha dan 475,65 ha. Sedangkan prediksi nilai simpanan karbon total adalah ± 689,57 ton, ± 1474,18 ton, ± 541,07 ton, ± 2612,17 ton, ± 4324,36 ton, dan ± 6778,30 ton. Nilai simpanan karbon total pada ekosistem mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes meningkat seiring dengan bertambahnya luasan ekosistem mangrove tersebut.

Kata kunci : Luasan, Simpanan Karbon, Mangrove, Kaliwlingi

Abstract

Study of Area Changes for Mangrove Ecosystem Carbon Predictions in Kaliwlingi Village, Brebes Regency

Mangrove ecosystems have great potential in absorbing CO₂ from the atmosphere. The amount of CO₂ stored in the mangrove ecosystem decreases as the area of the mangrove ecosystem shrinks. The mangrove ecosystem area of Brebes Regency was justified decreased as well as the CO₂ absorption. This study aims to determine changes in the extent and predictions of carbon stock of mangrove ecosystems in Kaliwlingi village, Brebes Regency. This research was conducted in May 2019 using descriptive methods. The imagery used was Landsat satellite imagery in 1996, 2000, 2007, 2010, 2015 and 2019. Image processing was carried out with the help of Er Mapper 7.0 and Arcmap 10.4.1 software. The stages of mangrove identification using the RGB 564 composite band, then the separation of mangrove and non-mangrove objects was carried out using the unsupervised classification method. The mangrove density analysis method used was the NDVI algorithm. Calculation of biomass value based on the allometric formula for each species. Changes in the extent of mangrove ecosystems in Kaliwlingi village, Brebes Regency in 1996 - 2019 were 51.84 ha, 114.30 ha, 43.29 ha, 163.62 ha, 286.38 ha and 475.65 ha, respectively. While the predicted values of total carbon stock were ± 689,57 ton, ± 1474,18 ton, ± 541,07 ton, ± 2612,17 ton, ± 4324,36 ton, dan ± 6778,30 ton. The values of total carbon stock in the mangrove ecosystem in Kaliwlingi village, Brebes Regency was increased along with the expansion of the mangrove ecosystem.

Keywords : Areas, Carbon Stock, Mangrove, Kaliwlingi.

PENDAHULUAN

Mangrove sebagai salah satu komponen ekosistem pesisir memiliki peranan penting, baik dilihat dari sisi ekologi, yaitu peranan dalam memelihara produktivitas perairan maupun dalam menunjang kehidupan ekonomi penduduk sekitarnya (Indrayanti *et al.*, 2015). Kawasan hutan mangrove selain berfungsi secara fisik sebagai penahan abrasi pantai, juga memiliki fungsi secara biologi seperti penyedia bahan makanan bagi kehidupan manusia terutama ikan, udang, kerang dan kepiting, serta sumber energi bagi kehidupan di pantai seperti plankton, nekton dan algae (Bismark *et al.*, 2008).

Menurut data FAO (2007), luas hutan mangrove di Indonesia dari tahun 1980 hingga tahun 2005 terus mengalami penurunan, yaitu 4,2 juta ha menjadi 2,9 juta ha. Menurut Faturrohman dan Marjuki (2017) bahwa tahun 2000 - 2005, luas hutan mangrove mengalami penurunan sekitar 1,6 % atau 50 ribu hektar. Penurunan luasan mangrove ini sebagian besar diakibatkan karena aktivitas masyarakat yang mengkonversi kawasan hutan mangrove secara berlebihan, penangkapan ikan yang tidak ramah lingkungan, lemahnya penataan, kurangnya koordinasi antara pemerintah dan kelembagaan masyarakat, serta lemahnya penegakan hukum di wilayah pesisir dan laut (Hamuna dan Tanjung, 2018). Hilangnya hutan mangrove ini menyumbang 42 % emisi gas karbondioksida (CO₂) ke atmosfer akibat rusaknya ekosistem pesisir, termasuk rawa, mangrove dan rumput laut (Murdiyarsa *et al.*, 2015).

Kabupaten Brebes, Provinsi Jawa Tengah pada tahun 1983 memiliki garis pantai sepanjang 65,48 km dan telah ditumbuhi vegetasi mangrove seluas 2.327 ha. Namun, pada tahun 2008 luasan mangrove tersebut tinggal 257,11 ha (Suyono, 2015). Perubahan luasan ekosistem mangrove diduga berpengaruh terhadap jumlah CO₂ yang terserap. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Dharmawan dan Siregar (2008) bahwa penurunan luasan ekosistem mangrove berhubungan dengan penyerapan dan penyimpanan karbon guna pengurangan kadar CO₂ di udara.

Informasi mengenai nilai simpanan dan serapan karbon ekosistem mangrove khususnya di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes sampai saat ini belum tersedia. Berdasarkan hal tersebut, penelitian tentang prediksi simpanan karbon pada ekosistem mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes perlu dilakukan.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2019. Materi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel utama dan variabel sekunder. Variabel utama yang dibutuhkan antara lain : data citra satelit Landsat tahun 1996, 2000, 2007, 2010, 2015, 2019, koordinat titik lokasi sampling, jenis spesies mangrove, diameter batang pohon mangrove setinggi dada (dbh), dan sampel sedimen mangrove. Variabel sekunder yang diperlukan antara lain : parameter lingkungan (suhu, pH, salinitas), data kewilayahan seperti batas wilayah serta data ramalan pasang surut di lokasi penelitian. Analisa kandungan C-organik pada sampel sedimen dilakukan di Laboratorium Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif. Metode deskriptif didasarkan pada tujuan untuk memperoleh fakta dari permasalahan serta mendeskripsikan atau menguraikan suatu keadaan (Hadi, 1984).

Pengolahan Citra

Data citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat 5 TM (*Thematic Mapper*) dan Citra Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) yang diperoleh dari *United State Geological Survey* (USGS) melalui <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Proses pengolahan citra satelit terdiri dari Koreksi Radiometrik, Koreksi Geometrik, *Cropping* Citra, Komposit Citra, Klasifikasi Citra, dan Analisis Indeks Vegetasi.

Koreksi Radiometrik

Pengolahan citra diawali dari pra-pengolahan yang terdiri dari koreksi radiometrik. Koreksi ini bertujuan memperbaiki nilai piksel agar sesuai dengan warna asli. Koreksi radiometrik dimaksudkan untuk menyusun kembali nilai pantulan yang direkam oleh sensor yang mendekati atau mempunyai pola seperti pantulan obyek sebenarnya sesuai dengan panjang gelombang perekamannya (Parman, 2014).

Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik pada citra Landsat merupakan upaya memperbaiki kesalahan perekaman secara geometrik agar citra yang dihasilkan mempunyai sistem koordinat dan skala yang seragam, dan dilakukan dengan cara translasi, rotasi, atau pergeseran skala (Parman, 2014). Koreksi geometrik merupakan suatu proses yang bertujuan pembetulan (rektifikasi) atau

pemulihan (restorasi) citra agar koordinat citra sesuai dengan koordinat bumi. Hal ini dapat dilakukan dengan mencocokkan (registrasi) posisi citra yang telah terkoreksi dengan citra dan registrasi citra dengan peta.

Cropping Citra

Pemotongan atau *cropping* citra dilakukan karena citra awal yang didapat memiliki cakupan area yang terlalu luas. Proses ini bertujuan agar pengolahan data menjadi lebih mudah, efektif dan efisien karena cakupan area citra baru menjadi lebih kecil. Pemotongan citra (*cropping*) dilakukan untuk mendapatkan citra yang hanya memuat wilayah penelitian saja (Hidayah dan Wiyanto, 2013).

Komposit Citra

Komposit citra atau *False Color Composite* (FCC) terbuat dari kombinasi tiga kanal, yaitu kanal dengan urutan filter merah (*red / R*), filter hijau (*green / G*) dan filter biru (*blue / B*). Hasil dari kombinasi band tersebut dikenal dengan nama citra komposit. Susunan komposit warna dari kanal citra penginderaan jauh minimal terdapat kanal Inframerah dekat untuk mempertajam penampakan unsur vegetasi. Komposit citra satelit yang dilakukan pada citra Landsat 5 yaitu RGB 453 dan citra Landsat 8 yaitu RGB 564. Komposit tersebut merupakan komposit *false color* untuk visualisasi vegetasi. Pembuatan citra komposit dilakukan untuk lebih memudahkan dalam membedakan vegetasi dengan obyek lainnya (Hidayah dan Wiyanto, 2013).

Karakteristik obyek vegetasi dapat dikenali berdasarkan unsur-unsur interpretasi seperti warna, bentuk, ukuran, pola, tekstur, bayangan, letak dan asosiasi kenampakan obyek. Vegetasi mangrove akan terlihat berwarna merah kecoklatan yang sangat kontras dengan objek lain di sekitarnya (LAPAN, 2015).

Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra merupakan suatu proses penyusunan, pengurutan, atau pengelompokan semua *pixel* ke dalam beberapa kelas berdasarkan suatu kriteria atau kategori objek (Muttaqin dan Aini, 2011). Klasifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised classification*) dengan metode klasifikasi *maximum likelihood*. Metode klasifikasi *maximum likelihood* adalah metode yang paling populer dalam klasifikasi data citra penginderaan jauh (Jia *et al.*, 2011).

Analisis Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi digunakan untuk memperoleh informasi mengenai kerapatan, biomassa, dan tingkat kehijauan vegetasi. Nilai indeks vegetasi NDVI dihitung sebagai rasio antara band NIR (*Near Infrared Radiation*) dengan band merah (*red*) pada spektrum gelombang elektromagnetik. Transformasi indeks vegetasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) menurut (Tucker, 1986)

Uji Validasi

Uji validasi dilakukan untuk mengecek kebenaran lokasi penelitian dan validasi data hasil analisis citra satelit dengan data yang didapat di lapangan. Uji validasi pada penelitian ini mengacu pada Hamuna *et al.* (2018) bahwa untuk mengetahui tingkat akurasi dari hasil klasifikasi digunakan metode uji ketelitian klasifikasi *confusion matrix*. Uji ini menggunakan matriks dengan mempertimbangkan *omission error* dan *commission error*.

Uji ketelitian yang dihitung antara lain *overall accuracy* (persentase dari piksel-piksel yang terkelaskan dengan tepat), *producer's accuracy* (peluang rata-rata suatu piksel yang menunjukkan sebaran dari masing-masing kelas yang telah diklasifikasi di lapangan) dan *user's accuracy* (peluang rata-rata suatu piksel secara aktual yang mewakili kelas-kelas tersebut) (Congalton dan Green, 2009). Uji ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketelitian pemetaan pada saat melakukan klasifikasi. Klasifikasi citra dianggap benar jika hasil perhitungan *confusion matrix* ≥ 80 .

Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel mangrove dilakukan di 3 kategori kerapatan yaitu Jarang, Sedang, Rapat dengan 3 kali pengulangan menggunakan metode transek petakan kuadran atau petakan (*transect plot*) berukuran 10 x 10 m². Menurut Nedhisa dan Tjahjaningrum (2010) bahwa pengambilan data mangrove menggunakan plot 10 m x 10 m untuk tegakan pohon, transek 5 m x 5 m untuk tingkat *sapling* (pancang) dan transek 2 m x 2 m untuk tingkat *seedling* (semai). Ukuran transek dibuat sesuai dengan ukuran rata-rata diameter pohon (Sutaryo, 2009). Data pengukuran mangrove di tiap stasiun dilakukan terhadap pohon (dbh > 4 cm), *sapling* (diameter > 1 cm ≤ 4 cm) dan *seedling* (diameter < 1 cm). Pada setiap stasiun (Jarang, Sedang, Rapat) dilakukan pengukuran diameter pohon mangrove setinggi dada (dbh) kemudian dicatat jenisnya.

Pengukuran parameter lingkungan pada penelitian ini meliputi Suhu, pH dan Salinitas. Pengambilan sampel sedimen dilakukan menggunakan sedimen *correr* berdiameter 5 cm dan panjang 1 m. Alat tersebut dibuat dari pipa PVC yang sudah dimodifikasi, sehingga dapat berfungsi seperti sedimen *correr* yang bertujuan untuk mengambil sampel sedimen. Selanjutnya, sedimen diuji di Laboratorium Departemen Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta untuk mengetahui kandungan C-organik menggunakan metode Walkey-black (Sugirahayu dan Rusdiana, 2011).

Pehitungan Biomassa

Pengukuran biomassa pohon dilakukan menggunakan persamaan *allometrik* yang telah dikembangkan. Menurut Sutaryo (2009) dalam studi biomassa hutan / pohon, persamaan *allometrik* digunakan untuk mengetahui hubungan antara ukuran pohon (diameter atau tinggi) dengan berat (kering) pohon secara keseluruhan. Persamaan allometrik untuk menentukan nilai biomassa pohon mangrove disajikan pada Tabel 1.

Karbon Biomassa

Perhitungan karbon biomassa menurut Badan Standardisasi Nasional (2011) menggunakan rumus yaitu :

$$Cb = B \times \% C_{organik}$$

Keterangan : Cb = kandungan karbon biomassa, dinyatakan dalam kilogram (kg); B = total biomassa, dinyatakan dalam (kg); % C_{organik} = nilai persentase kandungan karbon organik yaitu sebesar 0,47 atau menggunakan nilai persentase karbon organik yang diperoleh dari hasil pengukuran di laboratorium.

Serapan CO₂

Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan (2013), untuk mengkonversi karbon ke serapan CO₂ (kg)

diperlukan massa atom relatif C (12) dengan CO₂ (44), dirumuskan sebagai berikut :

$$Serapan CO_2 = \frac{Mr. CO_2}{Mr. C} \times Cb$$

Keterangan : Serapan CO₂ = serapan gas CO₂ dalam kilogram (kg); Cb = kandungan karbon biomassa, dalam kilogram (kg); Mr. CO₂ = 44 gr/mol; Mr. C = 12 gr/mol.

Karbon Organik Tanah

Menurut Badan Standardisasi Nasional (2011), perhitungan karbon organik tanah menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Ct = Kd \times \rho \times \% C_{organik}$$

Keterangan : Ct = kandungan karbon organik tanah, dinyatakan dalam gram (g/cm²); Kd = kedalaman contoh tanah / kedalaman tanah, dinyatakan dalam sentimeter (cm); ρ = kerapatan lindak (*bulk density*), dinyatakan dalam gram (g/cm³); % C_{organik} = nilai persentase karbon organik yang diperoleh dari hasil pengukuran di laboratorium.

Karbon Biomassa per Hektar

Persamaan untuk menghitung karbon biomassa per hektar menurut Badan Standardisasi Nasional (2011) sebagai berikut :

$$Cn = \frac{C_x}{1000} \times \frac{10000}{L_{plot}}$$

Keterangan : Cn = kandungan karbon per hektar pada masing-masing *carbon pool* pada tiap transek, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha); Cx = kandungan karbon pada masing-masing *carbon pool* pada tiap transek, dinyatakan dalam kilogram (kg); L_{transek} = luas transek pada masing-masing *pool*, dinyatakan dalam meter persegi (m²).

Tabel 1. Persamaan *Allometrik* untuk Perhitungan Biomassa Pohon Mangrove

Spesies	Persamaan	R ²	Sumber
<i>Rhizophora apiculata</i>	B = 0,048 (D) ^{2,614}	0,96	(Balitbang Kehutanan, 2013)
<i>Rhizophora mucronata</i>	B = 0,1466 (D) ^{2,3136}	0,93	(Nedhisa dan Tjahjaningrum, 2010)
<i>Sonneratia alba</i>	B = 0,3841 x 0,078 (D) ^{2,101}	0,92	(Kauffman and Donato, 2012)
<i>Avicennia marina</i>	B = 0,1848 (D) ^{2,3524}	0,98	(Balitbang Kehutanan, 2013)
<i>Avicennia alba</i>	B = 0,079211 (D) ^{2,470895}	0,97	(Sutaryo, 2009)

Keterangan : B = Biomassa Pohon Mangrove; D = Diameter Batang Pohon

Serapan CO₂ per Hektar

Persamaan untuk menghitung serapan CO₂ per hektar menurut Badan Standardisasi Nasional (2011) sebagai berikut :

$$S_n = \frac{S \text{ CO}_2}{1000} \times \frac{10000}{L \text{ plot}}$$

Keterangan : S_n = serapan gas (CO₂) per hektar (ton CO₂ / ha); S CO₂ = kandungan karbon pada masing masing *carbon pool* (kg); L_{transek} = luas transek pada masing-masing *carbon pool* (m²);

Karbon Organik Tanah per Hektar

Metode untuk menghitung kandungan karbon organik tanah per hektar menurut Badan Standardisasi Nasional (2011) adalah sebagai berikut :

$$C_t = C_{org \text{ tanah}} \times 100$$

Keterangan : C_t = kandungan karbon organik tanah per hektar, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha); C_{org tanah} = kandungan karbon organik tanah, dinyatakan dalam gram (g/cm²); 100 = faktor konversi dari g/cm² ke ton/ha.

Simpanan Karbon Total

Perhitungan simpanan karbon total menurut Lugina *et al.* (2011) yaitu :

$$C_t = C_n + C_{org \text{ tanah}}$$

Keterangan : C_{total} = simpanan karbon total, dinyatakan dalam (ton/ha); C_n = kandungan karbon per hektar pada masing-masing *carbon pool* (ton/ha); C_{org tanah} = kandungan karbon organik tanah per hektar (ton/ha).

HASIL DAN PEMBAHASAN**Kondisi Umum Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian terletak di bagian pesisir Kabupaten Brebes tepatnya di Desa Kaliwlingi, Kecamatan Brebes. Secara administrasi, batas wilayah sebelah utara yaitu Laut Jawa, batas sebelah selatan yaitu Desa Kedunguter, batas sebelah timur yaitu Desa Randusanga Kulon, dan batas sebelah barat yaitu Desa Sawojajar.

Hasil pengukuran parameter lingkungan menunjukkan bahwa kondisi perairan di lokasi penelitian masih dalam kategori standar baku mutu. Parameter lingkungan yang diukur dalam penelitian ini mencakup parameter Suhu, pH dan Salinitas yang disajikan pada Tabel 2. Suhu substrat perairan di area penelitian berkisar 28,00-30,20 °C dimana pada lokasi Sedang III merupakan lokasi dengan suhu terendah. Mangrove dapat tumbuh dengan baik pada daerah tropis dengan suhu di atas 20 °C (Aksornkoe, 1993). Nilai pH mencerminkan keseimbangan antara asam dan basa yang akan mempengaruhi pertumbuhan mangrove. Nilai pH pada lokasi penelitian berkisar antara 7,64 - 8,41. Salinitas di lokasi penelitian berkisar antara 5,94 - 32,20‰. Salinitas terendah berada pada lokasi Rapat II yaitu sebesar 5,94‰ dan tertinggi berada pada lokasi Jarang I sebesar 31,70‰. Menurut Aksornkoe (1993), mangrove biasanya tumbuh subur di daerah estuari dengan tingkat salinitas antara 10-30 ‰.

Kondisi pasang surut perairan di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes pada saat pengambilan sampel (Mei 2019) mengacu pada data BMKG Jawa Tengah. Kondisi pasang tertinggi mencapai 0,9 m dengan rata-rata pasang 0,9 m dan surut terendah mencapai 0,2 m dengan

Tabel 2. Parameter Lingkungan Lokasi Penelitian

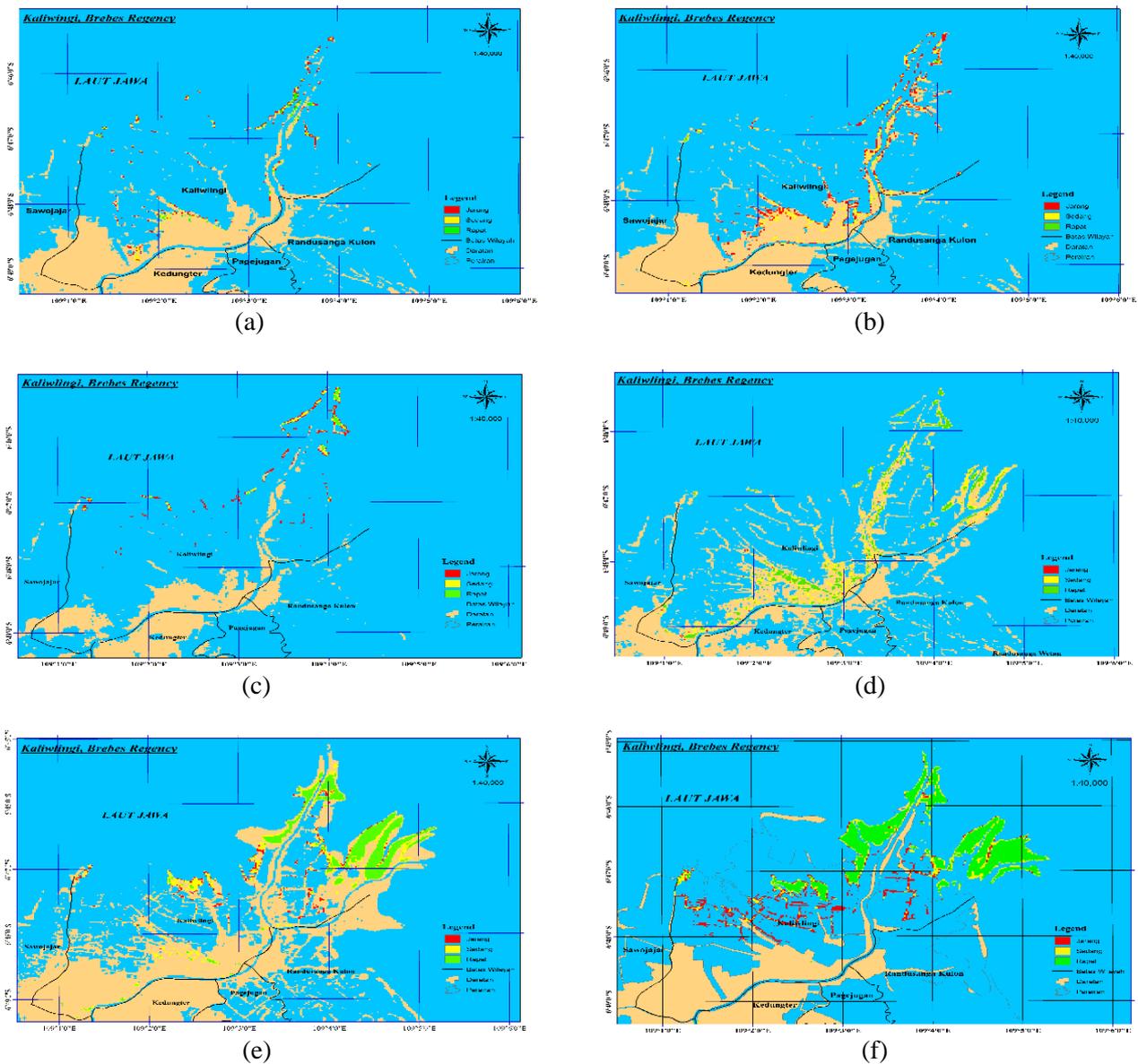
Lokasi	Suhu °C		pH	Salinitas ‰
	Udara	Substrat	Air	Air
Jarang I	32,00	30,00	8,26	31,70
Jarang II	31,20	29,80	8,40	25,40
Jarang III	30,40	29,40	8,12	32,20
Sedang I	30,00	28,30	7,64	28,35
Sedang II	30,50	29,40	8,41	24,60
Sedang III	29,70	28,00	7,98	30,87
Rapat I	31,30	30,20	8,29	13,60
Rapat II	31,80	29,50	8,38	5,94
Rapat III	30,10	28,50	8,05	11,30

rata rata surut 0,3 m. Sedangkan tinggi permukaan air rata-rata mencapai 0,6 m. Tipe pasang surut perairan ini berdasarkan perhitungan *admiralty* termasuk ke dalam jenis pasang surut campuran condong ke harian ganda (BMKG, 2017).

Perubahan Luasan Ekosistem Mangrove

Luasan ekosistem mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes pada tahun 1996 sampai tahun 2019 telah mengalami perubahan. Hasil analisis citra dengan menggunakan perhitungan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) diperoleh peta sebaran ekosistem mangrove di Desa Kaliwlingi dari tahun 1996 - 2019 yang disajikan pada Gambar 1.

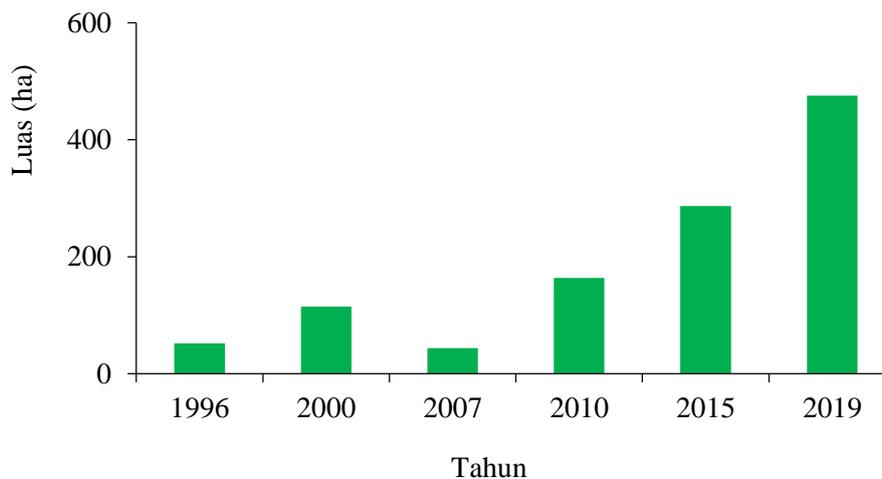
Luas ekosistem mangrove secara keseluruhan di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes pada tahun 1996 adalah 51,84 ha kemudian pada tahun 2000 luasan tersebut bertambah +62,46 ha sehingga menjadi 114,30 ha. Pada tahun 2007, luas hutan mangrove mengalami penurunan seluas -71,01 ha menjadi 43,29 ha. Tahun 2010, luas hutan mangrove mengalami kenaikan seluas +120,33 ha sehingga menjadi 163,62 ha. Pada tahun 2015, luas hutan mangrove terus mengalami kenaikan seluas +122,76 ha menjadi 286,38 ha. Sampai tahun 2019, luas hutan mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes mengalami kenaikan yang cukup signifikan yaitu seluas +189,27 ha sehingga menjadi 475,65 ha.



Gambar 1. Peta Sebaran Ekosistem Mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes a) Tahun 1996; b) Tahun 2000; c) Tahun 2007; d) Tahun 2010; e) Tahun 2015; f) Tahun 2019.

Tabel 3. Perubahan Luasan Ekosistem Mangrove per Kerapatan

Kerapatan	Luas Mangrove (Ha)					
	1996	2000	2007	2010	2015	2019
Jarang	24,48	65,79	25,65	2,61	30,06	96,66
Sedang	18,63	45,54	11,97	86,04	103,14	103,59
Rapat	8,73	2,97	5,67	74,97	153,18	275,40
Jumlah	51,84	114,3	43,29	163,62	286,38	475,65

**Gambar 2.** Grafik Perubahan Luasan Ekosistem Mangrove dari Tahun 1996 - 2019 di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes.

Perubahan luasan secara keseluruhan menunjukkan nilai yang positif dimana luasan ekosistem mangrove mengalami penambahan dari tahun ke tahun kecuali pada tahun 2007. Hal ini disebabkan karena pada tahun 2002 terjadi penurunan luasan ekosistem mangrove. Menurut data yang diperoleh dari Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Brebes (2008) bahwa pada tahun 2002 telah terjadi penurunan luasan ekosistem mangrove di Kecamatan Brebes (Kaliwlingi dan Randusanga Wetan) dimana luasan mangrove pada tahun tersebut hanya 94,41 ha. Penurunan luasan dapat disebabkan oleh faktor alam seperti abrasi pantai dan aktivitas manusia seperti pembukaan lahan untuk area tambak. Menurut Suyono *et. al.* (2015) bahwa terjadinya abrasi pantai dipicu oleh faktor berkurangnya hutan mangrove di suatu lokasi dan abrasi pantai juga menjadi peran penting dalam pengurangan luasan hutan mangrove yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain ekologis, sosial, ekonomi, dan budaya masyarakat setempat. Ditambahkan Opa (2010) bahwa

beberapa faktor yang dapat menyebabkan penurunan tingkat kerapatan mangrove salah satunya adalah kegiatan manusia seperti membuka lahan tambak dan pemukiman baru. Ditambahkan

Peran pemerintah dalam rangka menegakkan upaya rehabilitasi di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes berdampak pada bertambahnya luasan ekosistem mangrove dari tahun 2007 - 2019. Pada tahun 2008, telah dilakukan penanaman mangrove serentak (rehabilitasi) oleh masyarakat, *stakeholders*, beserta pemerintah setempat dengan jumlah 205.000 batang mangrove. Kondisi mangrove hasil rehabilitasi saat ini tumbuh dengan baik yaitu sekitar 70-75 %.

Identifikasi Mangrove

Vegetasi mangrove yang ditemukan dalam transek di stasiun penelitian terdiri atas 3 spesies, yang meliputi: spesies dari genus *Avicennia* (*Avicennia marina*), genus *Rhizophora* (*Rhizophora mucronata*), dan genus *Sonneratia* (*Sonneratia alba*). Jumlah tegakan mangrove yang ditemukan seluruhnya yaitu 132 individu.

Biomassa, Karbon Biomassa, dan Serapan CO₂

Nilai rata-rata diameter pohon, biomassa, karbon biomassa, dan serapan CO₂ pada setiap stasiun disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, kerapatan rapat memiliki nilai rata-rata kandungan biomassa terbesar dengan nilai 13,82 ton/ha. Kisaran diameter batang mangrove sebesar 4,90 - 8,29 cm dengan jumlah tegakan 83. Kerapatan dengan total biomassa terendah yaitu kerapatan jarang dengan nilai rata-rata biomassa sebesar 3,16 ton/ha. Kisaran diameter batang mangrove antara 4,30 - 5,37 cm dengan jumlah tegakan 17, sedangkan kerapatan sedang memiliki nilai rata-rata kandungan biomassa sebesar 11,38 ton/ha dengan kisaran diameter batang mangrove antara 4,72 - 13,40 cm. Jumlah tegakan akan mempengaruhi nilai biomassa di suatu kawasan ekosistem mangrove. Menurut Sugirahayu dan Rusdiana (2011) menyatakan bahwa perbedaan biomassa di masing-masing penutupan lahan dipengaruhi oleh jumlah dan kerapatan pohon, jenis pohon, faktor lingkungan yang meliputi penyinaran matahari, kadar air, suhu dan kesuburan tanah yang mempengaruhi laju fotosintesis. Biomassa pada setiap bagian pohon meningkat secara proporsional dengan semakin

besarnya diameter pohon sehingga biomassa pada setiap bagian pohon mempunyai hubungan dengan diameter pohon (Adinugroho dan Sidiyasa, 2001).

Nilai rata-rata kandungan karbon biomassa mangrove diperoleh dengan cara mengalikan nilai rata-rata biomassa pohon mangrove dengan nilai persentase kandungan karbon organik yaitu sebesar 0,47 sesuai dengan Badan Standarisasi Nasional Tahun 2011. Nilai rata-rata kandungan karbon biomassa tertinggi sampai terendah yaitu pada kerapatan rapat sebesar 6,49 ton/ha, kerapatan sedang sebesar 5,35 ton/ha dan kerapatan jarang dengan nilai 1,48 ton/ha. Menurut Chanan (2012) bahwa setiap penambahan kandungan biomassa akan diikuti oleh penambahan kandungan karbon. Karbon dan biomassa memiliki korelasi yang positif, apabila terjadi peningkatan ataupun penurunan biomassa maka akan menyebabkan peningkatan atau penurunan kandungan karbon. Persentase stok karbon meningkat sejalan dengan peningkatan biomassa. Stok karbon berbanding lurus dengan kandungan biomasanya. Kandungan biomassa tinggi maka stok karbon yang tersimpan juga akan semakin besar. Simpanan karbon dalam suatu vegetasi bergantung pada biomassa yang

Tabel 4. Nilai Rata-rata Diameter Pohon, Biomassa, Karbon Biomassa, dan Serapan CO₂

Kerapatan	No	Nama Spesies	D rata-rata (cm)	Biomassa (Ton/Ha)	Karbon Biomassa (Ton/Ha)	Serapan CO ₂ (Ton/Ha)
Jarang	I	RM	4,30	3,43	1,61	5,90
	II	RM	5,10	3,18	1,49	5,48
	III	RM	5,37	2,86	1,35	4,94
Rata-rata			4,92	3,16	1,48	5,44
Sedang	I	AM	9,02	39,17	18,41	67,50
	II	AM	11,80	24,56	11,54	42,33
		RM	6,16	4,92	2,31	8,48
	III	SA	13,4	0,70	0,33	1,20
		AM	7,27	7,86	3,69	13,55
		RM	4,72	2,13	1,00	3,66
Rata-rata			8,43	11,38	5,35	19,61
Rapat	I	AM	5,97	11,13	5,23	19,17
		SA	8,29	2,80	1,32	4,83
	II	AM	5,88	33,40	15,70	57,56
	III	AM	5,22	20,74	9,74	35,73
		SA	4,90	1,01	0,48	1,75
Rata-rata			6,05	13,82	6,49	23,81

Keterangan : RM = *Rhizophora mucronata*; AM = *Avicennia marina*; SA = *Sonneratia alba*.

terkandung pada pohon, kesuburan tanah dan daya serap vegetasi tersebut. Hal ini disebabkan oleh nilai kandungan karbon suatu bahan organik adalah 47% dari total biomasanya (Badan Standardisasi Nasional, 2011).

Serapan CO₂ adalah kemampuan pohon mangrove dalam menyerap gas karbon dioksida (CO₂). Nilai rata-rata serapan karbon dioksida (CO₂) di lokasi penelitian yaitu sebesar 5,44 ton/ha untuk kerapatan jarang, 19,61 ton/ha untuk kerapatan sedang dan 23,81 ton/ha untuk kerapatan rapat. Kerapatan dengan nilai serapan karbon dioksida tertinggi berada pada kerapatan rapat dengan nilai 23,81 ton/ha, sedangkan total serapan karbon dioksida terendah berada pada kerapatan jarang dengan nilai 5,44 ton/ha. Menurut Heriyanto dan Subiandono (2012) bahwa jumlah CO₂ yang diserap pohon semakin bertambah seiring dengan besarnya biomassa hasil konversi CO₂ pada pohon tersebut sehingga kandungan karbon yang dimiliki juga ikut besar.

Karbon Organik Tanah

Berdasarkan hasil uji laboratorium, jumlah nilai persentase C_{organik} sedimen mangrove di kerapatan jarang, sedang, dan rapat disajikan pada Tabel 5.

Nilai persentase C_{organik} pada sedimen mangrove berkisar antara 1,00 % - 3,87 %. Kerapatan dengan nilai persentase C_{organik} tertinggi berada pada kerapatan sedang dengan nilai 2,14 %, sedangkan persentase nilai C_{organik} terendah yaitu pada kerapatan rapat yaitu 1,61%. Secara umum hutan mangrove di Indonesia memiliki kandungan C_{organik} 1,32 - 8,95 % yang tergolong ke dalam kategori rendah - sangat tinggi (Hanafi dan Badayos, 1989); Murtidjo, 1989). Menurut Siarudin, M. dan Rachman, E. (2008) menyatakan bahwa serasah tanah berasal dari bahan-bahan organik berupa daun, ranting, cabang, buah, batang maupun fauna yang jatuh di tanah. Bahan-bahan tersebut apabila terdekomposisi oleh mikroorganisme akan termineralisasi menjadi unsur-unsur yang siap digunakan oleh tanaman. Salah satu proses dalam tanah yang sangat tergantung pada organisme tanah adalah dalam proses daur bahan organik.

Hasil rata-rata nilai karbon organik tanah pada sedimen mangrove dalam gram per sentimeter persegi adalah 0,0831 g/cm², 0,1192 g/cm², dan 0,0819 g/cm². Kerapatan sedang memiliki rata-rata nilai karbon organik tanah tertinggi dengan nilai 0,1192 g/cm², sedangkan kerapatan rapat dan jarang memiliki nilai karbon tanah yang hampir sama yaitu 0,0819 g/cm² dan

0,0831 g/cm². Hasil rata-rata nilai kandungan karbon organik tanah tertinggi dalam ton/ha berada pada kerapatan sedang dengan nilai 11,92 ton/ha. Sedangkan rata-rata nilai karbon organik tanah pada kerapatan rapat dan jarang yaitu 8,19 ton/ha dan 8,31 ton/ha. Menurut Siringoringo (2013) tinggi rendahnya simpanan karbon tanah ditentukan dari tiga variabel yang saling terkait yaitu konsentrasi karbon organik, berat jenis tanah, dan kedalaman tanah. Pada penelitian ini diketahui bahwa nilai karbon tanah dipengaruhi oleh presentase karbon organik tanah. Ditambahkan menurut Hidayanto *et al.* (2004) bahwa semakin besar vegetasi pada hutan mangrove akan memiliki kemampuan besar untuk menghasilkan serasah organik yang merupakan penyusun utama bahan organik dalam tanah.

Pengaruh faktor hidro oseanografi juga berperan dalam menentukan nilai karbon organik tanah. Material sedimen yang terdeposisi di daerah pantai dan laut dalam dikontrol oleh dua faktor. Faktor tersebut adalah transpor material pelapukan di daratan ke laut dan transpor yang terjadi di dalam laut itu sendiri. Proses pergerakan butiran sedimen menyusur pantai ditimbulkan oleh gerakan orbital gelombang yang menyebabkan sedimen bergerak bolak - balik dalam keadaan suspensi tanpa terjadi perpindahan. Terjadinya perpindahan atau pengangkutan sedimen bila ada arus yang bekerja dan arahnya mengikuti arah arus tersebut (Thornbury, 1964).

Prediksi Simpanan Karbon

Prediksi simpanan karbon merupakan pengkalian antara luas ekosistem mangrove dengan nilai rata-rata kandungan karbon (ton/ha). Hasil perhitungan prediksi simpanan karbon disajikan pada Tabel 6.

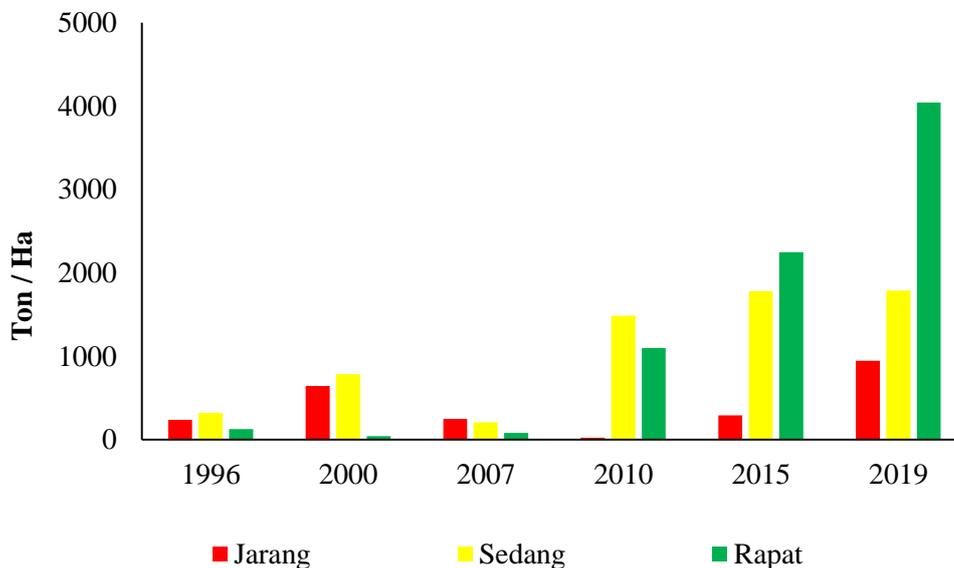
Berdasarkan Tabel 6 di atas menunjukkan bahwa nilai rata-rata simpanan karbon total di masing-masing tahun (1996 - 2019) memiliki perbedaan. Jika satu hektar (ha) ekosistem mangrove mampu menyimpan karbon dengan akumulasi dari total seluruh kerapatan sebesar ± 41,74 ton/ha, maka ekosistem mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes pada tahun 2019 dengan luas total 475,65 ha mampu menyimpan karbon sebesar ± 6.778,30 ton. Nilai prediksi simpanan karbon total ini merupakan nilai simpanan karbon total tertinggi jika dibandingkan dengan tahun lainnya. Nilai prediksi simpanan karbon total terendah terdapat pada tahun 2007 sebesar 541,07 ton.

Tabel 5. Nilai Karbon Organik Tanah

Kerapatan	No	% C organik	Karbon Organik Tanah (g/cm ²)	Karbon Organik Tanah (Ton/ha)
Jarang	I	2,24	0,1141	11,41
	II	1,41	0,0718	7,18
	III	1,24	0,0632	6,32
Rata-rata		1,63	0,0831	8,31
Sedang	I	1,66	0,0846	8,46
	II	3,87	0,1972	19,72
	III	1,49	0,0759	7,59
Rata-rata		2,14	0,1192	11,92
Rapat	I	1,66	0,0846	8,46
	II	1,00	0,0510	5,10
	III	2,16	0,1101	11,01
Rata-rata		1,61	0,0819	8,19

Tabel 6. Prediksi Simpanan Karbon Total per Tahun

Kerapatan	Prediksi Simpanan Karbon Total (Ton)					
	1996	2000	2007	2010	2015	2019
Jarang	± 239,64	± 644,03	± 251,09	± 25,55	± 294,26	± 946,22
Sedang	± 321,77	± 786,55	± 206,74	± 1486,05	± 1781,40	± 1789,17
Rapat	± 128,16	± 43,60	± 83,24	± 1100,57	± 2248,70	± 4042,90
TOTAL	± 689,57	± 1474,18	± 541,07	± 2612,17	± 4324,36	± 6778,30



Gambar 3. Grafik Prediksi Simpanan Karbon Tahun 1996 - 2019 pada Kerapatan Jarang, Sedang, Rapat di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes.

Perbedaan nilai simpanan karbon total ini dipengaruhi oleh adanya perbedaan luasan ekosistem mangrove, dimana pada tahun 2007 luasan mangrove hanya 43,29 ha, sedangkan pada tahun 2019 luasan ekosistem mangrove seluas

475,65 ha. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Dharmawan dan Siregar (2008) bahwa penurunan luasan ekosistem mangrove berhubungan dengan penyerapan dan penyimpanan karbon guna pengurangan kadar

CO₂ di udara. Prediksi simpanan karbon dari tahun 1996 - 2019 rata-rata mengalami kenaikan seiring bertambahnya luasan ekosistem mangrove.

Nilai rata-rata simpanan karbon total pada tahun 2019 di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes sebesar ± 6778,30 ton. Hasil tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Srikandi (2014) di dusun Pandansari, Kabupaten Brebes dimana nilai simpanan karbon total sebesar 2776,94 ton. Berdasarkan perbandingan simpanan karbon total ekosistem mangrove dengan penelitian lain, bahwa simpanan karbon total ekosistem mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes relatif cukup tinggi. Berdasarkan kondisi tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai simpanan karbon total ekosistem mangrove akan semakin tinggi seiring bertambahnya luasan ekosistem mangrove, begitu juga sebaliknya nilai simpanan karbon total akan semakin rendah apabila luasan ekosistem mangrove semakin berkurang.

KESIMPULAN

Luasan ekosistem mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes pada tahun 1996-2019 berturut-turut adalah 51,84 ha, 114,30 ha, 43,29 ha, 163,62 ha, 286,38 ha dan 475,65 ha. Sedangkan nilai rata-rata prediksi simpanan karbon totalnya adalah ±689,57 ton, ±1474,18 ton, ±541,07 ton, ± 2612,17 ton, ±4324,36 ton, dan ±6778,30 ton. Nilai rata-rata simpanan karbon total pada ekosistem mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes secara umum telah mengalami peningkatan per tahunnya seiring dengan bertambahnya luasan ekosistem mangrove.

DAFTAR PUSTAKA

Adinugroho, W.C. & Sidiyasa, K. 2001. Model Pendugaan Biomassa Pohon Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) diatas Permukaan Tanah. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 3(1):103-117. DOI : 10.20886/jphka.2006.3.1.103-117

Aksornkoe, S. 1993. Ecology and Management of Mangrove. *International Union for Conservation of Nature*, Bangkok. Thailand : 33 – 43p.

Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. 2013. Pedoman Penggunaan Model Alometrik untuk Pendugaan Biomassa dan Stok Karbon Hutan di Indonesia. Kementerian Kehutanan. Bogor. 33 halaman.

Badan Standardisasi Nasional. 2011. Pengukuran dan Penghitungan Karbon - Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan. SNI 7724 (*Ground Based Fores Carbon Accounting*). Jakarta : 1 – 16 hal.

Bismark, M., Subiandono, E. & Heriyanto, N.M., 2008. Keragaman dan Potensi Jenis Serta Kandungan Karbon Hutan Mangrove di Sungai Subelen Siberut, Sumatera Barat. Bogor. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 5(3):297-306. DOI : 10.20886/jphka.2008.5.3.297-306

Congalton, R.G. & Green, K. 2009. Assessing The Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. *International Journal of applied Earth Observation and Geoinformation*. 11:448-449. DOI : 10.1016/j.jag.2009.07.002

Chanan, M. 2012. Pendugaan Cadangan Karbon (C) Tersimpan di Atas Permukaan Tanah pada Vegetasi Hutan Tanaman Jati (*Tectona Grandis* Linn. F) Di RPH Sengguruh BKPH Sengguruh KPH Malang Perum Perhutani II Jawa Timur. *Jurnal Gamma*. 7(2):61-73.

Dharmawan, I.W. & Siregar, C.H. 2008. Karbon Tanah Dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia marina* (Forsk) Vierh. di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 5(54):317-328. DOI : 10.20886/jphka.2008.5.4.317-328

Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Brebes. 2008. Penyusunan Rencana Tata Ruang Pesisir Kabupaten Brebes. Dinas Kelautan dan Perikanan, Brebes. 56 halaman.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2007. The World's mangroves 1980-2005: Rome (RO): *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 77 pages. DOI : 10.1787/agr_outlook-2017-en

Faturrohman, S. dan Marjuki, B. 2017. Identifikasi Dinamika Spasial Sumberdaya Mangrove di Wilayah Pesisir Kabupaten Demak, Jawa Tengah. *Majalah Geografi Indonesia*, 31(1):56-64. DOI : 10.22146/mgi.24234

Hadi, S. 1984. Metodologi Reserch: Untuk Penulisan Paper, Skripsi, Thesis, dan Disertasi. Jilid 1. Fakultas Psikologi Univ. Gadjah Mada. Yogyakarta. 87 halaman.

Hanafi, A. & Badayos, R. B. 1989. Evaluation of Brackishwater Fish Pond Productivity in Bulacan Province, Philipines. *JPBP* 5(1):66-76

- Hamuna, B., Sari, A.N. & Megawati, R. 2018. Kondisi hutan mangrove di kawasan Taman Wisata Alam Teluk Youtefa, Kota Jayapura. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal*, 35(2):75–83. DOI : 10.22146/mgi.33755.
- Heriyanto, N.M. & Subiandono E. 2012. Komposisi dan struktur tegakan, biomasa, dan potensi kandungan karbon hutan mangrove di Taman Nasional Alas Purwo. *Jurnal Penelitian dan Konservasi Alam*. 9(1):23-32. DOI : 10.20884/1.Sb.2017.4.2.404
- Hidayah, Z. & Wiyanto, D.B. 2013. Analisa Temporal Perubahan Luas Hutan Mangrove di Kabupaten Sidoarjo dengan Memanfaatkan Data Citra Satelit. *Bumi Lestari*, 13(2):318–326. DOI : 10.21107/rekayasa.v11i1.4120.
- Hidayanto, W., Heru, A. & Yossita. 2004. Analisis Tanah Tambak sebagai Indikator Tingkat Kesuburan Tambak. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian. Kalimantan Timur. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*. 7(2): 180-186. DOI : 10.21082/jpopt.v7n2.2004.p%25p
- Indrayanti, M.D., Fahrudin, A., & Setiobudiandi, I. 2015. Penilaian Jasa Ekosistem Mangrove di Teluk Blanakan Kabupaten Subang. Bogor. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 20 (2): 91-96. DOI : 10.18343/jipi.20.2.91
- Jia, K., Xiangqin, W., Xingfa, G., Yunjun, Y., Xianhong, X. & Bin, L. 2011. Land Cover Classification Using Landsat 8 Operational Land Imager data in Beijing, China. *Geocarto International*. 29:941-951. DOI : 10.1080/10106049.2014.894586.
- Kauffman, J.B. & Donato, D.C. 2012. Protocols for The Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forest. *Center for International Forestry Research*. 40 halaman. DOI : 10.17528/cifor/003749.
- LAPAN. 2015. Pedoman Pengolahan Data Penginderaan Jauh Landsat 8 Untuk Mangrove. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional. Jakarta. 14 halaman.
- Lugina, M., Ginoga, K. L., Wibowo, A., Bainnaura, A., & Partiani, T. 2011. Prosedur Operasi Standar (SOP) untuk Pengukuran Stok Karbon di Kawasan Konservasi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor, 28 hlm.
- Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, D. S., Donato, D. C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., Kurnianto. S. 2015. The Potential of Indonesian Mangrove Forests for Global Climate Change Mitigation. *Center for International Forestry Research*. 5:1089-1092. DOI : 10.17528/CIFOR/DATA.00031
- Murtidjo, B.A. 1989. Tambak Air Payau, Budidaya Udang dan Bandeng. Yogyakarta: Kanisius. 138 hlm.
- Muttaqin, S. & Aini, Q. 2011. Analisis Perubahan Penutup Lahan Hutan dan Perkebunan di Provinsi Jambi Periode 2000- 2008. *Jurnal Sistem Informasi*. 4(2):1–8. DOI : 10.15408/sjisi.v4i2.137.
- Nedhisa, P.I. & Tjahjaningrum, I.T., 2019. Estimasi Biomassa, Stok Karbon dan Sekuestrasi Karbon Mangrove pada *Rhizophora mucronata* di Wonorejo Surabaya dengan Persamaan Allometrik. Surabaya. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 8(2): 61–65. DOI : 10.12962/j23373520.v8i2.45838
- Opa, E.T. 2010. Analisis Perubahan Luas Lahan Mangrove di Kabupaten Pohuwato Propinsi Gorontalo Dengan Menggunakan Citra Landsat. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 6 (2) : 79 - 82. 10.35800/jpkt.6.2.2010.165.
- Parman, S. 2014. Deteksi Perubahan Garis Pantai Melalui Citra Penginderaan Jauh Di Pantai Utara Semarang Demak. Semarang. *Jurnal Geografi*. 7(1):30-38. DOI : 10.15294/jg.v11i1.8052
- Siarudin, M., & Rachman, E. 2008. Biomassa Lantai Hutan dan Jatuh Serasah Di Kawasan Mangrove Blanakan, Subang, Jawa Barat. Balai Penelitian Ciamis. Banjar. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 5 (4):329-335. DOI : 10.20886/jphka.2008.5.4.329-335
- Siringoringo, H.H., 2013. Potensi Sekuestrasi Karbon Organik Tanah Pada Pembangunan Hutan Tanaman Acacia Mangium Willd (Potential Of Soil Organic Carbon Sequestration On Establishment Of Acacia Mangium Willd Plantation). Bogor. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 10 (2):193-213. DOI : 10.20886/jphka.2013.10.2.193-213
- Sugirahayu, L., & Rusdiana, O. 2011. Perbandingan Simpanan Karbon pada Beberapa Penutupan Lahan di Kabupaten Paser, Kalimantan Timur Berdasarkan Sifat Fisik dan Sifat Kimia Tanahnya. Departemen

- Silvikultur, Fakultas Kehutanan IPB. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 2(3):149-155.
- Sutaryo, D. 2009. Penghitungan Biomassa: Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon Dan Perdagangan Karbon. Bogor: *Wetlands International Indonesia Programme*. Bogor, 39 halaman.
- Suyono, S., Hendrarto, B., & Radjasa., O. K. 2015. Pemetaan Degradasi Ekosistem Mangrove dan Abrasi Pantai Berbasis Geographic Information System di Kabupaten Brebes, Jawa Tengah. *Oseatek*, 9 (1):90–102.
- Thornbury, W.D., 1964. Principles of Geomorphology. By John Wiley and Sonc. Inc. New York and London. 100 pages.
- Tucker, C. J. and Sellers, P. J. 1986: Satellite Remote Sensing of Primary Production. *Int. Journal Remote Sensing*, 7:1395-1416. DOI : 10.1080/01431168608948944