

KUANTIFIKASI KANDUNGAN KARBON PADA HUTAN REHABILITASI MANGROVE PASAR BANGGI, REMBANG, JAWA TENGAH

Naisa 'Aqila
aqilanaisa@gmail.com
Eko Haryono
e.haryono@ugm.ac.id

Abstract

This study aims to determine the carbon content of carbon sources on the surface, roots, mud substrate, and the total carbon content and to know the economic value of carbon from Pasar Banggi mangrove forest, Rembang, Central Java. The method of this research is non destructive sampling. There are four zoning year of planting year that are planting year 1970 - 1988, 1970 - 1990, 1980 - 1990, and 1990 - 2013. The carbon content of mud substrate has the highest amount of carbon. Total carbon content in Pasar Banggi mangrove forest is 753,39 ton C/ha. Total content of CO₂ is 2.764,93 ton CO₂ /ha. Total economic value of carbon is Rp. 73.685.460. This value indicated the the economic value of carbon stock since 1970. The economic value can be derived from other benefits of mangrove forests such as wood, leaves, fruits, and tourism activity in this mangrove forest.

Keywords : *biomass, carbon, mangrove, economic value*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan karbon sumber karbon di permukaan, akar, substrat lumpur, dan kandungan karbon total dan untuk mengetahui nilai ekonomi karbon dari hutan mangrove di Pasar Banggi, Rembang, Jawa Tengah. Metode sampling penelitian ini adalah sampling non destruktif. Terdapat empat tahun zonasi penanaman tahun yang dimulai tahun 1970 - 1988, 1970 - 1990, 1980 - 1990, dan 1990 - 2013. Kandungan karbon substrat lumpur memiliki jumlah karbon tertinggi. Total kandungan karbon di hutan bakau Pasar Banggi adalah 753,39 ton C/ha. Total kandungan CO₂ adalah 2.764,93 ton CO₂/ha. Total nilai ekonomis karbon adalah Rp. 73.685.460. Nilai ini menunjukkan nilai ekonomi dari cadangan karbon sejak tahun 1970. Nilai ekonomi dapat berasal dari manfaat lain dari hutan mangrove seperti kayu, daun, buah-buahan, dan aktivitas pariwisata di hutan mangrove ini.

Kata kunci : *biomassa, karbon, mangrove, nilai ekonomi*

PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan pemicu terjadinya perubahan iklim serta mengakibatkan kenaikan frekuensi maupun intensitas cuaca ekstrim. (Kementrian Negara Lingkungan Hidup, 2007). Hutan Indonesia memiliki peranan penting untuk menjaga ekosistem lingkungan dunia. Terdapat berbagai jenis hutan di Indonesia, salah satu hutan tropis yang khas adalah hutan mangrove. Hutan mangrove di Indonesia memiliki luas sekitar 3.224.018.460 hektar (PPSDAL Bakosurtanal, 2009 dalam Direktorat Pesisir dan Kelautan, 2012). Perdagangan karbon merupakan upaya pemerintah untuk memaksimalkan fungsi ekologis dari keberadaan hutan sebagai penyerap karbon. Maka dari itu, diperlukan inventarisasi data yang tepat dan lengkap mengenai kandungan-kandungan karbon pada hutan, salah satunya adalah hutan mangrove sebagai hutan khas di wilayah tropis.

Hasil rehabilitasi mangrove Desa Pasar Banggi juga merupakan salah satu ekosistem hutan mangrove yang telah berhasil melalui program restorasi dan rehabilitasi mangrove yang berlangsung sejak tahun 1980 (Setyawan, 2015). Hal tersebut menjadikan hutan rehabilitasi mangrove ini menjadi salah satu aset dalam perdagangan karbon. Informasi aktual mengenai kandungan karbon dan besar nilai ekonomi karbon menjadi inventaris data untuk skema perdagangan karbon serta sebagai upaya peningkatan konservasi hutan mangrove.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di hutan rehabilitasi mangrove Desa Pasar Banggi, Rembang Jawa Tengah. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan sampling berdasarkan umur tahun tanam dan zonasi darat dan laut. Masing-masing zonasi mangrove diambil sampel dengan metode

purposive sampling karena mempertimbangkan umur tanam mangrove. Pada penelitian ini jarak interval adalah sebesar 200 meter dengan intensitas sampling sebesar 1,4%. Pengukuran kerapatan dan komposisi vegetasi dilakukan dengan identifikasi jenis dan jumlah pohon. Pengambilan data biomassa karbon diatas permukaan tanah dan karbon di akar dilakukan dengan mengukur diameter pohon setinggi dada (DBH). Data luas tahun tanam diperoleh dengan citra Google Earth tahun 2017 dan hasil wawancara dengan kelompok tani mangrove. Pengambilan data karbon dalam substrat lumpur dilakukan dengan mengambil substrat tanah terusik menggunakan *ring sample* dan tak terusik secara *composite sampling* pada profil 0 – 30 cm pada masing-masing petak ukur berdasarkan tahun tanam. Perhitungan kandungan karbon diawali dengan menghitung biomassa tiap pohon. Kandungan biomassa di atas permukaan tanah dan biomassa akar, digunakan persamaan allometrik menurut Komiyama dkk (2005) yaitu sebagai berikut :

$$W_{top} = 0,251 \times p \times D^{2,46} \text{ dan} \\ W_R = 0,199 \times p^{0,899} \times D^{2,2}$$

Keterangan :

W_{top} = biomassa permukaan (kg)

W_R = biomassa akar (kg)

ρ = kepadatan kayu (g/cm^3)

D = diameter setinggi dada (DBH) atau 30 cm diatas akar tertinggi dengan diameter > 5 cm.

Perolehan nilai kepadatan kayu (p atau ρ) antar pohon yang satu dengan yang lain berbeda. Pada penelitian ini menggunakan data kepadatan dari World Agroforestry. Kandungan total biomassa yang diperoleh merupakan dalam satuan kilogram sehingga perlu dikonversi ke dalam ton. Perhitungan dilakukan dengan rumus Brown (1997) dengan asumsi kandungan karbon terdapat pada 50%

dari kandungan biomassa. Total karbon di atas permukaan tanah dan di dalam akar di hutan rehabilitasi dapat dihitung dengan menjumlah total karbon diatas permukaan tanah maupun total karbon di akar pada tiap tahun tanam.

Pengolahan data karbon dalam substrat lumpur dilakukan setelah mengukur kandungan karbon organik dan *bulk density* pada tanah tidak terusik d di laboratorium untuk diolah dengan rumus berikut :

$$K \text{ tanah} = A \times B \times C \times D$$

Keterangan

A = luas kawasan tiap tahun tanam (m²)

B = bulk density (gr/cm³ atau ton/m³)

C = kadar karbon (c-organik) dalam persen

D = kedalaman lumpur (m)

Pengolahan data total kandungan karbon dan CO₂ yaitu untuk mengetahui nilai total kandungan karbon diperoleh dengan menjumlah keseluruhan kandungan karbon sebagai berikut :

$$K \text{ total} = T \text{ Ktop} + T \text{ KR} + K \text{ tanah}$$

Kandungan CO₂ diperoleh dengan konversi berikut :

$$W \text{ CO}_2 = K \text{ total seluruh tanam} \times 3,67$$

(perbandingan massa relatif CO₂ dengan unsur C)

Pengolahan data nilai ekonomi karbon dilakukan dengan mengalikan kandungan CO₂ ke dalam nilai rupiah berdasarkan harga karbon menurut Ecosystem Marketplace tahun 2017.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Wilayah penelitian terbagi ke dalam empat jenis tahun tanam yaitu tahun tanam 1970 – 1988, 1980 – 1990, 1988 – 2013, 1990 – 2013. Jenis vegetasi yang tumbuh meliputi *Rhizophora apiculata*, *Rhizopora mucronata*, *Rhizophira stylosa*, *Sonneratia alba*, dan *Avicennia marina*.

Kerapatan Vegetasi

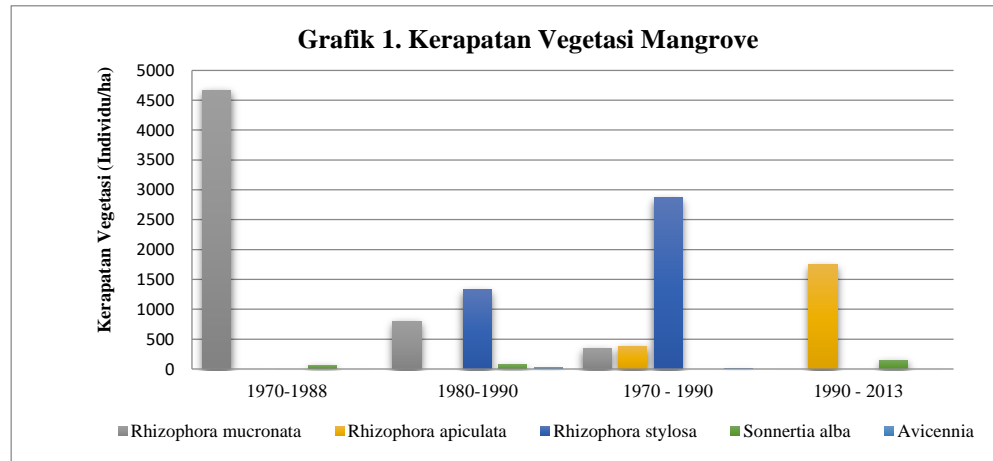
Tingkat kerapatan tertinggi terdapat pada tahun tanam 1970 – 1980 yaitu sebesar 4.733 individu/ha. Pada kawasan tahun tanam ini jenis mangrove yang mendominasi adalah *Rhizophora mucronata*. Pada kawasan tahun tanam tertua, tumbuhan *Rhizopora mucronata* mendominasi karena merupakan jenis yang paling mudah beradaptasi di kawasan ini. Jenis seperti *Sonneratia alba* hanya berhasil tumbuh sedikit (Sahal, 2016). Kondisi ini sesuai dengan penjelasan Permenhut (2008) bahwa jenis *Rhizophora* banyak dijadikan sebagai tanaman perintis karena mudah beradaptasi dengan substrat lumpur. Noor dkk (2012) menambahkan bahwa jenis *Rhizophora mucronata* merupakan jenis tumbuhan mangrove yang paling penting dan paling tersebar luas. *Rhizophora mucronata* umumnya tumbuh dalam kelompok (Noor, 2012) sehingga hal ini menjadi salah satu faktor kerapatan vegetasinya tinggi.

Kerapatan vegetasi dapat berpengaruh terhadap diameter batang tanaman. Walaupun diameter vegetasi umumnya tidak jauh berbeda pada satu kawasan tahun tanam tetapi proses suksesi hutan khususnya dalam kompetisi memperoleh energi dan unsur hara menyebabkan adanya sebaran kelas diameter (Ewusie, 1980). Semakin rendah nilai kerapatan vegetasi maka nilai densitas juga akan semakin rendah. Pada kawasan dengan vegetasi bertajuk lebih rapat, laju pereduksian CO₂ menjadi biomassa melalui fotosintesis berlangsung lebih cepat dibandingkan pada kawasan bertajuk kurang rapat. Semakin tinggi kandungan biomassa maka akan semakin tinggi kandungan karbon (Forestriko dan Hartono, 2016).

Pada. **Grafik 1.** menunjukkan pada kawasan tahun tanam ini jenis vegetasi yang banyak dijumpai adalah *Rhizophora stylosa* yang banyak tumbuh di zona dekat darat. Pada kawasan ini jenis mangrove juga beragam dimana terdapat *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia*. Jenis

tanaman yang mendominasi adalah *Rhizophora stylosa*. Selain itu tanaman yang dapat dijumpai adalah *Sonneratia alba* dan *Rhizophora mucronata*. Berbeda dengan jenis *Rhizophora* yang hidup mengelompok, jenis *Sonneratia* ditemui sebagai vegetasi tunggal.

Sonneratia yang ditemui pada kawasan tahun tanam cukup tua memiliki diameter yang besar menunjukkan bahwa tanaman ini mampu bertahan hidup dengan baik.



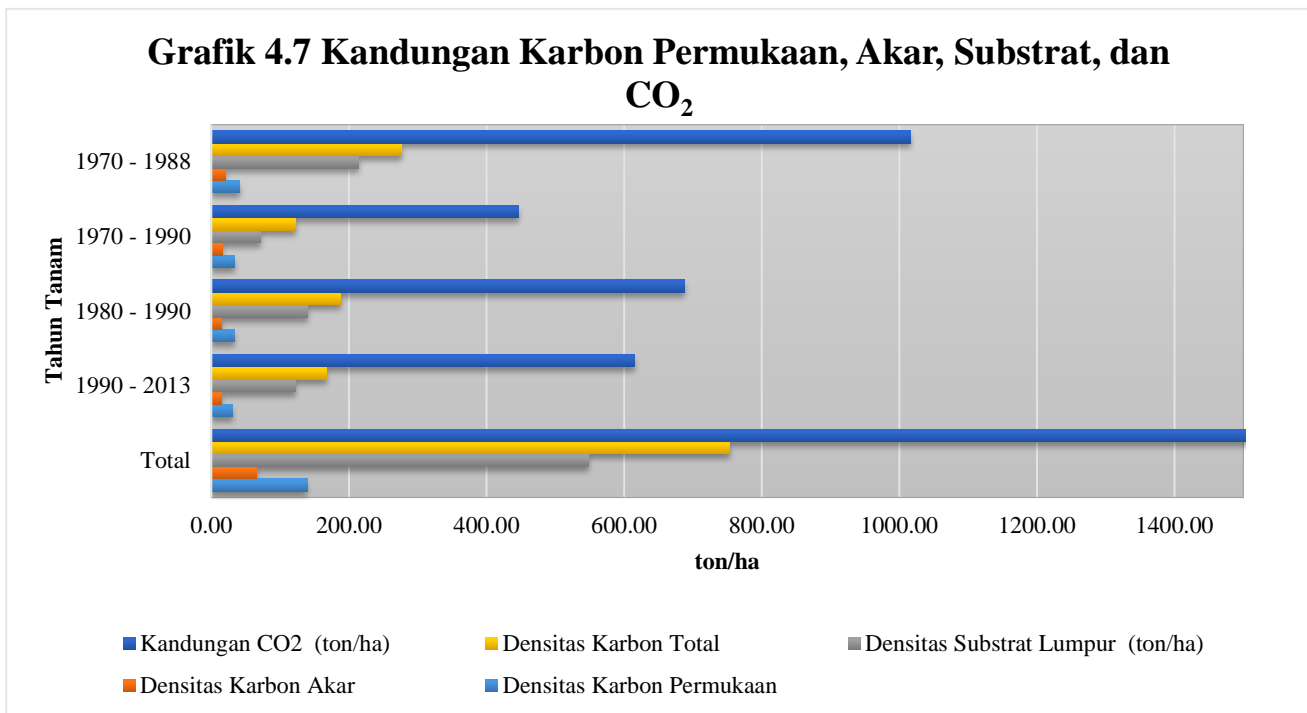
Sumber : Pengolahan Data Lapangan, 2017

Kandungan Karbon di Permukaan

Karbon di atas tanah atau karbon permukaan menurut IPCC-GL (2006) yang terdapat pada **Grafik 2.** merupakan salah satu dari lima sumber karbon (*carbon pools*). Pengukuran karbon permukaan bersumber dari biomassa vegetasi yang terdapat pada komponen-komponen vegetasi. Kandungan biomassa diperoleh melalui pengukuran diameter tanaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kusmana dkk, (1992) bahwa

diameter menjadi salah satu penentu besar kandungan biomassa selain tinggi tanaman, kerapatan kayu, dan kesuburan tanah.

Kandungan karbon terdapat pada 50% dari bahan kering tanaman (Brown, 1997). Maka kandungan karbon diperoleh dengan mengalikan 50% dari biomassa tanaman. Mangrove merupakan tipe tumbuhan kayu. Tipe ini memiliki kemampuan yang baik bagi penyerapan karbon karena tajuk pohon yang cukup lebat (Nurjani dkk, 2015).



Sumber : Pengolahan Data Lapangan, 2017

Karbon pada Akar

Kandungan biomassa dalam akar merupakan salah satu sumber karbon yang dihitung dalam penelitian ini. Kandungan karbon dalam akar pada hutan rehabilitasi mangrove Pasar Banggi terdapat pada **Grafik 2**. Kandungan karbon dalam akar yang tertinggi terdapat pada tahun tanam 1980 – 1990 dengan besar karbon sebesar 75,05 ton C. Kandungan karbon terendah terdapat pada tahun tanam 1990 – 2013 sebesar 21,14 ton C. Kandungan karbon dalam akar jauh lebih rendah dibandingkan kandungan karbon di permukaan. Kandungan karbon akar diperoleh melalui data diameter pohon yang dihitung dengan persamaan alometrik.

Kandungan karbon dalam akar cenderung lebih sedikit karena media penyimpanan biomassa yang juga terbatas. Biomassa dalam akar atau biomassa bawah permukaan memiliki nilai yang lebih sedikit dibandingkan biomassa di permukaan. Penelitian Purnobasuki dkk. (2012) menerangkan bahwa proporsi kandungan biomassa terbesar terletak pada batang. Hal

tersebut berkaitan dengan hasil produksi proses fotosintesis yang disimpan pada batang.

Kandungan Karbon pada Substrat

Karbon dalam substrat lumpur merupakan kandungan karbon dalam tanah pada hutan mangrove. Substrat tersusun atas campuran antara pasir, lumpur tanah liat yang bercampur dengan bahan organik pada wilayah pengendapan (Badan Informasi Geospasial, 2014). Pada ekosistem mangrove, substrat lumpur berperan sebagai media tumbuh tanaman mangrove sebagai hasil dari proses pengendapan sedimen yang terbawa dari sungai. Perakaran vegetasi mangrove yang rapat dan kuat mengakibatkan berbagai bahan organik dan partikel endapan akan terperangkap dan tersangkut sehingga membentuk endapan yang menstabilkan tanah (Purnobasuki, 2012).

Kandungan bahan organik diatas 8,5% menurut Puslittanak (dalam Laboratorium Geomorfologi Lingkungan dan Mitigasi Bencana, 2016) tergolong sangat tinggi. Kandungan

karbon organik substrat lumpur yang tinggi pada tahun tanam ini dapat disebabkan tahun tanam yang sudah lama sehingga pohon berumur tua. Menurut Alongi et.al (2004) produksi biomassa pada tegakan yang sudah tua akan semakin tinggi sehingga bagian tanaman yang gugur atau mati akan terdekomposisi selain itu perakaran yang semakin lebar dan kuat membantu proses penangkapan sedimen lebih optimal pada saat pasang surut. Karbon organik pada tahun tanam 1990 – 2013 memiliki nilai yang terendah karena tahun tanam yang masih relatif muda sehingga proses dekomposisi belum berlangsung intensif seperti umur tahun tanam yang lebih tua.

Bulk density atau berat volume adalah rasio antara berat kering mutlak dengan volume tanah apadanya (Sartohadi dkk, 2013). Nilai *bulk density* pada tahun tanam 1970 – 1990 memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 0,88 ton/m³. Kandungan *bulk density* pada tahun tanam ini dapat dipengaruhi oleh substrat lumpur yang lebih kasar karena banyak mengandung pasir. Tekstur pasir memiliki jumlah pori yang sedikit sehingga nilai *bulk density* tinggi.

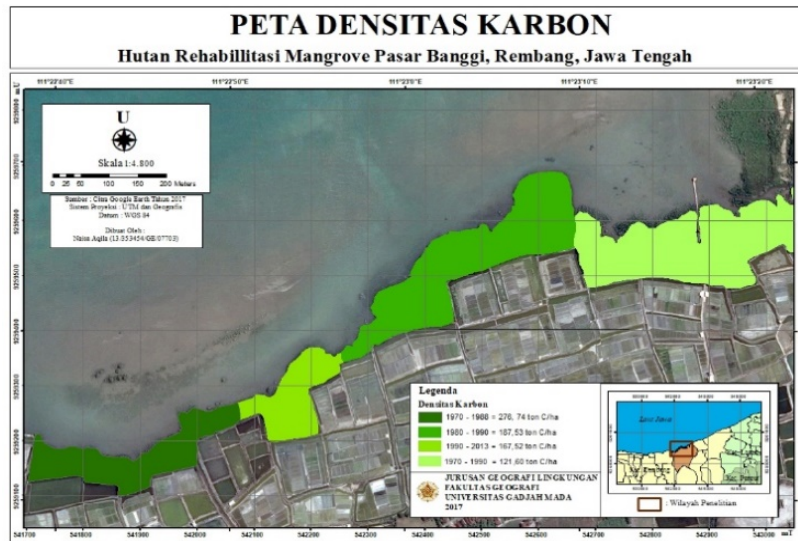
Kandungan karbon tanah terdapat pada **Grafik 2.** menunjukkan bahwa densitas karbon terendah terdapat pada tahun tanam 1970 – 1990 sebesar 71,48 ton C /ha. Pada kawasan tahun tanam ini ketebalan lumpur dan kadar karbon organik cenderung rendah sehingga karbon tanah rendah. Ketebalan lumpur yang berbedda menyebabkan laju dekomposisi bahan organik tidak sama pada setiap ketebalan tanah sehingga kandungan bahan organik berbeda (Siringorino dan Siregar, 2006, dalam Widyantari, 2013).

Kandungan Karbon Total

Kandungan karbon total berasal dari simpanan karbon di atas permukaan, di bawah permukaan atau akar, dan tanah berupa substrat

lumpur. Kandungan karbon total pada hutan rehabilitasi Pasar Banggi tiap tahun tanam memiliki nilai yang berbeda. Karbon total tertinggi terdapat pada tahun tanam 1980 – 1990 sebesar 793,31 ton C. Karbon total terendah terdapat pada tahun tanam 1990 – 2013 kandungan sebesar 391,07 ton C. Variasi kandungan karbon pada tiap tahun tanam dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kandungan biomassa pada permukaan dan akar, kandungan karbon organik, berat volume, dan luas wilayah tahun tanam. Pada tahun tanam 1970 – 1988 walaupun merupakan wilayah tahun tanam tertua, tidak memiliki kandungan karbon yang tertinggi. Hal ini dipengaruhi oleh luas tahun tanam yang rendah yaitu seluas 2,25 ha. Pada tahun tanam 1990 – 2013 memiliki kandungan karbon yang paling rendah karena luas tahun tanam yang paling rendah yaitu seluas 1,48 ha serta memiliki kandungan karbon akar dan permukaan yang rendah pula.

Kandungan karbon pada penelitian sebelumnya pada kawasan pesisir utara Kabupaten Rembang oleh Widiyatma (2011) menunjukkan bahwa kandungan karbon total adalah sebesar 928,461 ton C. Penelitian yang dilakukan oleh Srikandi (2012) di hutan rehabilitasi mangrove Dusun Pandansari, Kaliwlingi, Brebes, Jawa Tengah memiliki 535,46 ton C. Pada penelitian ini kandungan karbon total adalah sebesar 2.214,5 ton C. Penelitian ini melakukan pengukuran karbon pada zona dekat darat dan zona dekat laut hutan mangrove sehingga data inventarisasi sumber karbon lebih banyak. Lokasi pengambilan dapat berpengaruh terhadap kandungan karbon. Lokasi dekat laut memiliki potensi terpengaruh pasang yang lebih intensif pada masing-masing tahun tanam sehingga berpengaruh terhadap kondisi substrat lumpur.



Gambar 2. Peta Densitas Karbon
Sumber : Pengolahan Data Lapangan, 2017

Proporsi kandungan karbon tanah pada hutan rehabilitasi mangrove adalah sebesar 71%, kandungan karbon permukaan sebesar 20%, dan karbon akar sebesar 9%. Penelitian CIFOR (2012) menerangkan bahwa sebanyak 49 – 89 % simpanan karbon pada ekosistem mangrove tersimpan pada tanah atau substrat lumpurnya. Densitas karbon pada masing-masing tahun tanam terdapat pada peta densitas karbon menunjukkan bahwa densitas tertinggi terdapat pada tahun tanam 1970 – 1988 yakni sebesar 276,74 ton C/ha. Densitas karbon terendah terdapat pada kawasan tahun tanam 1970 – 1990 yaitu sebesar 121,6 tonC/ha. Densitas karbon pada masing-masing tahun tanam terdapat pada peta densitas karbon untuk masing-masing tahun tanam. Pada penelitian sebelumnya oleh Purnobasuki dkk (2012) di Pantai Camplang, Sampang-Madura dengan pengambilan sampel dilakukan pada zona pasang tertinggi (zona dekat laut) dan zona pasang terendah (zona dekat darat) menghasilkan estimasi densitas karbon sebesar 383,7 ton C/ha. Pengukuran yang dilakukan pada zona pasang tertinggi dan zona pasang terendah memiliki

hasil yang menunjukkan kandungan karbon yang tidak jauh berbeda. Penelitian

sebelumnya di hutan rehabilitasi mangrove Dusun Pandansari, Kaliwlingi, Brebes oleh Srikandi (2012) memiliki densitas karbon sebesar 89,84 ton C/ha yang diukur tanpa melakukan zonasi.

Kandungan CO₂ dalam Hutan Rehabilitasi

Kandungan CO₂ pada hutan rehabilitasi mangrove memiliki nilai tertinggi pada kawasan tahun tanam 1970 – 1988 dengan kandungan CO₂ sebesar 1.015,62 ton CO₂/ha. Kandungan CO₂ pada tahun tanam ini menyumbang kandungan CO₂ sebanyak 37%, kandungan CO₂ terendah terdapat pada tahun tanam 1970 – 1990 sebesar 446,28 ton CO₂/ha dan menyumbang sebesar 16% dari total kandungan CO₂ yang terserap. Penelitian pada hutan mangrove Taman Nasional Alas Purwo oleh Heriyanto dan Subiandono (2012) memiliki hasil total serapan CO₂ sebesar 658,37 ton CO₂/ha untuk penyerapan pada tegakkan *Rhizophora mucronata*, *B. cylindrical*, *A. officinalis*, dan jenis *X. Moluccensis*. Simpanan CO₂ pada penelitian

sebelumnya pada kawasan pesisir utara Kabupaten Rembang oleh Widiyatma (2011) adalah sebesar 815,61 ton CO₂/ha.

Nilai Ekonomi Karbon

Sebagai suatu ekosisten yang memiliki nilai ekonomi khususnya dalam nilai kandungan karbon, maka pengukuran nilai ekonomi karbon di suatu ekosistem mangrove dapat dilakukan. Pengukuran nilai ekonomi dilakukan berdasarkan asumsi nilai jual rata-rata karbon secara global yaitu sebesar US\$ 3/ton CO₂ dari data Ecosystem Marketplace

(2017). Nilai tersebut masih dikurangi dengan nilai administrasi berupa keperluan *transaction, administrative, and implementation cost* sebesar US\$ 1 (White dan Maning, 2011, dalam Asri, 2013) sehingga nilai ekonomi karbon adalah sebesar US\$ 2. Nilai tersebut dikalkulasikan dalam nilai rupiah yaitu sebesar US\$ 1 = Rp. 13.325 per 24 Juli 2017. Nilai ekonomi karbon yang diperoleh terdapat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai Ekonomi

Tahun Tanam	Kandungan CO ₂ (ton/ha)	Nilai Ekonomi Karbon (US\$)	Nilai Ekonomi Akhir (Rp)
1970-1988	1.015,62	US\$ 2.031,25	Rp 27.066.359
1970 - 1990	446,28	US\$ 892,56	Rp 11.893.339
1980 - 1990	688,23	US\$ 1.376,46	Rp 18.341.310
1990 - 2013	614,80	US\$ 1.229,87	Rp 16.384.452
Total	2.764,93	US\$ 5.529,87	Rp 73.685.460

Sumber : Pengolahan Data Lapangan, 2017

Nilai ekonomi karbon yang terdapat pada hutan rehabilitasi mangrove Pasar Banggi memiliki nilai total sebesar Rp. 73.685.460. Nilai ekonomi tertinggi terdapat pada tahun tanam yang memiliki nilai CO₂ tertinggi sebesar 1.015,62 ton/ha yaitu pada tahun tanam 1970 – 1988 dengan nilai ekonomi sebesar Rp. 27.066.359. Nilai ekonomi terendah terdapat pada tahun tanam 1970 – 1990 dengan nilai sebesar Rp 11.893.339 dan kandungan CO₂ sebesar 446,28 ton CO₂/ha. Nilai ekonomi pada tahun tanam 1980 – 1990 sebesar Rp 18.341.310 dengan simpanan CO₂ sebesar 688,23 ton/ha. Nilai ekonomi pada tahun tanam 1990 – 2013 adalah sebesar Rp 16.384.452 dengan kandungan CO₂ sebesar 614,80 ton CO₂/ha. Apabila dibandingkan pada penelitian yang dilakukan oleh Rikardo dkk (2014) di Hutan Pendidikan dan Pelatihan

Pondok Buluh, Sumatera Utara nilai ekonomi cadangan karbon pada penelitian tersebut adalah sebesar Rp. 30.431.700 hingga Rp 40.575.600 untuk nilai tukar rupiah Rp 11.700 per dollar AS pada Selasa, 3 Juni 2014.

KESIMPULAN

1. Densitas karbon permukaan pada hutan rehabilitasi mangrove adalah sebesar 138,99 ton C/ha. Densitas karbon akar sebesar 66,06 ton C/ha. Densitas karbon substrat lumpur sebesar 548,34 ton C/ha. Densitas karbon total sebesar 753,39 ton C/ha.
2. Kandungan karbon total pada hutan rehabilitasi mangrove Pasar Banggi adalah sebesar 2.235,82 ton C dan densitas karbon sebesar 214,41 ton C/ha, dengan kandungan terbesar pada tahun tanam 1980

- 1990 yaitu sebesar 621,57 ton C dan densitas karbon sebesar 276,74 ton C/ha. Total kandungan CO₂ yang terserap adalah sebesar 2.764,93 ton CO₂/ha.
3. Nilai ekonomi CO₂ adalah sebesar Rp. 73.685.460. Nilai ekonomi CO₂ menunjukkan sejak dilakukan rehabilitasi tahun 1970, hutan mangrove berdasarkan manfaat tidak langsung berupa sebagai penyimpan karbon mampu menyumbang nilai ekonomi sebesar Rp. 73.685.460 walaupun demikian nilai ekonomi dapat diperoleh dari nilai manfaat yang lain dari hutan mangrove seperti dari kayu, daun, buah, maupun nilai pariwisata.
- DAFTAR PUSTAKA**
- Alongi, DM. Saekumar, A. Chong, V.C. Pfitzner, J., Trott, L.A. Tiredi, F. Dixon. P., dan Brunskill, G.J. (2004). *Sediment Accumulation and Organic Material Flux in a Manged Mangrove Ecosystem : estimates of Land Ocean Atmosphere Exchange in Peninsular Malaysia. Mar. Geol.* 208, 383-402
- Asri, Enjang. (2013). Estimasi Opportunity Cost Pengelolaan Hutan Produksi Pinus merkusii untuk melihat efisiensi perdagangan karbon REDD+ di Indonesia (Studi Kasus di BKPH Purworejo, KPH Kedu Selatan). *Skripsi*. UGM : Fakultas Kehutanan. Tidak Diterbitkan
- Badan Informasi Geospasial. (2014). *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial tentang Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove*.
- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forest*. A primer, FAO. Forestry paper No. 134. FAO, USA.
- CIFOR. (2012). Mangrove adalah salah satu hutan terkaya karbon di kawasan tropis. *Info Brief CIFOR Nomor 12 Februari 2012*.
- Darmawan, A., S.K. Purba, dan Hermawan. (2003). *Pemetaan Geologi Teknik Kabupaten Rembang, Jawa Tengah*. Bandung : Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber Daya Mineral.
- Direktorat Pemanfaatan Jasa Lingkungan Hutan Konservasi. (2015). *Rencana Strateis Direktorat PJLHK Tahun 2015 – 2019*. Bogor : KLHK.
- Direktorat Pesisir dan Lautan. (2012). *Profil Kegiatan Pengelolaan Ekosistem Mangrove*. Jakarta: Ditjen Kelautan, Pesisir, dan Pulau-Pulau Kecil Kementrian Kelautan dan Perikanan.
- Ecosystem Market Place. (2017). *Unlocking Potential State of the Voluntary Carbon Markets 2017*. Washington DC : The Forest Trends.
- Ewusie, J.Y. (1980). *Pengantar Ekologi Tropika*. Bandung : ITB Press.
- Forestriko, HF. dan Hartono. (2016). Pemanfaatan Citra Landsat 8 untuk Estimasi Stik Karbon Hutan Mangrove di Kawasan Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia Volume 5, Nomor 1, Tahun 2016*.
- Heriyanto N.M., E. Subiandono. (2012). Komposisi dan Struktur Tegakan, Biomassa, dan Potensi Kandungan Karbon Hutan Mangrove di Taman Nasional Alas Purwo. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* (9:1; 023-032).
- IPCC. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC
- Kementrian Negara Lingkungan Hidup. (2007). *Rencana Aksi Nasional Perubahan Iklim*. Jakarta : KLH.
- Komiyama, et.al. (2005). Common Allometric Equations for Estimating The Tree Weight of Mangroves. *Journal of Tropical Ecology Vol 21 Issue 4 July 2015*.
- Kusmana, C., S. Sabiham., K. Abe and H. Watanabe. (1992). An estimation of above ground tree biomass of a mangrove forest in East Sumatera. *Jurnal Tropics I(4):143-257*. Kyoto : Kyoto University
- Laboratorium Gemorfologi Lingkungan dan Mitigasi Bencana. (2016). *Practicum*

Teaching Material. Yogyakarta : Fakultas Geografi UGM

- Noor, Y.R., M. Khazali, dan I.N.N Suryadiputra. (2012). *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. Bogor : Wetlands Indonesia dan Ditjen PHKA.
- Nurjani, E., Suratman, Arif A., dan Ahmad C. 2015. Redistribusi Karbon Organik dalam Proses Erosi dan Banjir di DAS Oya. *Seri Bunga Rampai Metode Kuantifikasi Proses dan Hasil Proses Siklus Karbon*, dalam Eko Haryono, Emilya Nurjani, dan Ahmad Cahyadi. Yogyakarta : Badan Penerbit Fakultas Geografi UGM.
- Peraturan Menteri Kehutanan. (2008). *Pedoman Teknis Rehabilitasi Hutan dan Lahan*. Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.70/Menhut-II
- Purnobasuki, H., Agustin Y.L., Muryono M. (2012). Estimasi Stok Karbon pada Tegakan Pohon *Rhizophora stylosa* Pantai Talang Iring, Pamekasan-Madura. *Jurnal Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*
- _____. (2012). *Pemanfaatan Hutan Mangrove sebagai Penyimpan Karbon*. Buletin PSL UNESA 28 (2012) : 3 – 5.
- _____. Imiliyana, A., Muryono M. (2012). Estimasi Stok Karbon pada Tegakan (Pohon *Rhizophora stylosa* Pantai Canmplong, Sampang-Madura. *Jurnal Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. Surabaya : ITS.
- Purnobasuki, H., Agustin Y.L., Muryono M. (2012). Estimasi Stok Karbon pada Tegakan Pohon *Rhizophora stylosa* Pantai Talang Iring, Pamekasan-Madura. *Jurnal Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*
- Sahal. 2016. *Hasil wawancara pada Kelompok Mangrove Dukuh Kaliuntu, Desa Pasar Banggi, Kecamatan Rembang, Jawa Tengah*. 12 Agustus 2016.
- Sartohadi, Junun. 2013. *Pengantar Geografi Tanah*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Setyawan, Eko. 2015. Strategi Pengelolaan Ekoisata Hutan Mangrove Berdasarkan Kesesuaian Dan Daya Dukung Kawasan di Desa Pasarbanggi Kabupaten Rembang Provinsi Jawa Tengah. *Tesis di Magister Ilmu Lingkungan UNDIP* : tidak diterbitkan
- Srikandi, Putri Desy. (2012) . Estimasi Simpanan Karbon pada Tegakan dan Substrat Mangrove di Hutan Rehabilitasi Mangrove, Dusun Pandansari, Desa Kaliwlingi, Brebes, Jawa Tengah. *Skripsi di Fakultas Kehutanan UGM* : tidak diterbitkan
- Widyantari, Ida Ayu Diah. (2013). Potensi Simpanan Karbon di Kawasan Rehabilitasi Mangrove Taman Hutan Raya Ngurah Rai, Bali. *Skripsi*. UGM : Fakultas Kehutanan (Tidak Diterbitkan).
- Widiyatma, Taufik. (2011). Estmasi Simpanan Karbon di Kawasan Rehabilitasi Mangrove Pesisir Utara Kabupaten Rembang. *Skripsi*. UGM : Fakultas Kehutanan (Tidak Diterbitkan).