

ESTIMASI KANDUNGAN KARBON ATAS PERMUKAAN TANAH PADA HUTAN ALAM DAN HUTAN REHABILITASI MANGROVE TAMAN HUTAN RAYA NGURAH RAI BALI

Made Suartana ^{1*)}, I Nyoman Merit ²⁾, I Made Sudarma ³⁾

¹⁾Balai Pengendalian Perubahan Iklim dan Kebakaran Hutan dan Lahan
Wilayah Jawa Bali Nusa Tenggara,

²⁾Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Pascasarjana, Universitas Udayana

³⁾Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan, Pascasarjana, Universitas Udayana

*email: akumadesuartana@gmail.com

ABSTRACT

ESTIMATION OF ABOVE GROUND CARBON IN NATURAL AND REHABILITATION MANGROVE AREA AT TAMAN HUTAN RAYA NGURAH RAI BALI

Mangroves are ecosystems that play an important role in absorbing and storing carbon from the air, one of which is in the form of mangrove vegetation biomass. As the largest mangrove area in Bali which consists of natural and rehabilitation vegetation, Taman Hutan Raya Ngurah Rai has a large potential for high carbon content. To determine the carbon potential of mangroves in natural and rehabilitation forests, a research was conducted using the purposive sampling method based on the canopy density level which was divided into 5 categories, namely very rare, rare, moderate, dense, very dense. Based on the results of measurements and calculations, the total carbon content of Ngurah Rai Grand Forest Park is 86.521,74 tons C, consisting of natural forest content 66.857,53 tons C and rehabilitation forest 19.664,21 tons C. Above ground carbon per hectare in natural forest was not significantly different from the above ground carbon per hectare in rehabilitation forest, these results indicate that the carbon content per hectare of rehabilitation forest over 20 years old is almost close to the carbon content per hectare in natural forest. The diameter of trees and vegetation types did not significantly affect the carbon content of mangroves, these results indicate that the increase in carbon stocks in each type of vegetation in natural and rehabilitation forests is in line with diameter growth.

Keywords: Biomass; Density; Diameter; Canopy.

1. PENDAHULUAN

Keberadaan mangrove sangat penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Perubahan iklim menjadi isu yang berkembang dengan cepat dan mempengaruhi kebijakan global dunia, tidak terkecuali di Indonesia. Modalitas Indonesia dengan mangrove tersebar hampir di seluruh wilayah, memiliki peran signifikan dalam upaya penanggulangan perubahan iklim lingkup nasional dan dunia. Hal tersebut karena kemampuan mangrove dalam penyerapan serta penyimpanan karbon.

Mangrove menyerap serta menyimpan karbon berupa biomassa atas serta bawah permukaan tanah. Menurut IPCC (2006), karbon atas mangrove adalah karbon yang berasal dari semua biomassa vegetasi hidup pada permukaan tanah, pohon serta kayu yang sudah mati termasuk serasah yang terdapat di permukaan tanah. Pada ekosistem mangrove, perhitungan cadangan karbon atas mangrove mengabaikan faktor serasah. Faktor serasah diabaikan karena pengaruh pasang surut yang mengakibatkan keberadaan serasah selalu berubah setiap saat.

Taman Hutan Raya Ngurah Rai merupakan wilayah dengan hutan mangrove terbesar di Pulau Bali, dengan luas kawasan ±

1.373,5 Ha, dimana dari luasan tersebut yang bertutupan vegetasi seluas 1.002,22 ha terdiri atas hutan alam dengan luas 725,36, hutan rehabilitasi seluas 276,86 ha (Pratama *et.al.*, 2019). Hutan alam merupakan hutan dengan vegetasi yang pertumbuhannya mencapai klimaks, tanpa ataupun sedikit mendapatkan campur tangan oleh manusia (Arief, 2001). *Sonneratia alba* merupakan jenis yang paling banyak ditemukan di hutan alam Tahura Ngurah Rai. Masih menurut Arief (2001), hutan rehabilitasi didefinisikan sebagai hutan yang vegetasinya tumbuh melalui penanaman pohon yang dilakukan oleh manusia. Hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai didominasi oleh Rhizophoraceae (*Rhizophora mucronata*, *R. stylosa*, *R. apiculata*).

Sebagai kawasan mangrove terluas di Bali dengan kondisi vegetasi yang cukup baik, Tahura Ngurah Rai menyimpan potensi yang cukup besar dalam penyerapan karbon, termasuk karbon atas mangrove. Sampai dengan saat ini informasi tentang simpanan karbon atas mangrove Tahura Ngurah Rai masih sangat terbatas. Untuk itu dipandang perlu melakukan penelitian kandungan karbon atas mangrove Tahura Ngurah Rai pada kedua tipe vegetasi (hutan alam dan hutan rehabilitasi).

Tujuan penelitian untuk menganalisis simpanan karbon atas permukaan tanah serta menganalisis hubungan antara ukuran diameter dan jenis pohon dengan kemampuan menyimpan karbon pada hutan alam rehabilitasi Tahura Ngurah Rai, Bali.

2. METODOLOGI

Penelitian estimasi kandungan karbon atas mangrove pada hutan alam dan hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai merupakan penelitian kuantitatif. Penelitian diawali

dengan mengumpulkan data luasan hutan mangrove Tahura Ngurah Rai berdasarkan tipe vegetasi (hutan alam dan rehabilitasi) serta data kerapatan tajuk mangrove serta sebarannya.

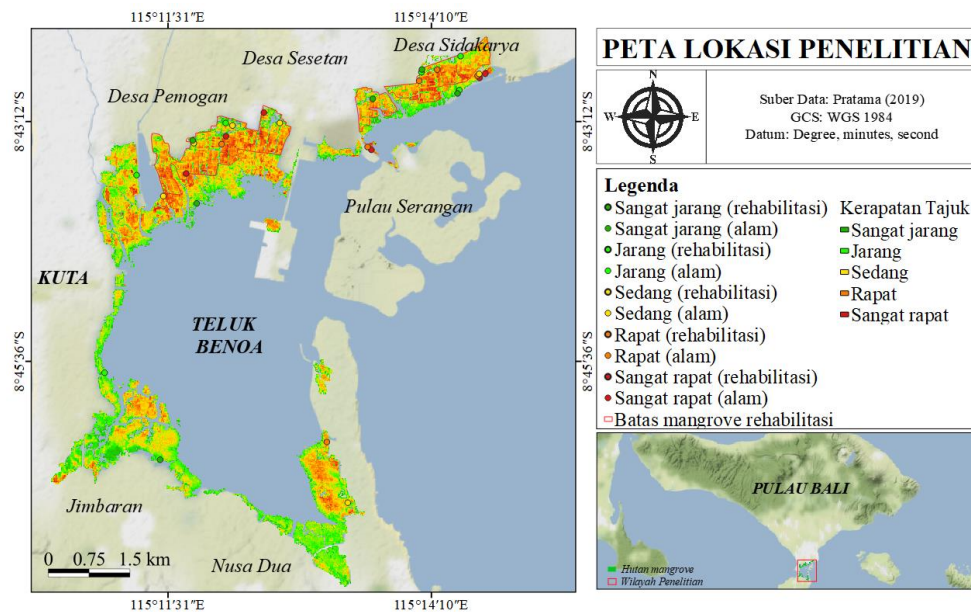
Pengukuran sampel guna mengetahui simpanan karbon atas pada hutan mangrove ditujukan pada vegetasi mangrove yang masih hidup, vegetasi yang mati baik yang berdiri atau sudah roboh dengan diameter ≥ 5 cm (Komiyama *et al.*, 2005). Metode yang dipakai berupa Purposive Sampling berdasarkan stratifikasi tingkat kerapatan tajuk (sangat.jarang,.jarang,.sedang,.rapat, .sangat rapat). Stratifikasi tingkat kerapatan tajuk merujuk pada penelitian Pratama *et al.* (2019) tentang distribusi atau sebaran spasial kerapatan tajuk mangrove berdasarkan Citra Sentinel-2A pada Taman Hutan Raya Ngurah Rai.

Plot sampel dibuat pada tiap tipe hutan (hutan alam dan hutan rehabilitasi) dan tingkat kerapatan tajuk dan diulang masing-masing sebanyak 3 (tiga) kali sehingga plot sampel berjumlah 30 plot. Plot sampel berbentuk persegi dengan panjang sisi 10 m. Kegiatan selanjutnya berupa pengukuran lapangan sesuai dengan plot sampel yang telah ditentukan, dilanjutkan dengan penghitungan biomassa dengan persamaan allometrik sesuai jenis mangrove serta menghitung estimasi kandungan karbon atas permukaan tanah. Adapun instrumen yang digunakan pada penelitian selengkapnya terlampir (Tabel 1.) Peta yang menunjukkan tempat penelitian selengkapnya terlampir (Gambar 1.)

Penelitian dilaksanakan pada Januari - Mei 2021. Pengambilan data di lapangan dilakukan pada bulan Januari - Maret 2021 sedangkan pengolahan data dilakukan pada bulan April - Mei 2021.

Tabel 1. Instrumen Penelitian

No	Instrumen	Kegunaan
1	GPS	Menentukan koordinat
2	<i>Phi band</i> / pita meter	Mengukur diameter/keliling
3	Pita meter/rol meter	Mengukur panjang
4	Kompas	Mengukur azimuth/sudut
5	Peta Kerja	Menentukan lokasi plot
6	Aplikasi “ <i>Tides</i> ”	Mengetahui pasang surut
7	Parang	Membuat rintisan
8	<i>Tally sheet</i>	Mencatat data
9	Alat tulis	Untuk menulis
10	Kamera	Dokumentasi



Gambar 1.

Peta Penelitian (Sumber : Pratama *et al.*, 2019)

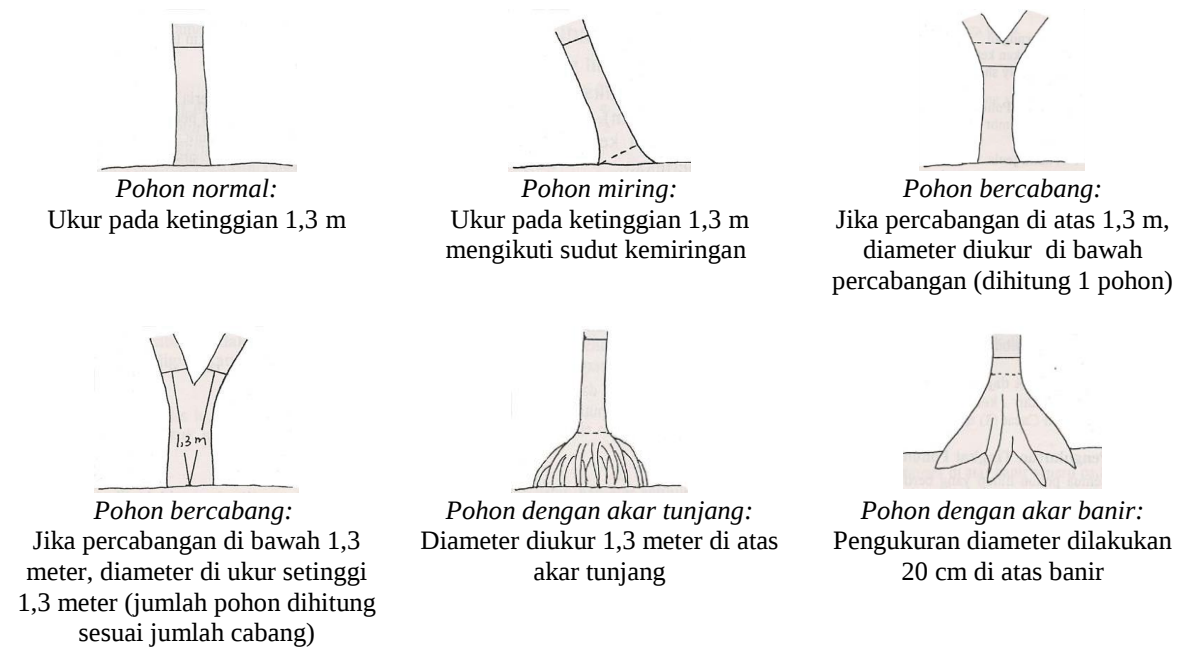
2.1. Penentuan Titik dan Pembuatan Plot Sampel

Penentuan titik dan pembuatan plot sampel dilaksanakan pada tiap tipe vegetasi (hutan alam dan hutan rehabilitasi) dan tingkat kerapatan tajuk (sangat jarang, jarang, sedang, rapat, sangat rapat) dengan mempertimbangkan aksesibilitas. Plot pada masing-masing tingkat kerapatan tajuk (5 tingkat kerapatan) diulang masing-masing sebanyak 3 (tiga) kali sehingga jumlah plot sampel pengamatan sebanyak 30 plot (2 tipe vegetasi, 5 tingkat kerapatan tajuk, 3 kali ulangan). Plot sampel berbentuk persegi dengan ukuran plot sebesar 10 x 10 m (Komiyama *et al.*, 2005).

2.2. Pengukuran Diameter dan Identifikasi Jenis

Pengukuran diameter dilakukan terhadap tegakan yang terdapat dalam plot, baik berupa pohon yang masih hidup, pohon yang mati dan kayu mati serta dicatat jenisnya. Pengukuran diameter dilakukan pada vegetasi mangrove baik pohon hidup dan pohon mati dengan kondisi tetap berdiri atau telah roboh dengan diameter ≥ 5 cm (Komiyama *et al.*, 2005).

Pengukuran diameter dilakukan setinggi dada untuk menghitung dimensi suatu pohon dengan tinggi 1,3m di atas permukaan tanah mengikuti ketentuan berdasarkan teknis pengukuran menurut Asy'ari (2012), sebagai berikut (Gambar 2.)



Gambar 2.
Teknis Pengukuran Diameter Setinggi Dada (Asy'ari, 2012)

Identifikasi jenis mangrove dilakukan berpedoman pada *Handbook of Mangroves in Indonesia; Bali & Lombok* (Kitamura *et al.*, 1997).

2.3. Penghitungan Biomassa

Penghitungan biomassa dilakukan pada pohon hidup, pohon mati dan kayu mati. Prosedur penghitungan biomassa pada masing-masing kondisi pohon sebagai berikut:

2.3.1. Penghitungan. Biomassa Pohon Menggunakan Persamaan Allometrik

Tahapan penghitungan menggunakan persamaan allometrik sebagai berikut:

- Ukur diameter pohon;
- Identifikasi jenis pohon ;
- Hitung biomassa pohon dengan persamaan allometrik sesuai jenis yang teridentifikasi.

Persamaan allometrik untuk beberapa jenis mangrove yang dirujuk dalam penelitian selengkapnya terlampir (Tabel 2.)

Tabel 2. Model Allometrik Karbon Atas Permukaan Jenis Mangrove Teridentifikasi pada Plot Sampel

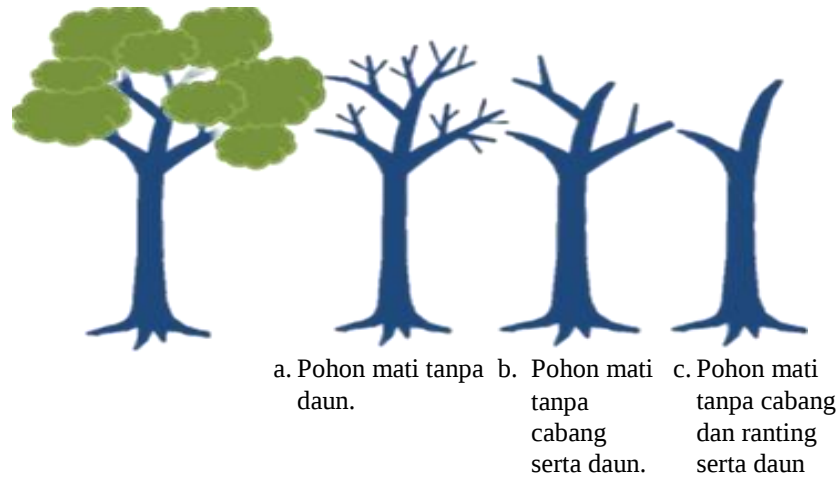
Jenis species	Model Allometrik	Sumber
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0,043 * D^{2,63}$	Amira, 2008
<i>Rhizophora mucronata</i>	$B = 0,1466 * D^{2,3136}$	Dharmawan, 2013
<i>Rhizophora stylosa</i>	$B = 0,1579 * D^{2,593}$	Analuddin <i>et al.</i> , 2020
<i>Sonneratia alba</i>	$B = 0,3841 * \rho D^{2,101}$	Kauffman dan Cole, 2010
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	$B = \rho * 0,0754 * D^{2,505}$	Kauffman <i>et al.</i> , 2012

2.3.2. Penghitungan Biomassa pada Pohon Mati Menggunakan Persamaan Allometrik

Tahap penghitungan pada pohon mati menggunakan persamaan allometrik adalah:

- Mengukur diameter pohon mati.
- Identifikasi jenis mangrove.

- Menentukan derajat keutuhan pada pohon mati yang berpedoman pada Gambar 3.
- Menghitung biomassa pohon yang mati (mengalikan derajat keutuhan pohon dengan persamaan allometrik sesuai jenis pohon).



Gambar 3.
Derajat Keutuhan Pohon Mati

Keterangan gambar :

a : Derajat keutuhan nilai 0,9 (faktor koreksi)

b : Derajat keutuhan nilai 0,8 (faktor koreksi)

c : Derajat keutuhan nilai 0,7 (faktor koreksi)

2.3.3. Penghitungan Biomassa Kayu yang Mati dengan Menghitung Volume

Untuk menghitung biomassa kayu yang mati melalui penghitungan volume kayu dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Mengukur diameter pangkal dan diameter ujung.
- Mengukur panjang kayu.
- Menghitung volume dengan rumus Breton.

$$V_{km} = 0,25\pi \left(\frac{dp + du}{2 \times 100} \right)^2 \times P \quad (1)$$

Keterangan :

V_{km} : Volume kayu mati (m^3).

dp : Diameter pangkal (cm).

du : Diameter ujung (cm).

p : Panjang kayu (m).

π : 3,14 atau $22/7$

- Menghitung biomassa kayu (Rumus Badan Standardisasi Nasional, 2011).

$$B_{km} = V_{km} \times B_{Jkm} \quad (2)$$

Keterangan :

B_{km} : Biomassa kayu mati (kg).

V_{km} : Volume kayu mati (m^3).

B_{Jkm} : Berat jenis kayu mati (kg/m^3).

2.3.4. Penghitungan Karbon dari Biomassa

Penghitungan karbon dilakukan dengan cara mengalikan nilai biomassa dengan nilai C organik dengan rumus sesuai Badan Standardisasi Nasional (2011);

$$C_b = B \times \% C_{organik} \quad (3)$$

Keterangan :

C_b : Kandungan karbon dari biomassa (kg).

B : Total biomassa (kg).

$\% C_{organik}$: Nilai persentase karbon (0,47)

Catatan : Penghitungan karbon dilakukan pada kandungan karbon biomassa atas pohon (C_{bap}), karbon pohon mati (C_{pm}) dan karbon kayu mati (C_{km}).

2.3.5. Penghitungan Kandungan Karbon per Hektar

Kandungan karbon per hektar di atas permukaan tanah penghitungannya mengacu mengacu persamaan Badan Standardisasi Nasional (2011) sebagai berikut:

$$C_n = \frac{C_x}{1.000} \times \frac{10.000}{l_{plot}} \quad (4)$$

Keterangan :

- Cn : Kandungan karbon per hektar pada carbon pool pada tiap plot (ton/ha).
 Cx : Kandungan karbon pada tiap carbon pool pada tiap plot (kg).
 l plot : Luas plot sampel (m²).

2.3.6. Penghitungan Total Karbon di atas Permukaan Tanah

Total kandungan karbon Tahura Ngurah Rai yang tersimpan pada permukaan tanah dapat diketahui dengan penghitungan yang mengacu rumus Badan Standardisasi Nasional (2011):

$$C_{total\ apt} = C_{bap} + C_{km} + C_{pm} \quad (5)$$

Keterangan:

- C total apt : Total karbon atas permukaan tanah (ton).
 C bap : Kandungan karbon biomassa atas permukaan per hektar (ton/ha).
 C km : Kandungan karbon kayu mati per hektar (ton/ha).
 C pm : Kandungan karbon pohon mati per hektar (ton/ha).

2.3.7. Analisis data

Data hasil penelitian di analisis secara statistik dengan program SPSS. Untuk uji hipotesis tujuan (1) apakah ada perbedaan simpanan karbon atas permukaan tanah pada hutan alam dan rehabilitasi mangrove Tahura Ngurah Rai, akan dilakukan analisis *Independent Samples T-Test*.

Persamaan uji T 2 (dua) sampel independen sebagai berikut :

$$t = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (6)$$

Keterangan :

- t : nilai statistik t
 $\bar{x}_2$: rata-rata sampel 2 (karbon hutan rehabilitasi)
 $\bar{x}_1$: rata-rata sampel 1 (karbon hutan alam)
 Sp : standar deviasi gabungan
 n1 : Jumlah sampel hutan alam

n2 : Jumlah sampel hutan rehabilitasi di mana SP merupakan standar deviasi gabungan untuk 2 (dua) sampel yang dihitung dengan rumus:

$$Sp = \sqrt{\frac{S_1^2(n_1 - 1) + S_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (7)$$

Keterangan :

- Sp : nilai statistik t
 S1 : rata-rata sampel 2 (karbon hutan rehabilitasi)
 S2 : rata-rata sampel 1 (karbon hutan alam)
 n1 : Jumlah sampel hutan alam
 n2 : Jumlah sampel hutan rehabilitasi
 n1 + n2 - 2 : Derajat bebas

Untuk uji hipotesis tujuan (2) apakah ada hubungan diameter dan jenis pohon terhadap kandungan karbon yang tersimpan pada permukaan tanah di hutan alam dan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai, akan dilakukan analisis regresi linear berganda dengan dummy. Analisis regresi linear berganda dengan dummy digunakan karena salah satu variabel bebas berupa jenis pohon merupakan data kualitatif, sehingga variabel jenis pohon akan di ubah menjadi variabel kuantitatif.

$$Y' = a + bX + cD \quad (8)$$

Keterangan:

- Y' : Jumlah simpanan karbon atas permukaan tanah (ton ha⁻¹)
 X : Diameter pohon (m)
 D : Jenis vegetasi (1=vegetasi dominan, 0 = vegetasi lainnya)
 a : Konstanta
 b : Koefisien regresi
 c : Koefisien dummy

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

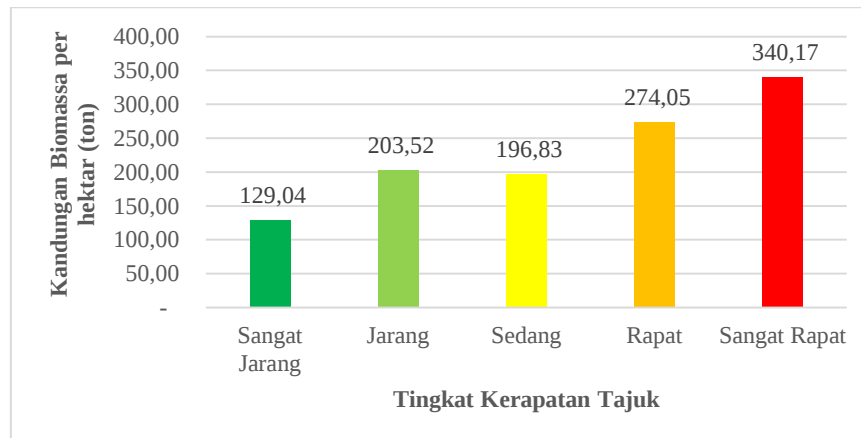
3.1. Kandungan Biomassa Atas Permukaan Tanah Hutan Alam Tahura Ngurah Rai

Kandungan biomassa pada hutan alam mangrove Tahura Ngurah Rai diperoleh dari penjumlahan biomassa pohon hidup, pohon

mati dan biomassa kayu yang sudah mati. Biomassa pohon dihitung dengan menggunakan persamaan allometrik untuk vegetasi mangrove (Tabel 2.). Melalui model allometrik, biomassa pohon dapat di hitung dengan memasukkan satu parameter atau kombinasi beberapa parameter berupa diameter, berat jenis dan tinggi. Biomassa pohon mati dihitung dengan metode yang sama (model allometrik) dikalikan dengan

derajat keutuhan pohon yang merupakan faktor koreksi dengan nilai 0,7 sampai dengan 0,9 sesuai Gambar 2. Sedangkan untuk kayu mati biomassa dihitung dengan mengalikan hasil penghitungan volume kayu yang mati dengan berat jenis kayu sesuai jenisnya.

Rata-rata kandungan biomassa per hektar pada tiap tingkat kerapatan tajuk pada hutan alam Tahura Ngurah Rai disajikan pada Gambar 4.



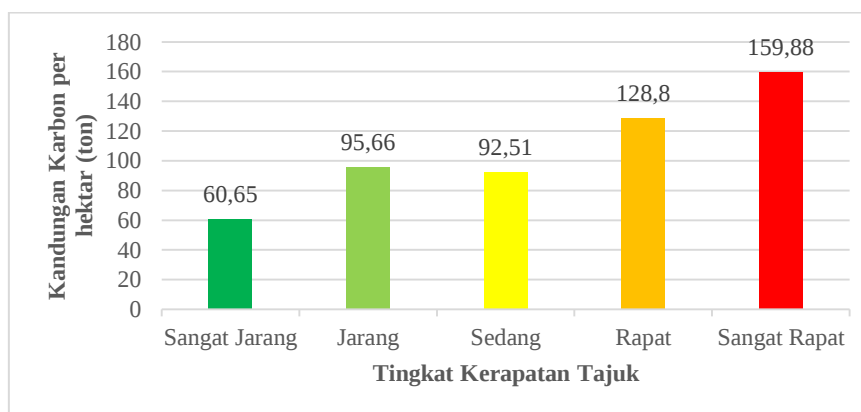
Gambar 4.

Histogram Kandungan Biomassa rata-rata per hektar pada tiap Tingkat Kerapatan Tajuk pada Hutan Alam Tahura Ngurah Rai

3.2. Kandungan Karbon Atas Permukaan Tanah Hutan Alam Tahura Ngurah Rai

Kandungan karbon pada hutan alam mangrove Tahura Ngurah Rai diperoleh dengan cara mengalikan kandungan biomassa

dengan 0,47 yang merupakan angka persentase nilai karbon pada suatu tegakan. Rata-rata kandungan karbon per hektar pada tiap tingkat kerapatan tajuk pada hutan alam Tahura Ngurah Rai disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5.

Histogram Kandungan Karbon rata-rata per hektar pada tiap Tingkat Kerapatan Tajuk pada Hutan Alam Tahura Ngurah Rai

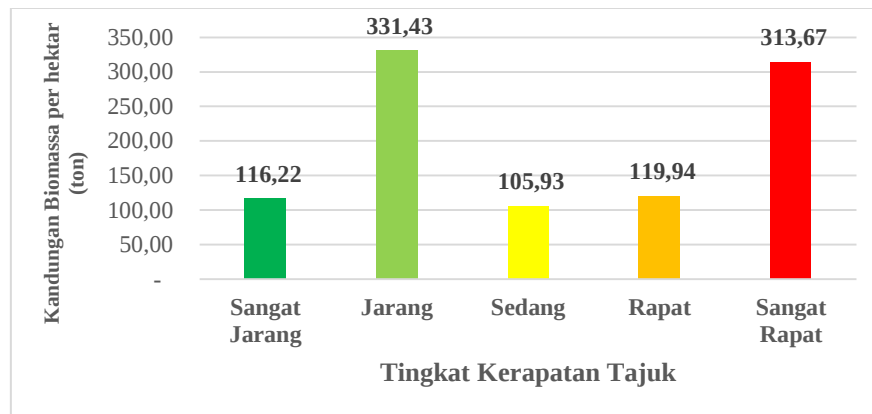
Total karbon pada permukaan tanah di hutan alam Tahura Ngurah Rai diperoleh dengan cara mengalikan nilai rata-rata

kandungan karbon per hektar pada tiap tingkat kerapatan tajuk dengan luas masing-masing tingkat kerapatan tajuk. Luas areal dengan

tingkat kerapatan tajuk sangat jarang seluas 146,08 ha, jarang 344,11 ha, sedang 206,55 ha, rapat 43,85 ha dan sangat rapat 2,03 ha. Kandungan karbon total berdasarkan hasil akumulasi kandungan karbon pada tiap tingkat kerapatan tajuk pada hutan alam Tahura Ngurah Rai adalah 66.857,53 ton C.

3.3. Kandungan Biomassa Atas Permukaan Tanah Hutan Rehabilitasi Tahura Ngurah Rai

Mekanisme penghitungan biomassa pada hutan rehabilitasi sama dengan penghitungan pada hutan alam. Berdasarkan hasil penghitungan, rata-rata kandungan biomassa per hektar pada tiap tingkat kerapatan tajuk pada hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai disajikan pada Gambar 6.



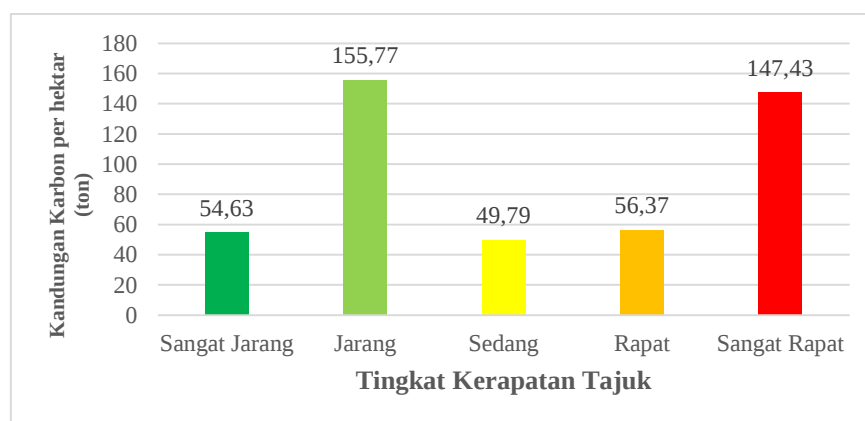
Gambar 6.

Histogram Kandungan Biomassa rata-rata per hektar pada tiap Tingkat Kerapatan Tajuk pada Hutan Rehabilitasi Tahura Ngurah Rai

3.4. Kandungan Karbon Atas Permukaan Tanah Hutan Rehabilitasi Tahura Ngurah Rai

Kandungan karbon pada hutan rehabilitasi mangrove Tahura Ngurah Rai diperoleh dengan cara mengalikan kandungan

biomassa dengan 0,47 yang merupakan angka persentase nilai karbon pada suatu tegakan. Rata-rata kandungan karbon per hektar pada tiap tingkat kerapatan tajuk pada hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6.

Histogram Rata-rata Kandungan Karbon per hektar pada tiap Tingkat Kerapatan Tajuk pada Hutan Rehabilitasi Tahura Ngurah Rai

Total kandungan karbon atas permukaan tanah pada hutan rehabilitasi mangrove Tahura Ngurah Rai diperoleh dengan cara mengalikan

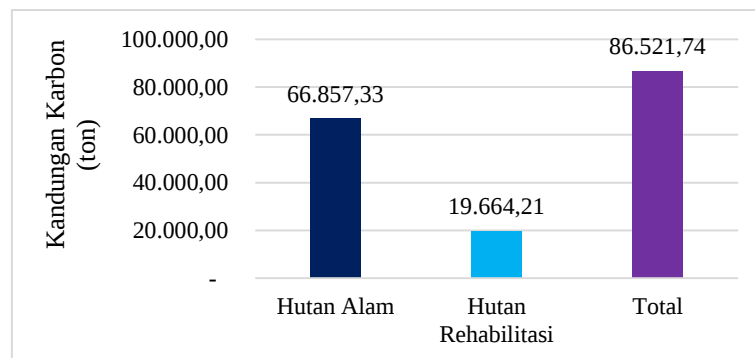
nilai rata-rata kandungan karbon per hektar pada tiap tingkat kerapatan tajuk dengan luas masing-masing tingkat kerapatan tajuk. Luas

areal dengan tingkat kerapatan tajuk sangat jarang seluas 22,70 ha, jarang 58,27 ha, sedang 126,45 ha, rapat 50,97 ha dan sangat rapat 1,21 ha. Total kandungan karbon atas permukaan tanah pada hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai sebesar 19.664,21 ton C.

3.5. Total Kandungan Karbon di Atas Permukaan Tanah Tahura Ngurah Rai

Total kandungan karbon atas permukaan tanah Tahura Ngurah Rai merupakan

akumulasi dari total kandungan karbon atas pada hutan alam dan hutan rehabilitasi. Berdasarkan hasil penghitungan, total kandungan karbon atas permukaan tanah pada hutan alam Tahura Ngurah Rai sebesar 66.857,53 ton dan hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai sebesar 19.664,21 ton, sehingga total kandungan karbon atas permukaan tanah di Tahura Ngurah Rai adalah sebesar 86.521,74 ton. Total simpanan karbon atas permukaan tanah Tahura Ngurah Rai disajikan pada Gambar 7.



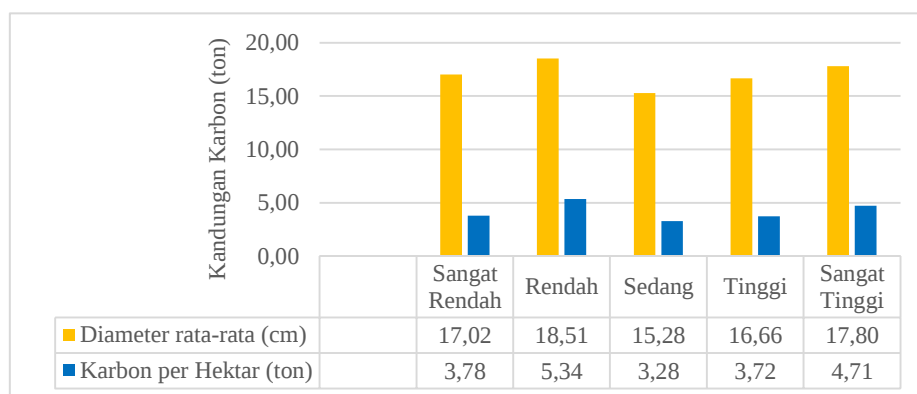
Gambar 7.

Histogram Total Simpanan Karbon Atas Permukaan Tanah Tahura Ngurah Rai

3.6. Hubungan antara Ukuran Diameter Pohon terhadap Simpanan Karbon Atas Permukaan Tanah pada Hutan Alam Tahura Ngurah Rai

Berdasarkan hasil penghitungan karbon atas mangrove pada hutan alam dapat

diketahui hubungan antara ukuran diameter pohon terhadap simpanan karbon atas permukaan tanah. Rata-rata diameter dan kandungan karbon per hektar pada tiap tingkat kerapatan tajuk pada hutan alam Tahura Ngurah Rai disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8.

Histogram Diameter rata-rata dan Kandungan Karbon per hektar pada tiap Tingkat Kerapatan Tajuk pada Hutan Alam Tahura Ngurah Rai

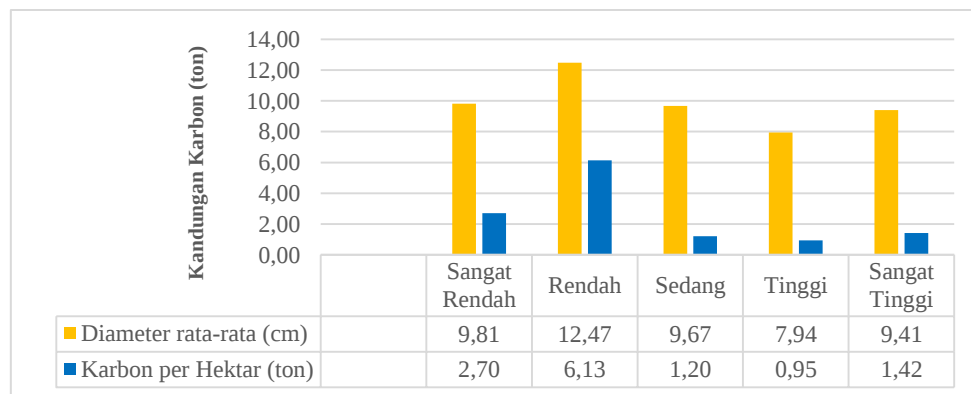
Berdasarkan Gambar 8., kandungan karbon atas per ha terendah sebesar 3,28 ton C ha⁻¹ terdapat pada tingkat kerapatan tajuk sedang dengan rata-rata diameter 15,28 cm

dengan jenis dominan yang merupakan kombinasi *Sonneratia alba* dengan *Rhizophora mucronata* dan *Rhizophora apiculata*. Sedangkan kandungan karbon atas

per hektar tertinggi sebesar 5,34 ton C ha⁻¹ terdapat pada tingkat kerapatan tajuk rendah/jarang dengan rata-rata diameter 18,51 cm dengan jenis dominan *Sonneratia alba* dan *Rhizophora stylosa*. Berdasarkan data tersebut ukuran diameter berbanding lurus dengan kandungan karbon yang berarti bahwa peningkatan diameter akan meningkatkan kandungan karbon.

3.7. Hubungan antara Ukuran Diameter Pohon terhadap Simpanan Karbon Atas Permukaan Tanah pada Hutan Rehabilitasi Tahura Ngurah Rai

Berdasarkan hasil penghitungan karbon atas mangrove pada hutan rehabilitasi dapat diketahui hubungan antara ukuran diameter pohon terhadap simpanan karbon atas permukaan tanah. Rata-rata diameter dan kandungan karbon per hektar pada tiap tingkat kerapatan tajuk pada hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9.

Histogram Diameter rata-rata dan Kandungan Karbon per hektar pada tiap Tingkat Kerapatan Tajuk pada Hutan Rehabilitasi Tahura Ngurah Rai

Berdasarkan Gambar 9., kandungan karbon atas per hektar terendah sebesar 0,95 ton C ha⁻¹ terdapat pada tingkat kerapatan tajuk rapat/tinggi dengan rata-rata diameter 7,94 cm dengan jenis dominan adalah *Rhizophora stylosa* dan *Rhizophora apiculata*. Sedangkan kandungan karbon atas per hektar tertinggi sebesar 6,13 ton C ha⁻¹ terdapat pada tingkat kerapatan tajuk rendah/jarang dengan rata-rata diameter 12,47 cm dengan jenis dominan *Rhizophora stylosa*. Sama halnya dengan di hutan alam, ukuran diameter berbanding lurus dengan kandungan karbon. yang bermakna bahwa peningkatan diameter akan menyebabkan peningkatan kandungan karbon. Berdasarkan data rata-rata kandungan karbon atas per hektar pada hutan alam maupun hutan rehabilitasi bahwa kandungan karbon tertinggi terdapat pada plot dengan tutupan tajuk jarang/rendah, dimana pada plot ini rata-rata diameter pohon paling besar.

3.8. Kandungan Karbon Atas Permukaan Tanah

Berdasarkan hasil uji statistik terhadap simpanan karbon atas Tahura Ngurah Rai didapatkan hasil sesuai Tabel 5.

Sesuai output seperti Tabel 5., diperoleh nilai signifikansi 0,076 > 0,05 sehingga bermakna bahwa variansi data rata-rata kandungan karbon atas pada hutan alam dengan rata-rata kandungan karbon atas pada hutan rehabilitasi dinyatakan homogen. Dengan demikian penafsiran tabel output *Independent Samples Test* pada Tabel 5. berdasarkan nilai pada bagian “*Equal variances assumed*”.

Sesuai output “*Independent Samples Test*” pada “*Equal variances assumed*” nilai signifikansi 0,529 > 0,05 sehingga bermakna tidak terdapat perbedaan yang nyata pada rata-rata kandungan karbon atas di hutan alam dengan rata-rata kandungan karbon atas hutan rehabilitasi.

Tidak adanya perbedaan yang signifikan pada kandungan karbon atas per hektar pada hutan alam dan hutan rehabilitasi mangrove Tahura Ngurah Rai mengindikasikan bahwa kondisi vegetasi pada hutan rehabilitasi mangrove sudah hampir sama dengan kondisi vegetasi pada hutan alam. Hal ini berdampak pada kandungan biomassa dan karbon per hektar pada hutan rehabilitasi dan hutan alam tidak berbeda signifikan.

Berdasarkan hasil pengukuran dan penghitungan, kandungan karbon pada hutan alam sebesar 90,03 ton/ha sedangkan karbon pada hutan rehabilitasi 75,75 ton/ha. Kandungan karbon per hektar di Tahura Ngurah Rai lebih besar apabila dibandingkan dengan penelitian oleh Putra et al. (2019) yang menyatakan bahwa kandungan karbon pada hutan mangrove sebesar 15,71 ton/ha,

penelitian Handoko (2016) di kawasan Selatan Pulau Rupa yang menyatakan bahwa cadangan karbon mangrove sebesar 58,8 ton/ha dan penelitian Sofyan (2016) di kawasan Pesisir Rupa Utara yang menyatakan rata-rata karbon mangrove sebesar 68,64 ton/ha. Akan tetapi kandungan karbon Tahura Ngurah Rai lebih kecil dibandingkan dengan kandungan karbon di kawasan mangrove Bahowo, Kelurahan Tongkaina, Kecamatan Bunaken yang sebesar 203,83 ton ton/ha (Bachmid et al., 2018). Penelitian Massugito (2016) yang menyatakan bahwa cadangan karbon mangrove di kawasan Pesisir Kuala Indragiri rata-rata sebesar 258,03 ton/ha dan penelitian Oktaviona et.al, (2017) di hutan mangrove Jorong Ujuang Labuang Sumatera Barat yang menyatakan kandungan karbon sebesar 1.333,99 ton ton/ha.

Tabel 5. *Output Independent Samples Test* Kandungan Karbon Atas Permukaan Tanah pada Hutan Alam dan Rehabilitasi Tahura Ngurah Rai

Independent.Samples.Test										
		Levene's.Test.for Equality.of. Variances.		t-test for Equality of Means						
		F	Sig..	t.	df.	Sig. . (2-tailed)	Mean. Difference	Std. .Error. Difference	95%.Confidence.In terval of.the.Difference	
									Lower.	Upper.
Kandungan Karbon	Equal.variances. assumed	3.395	.076	.638	28	.529	14.70067	23.03794	32.49041	61.89174
	Equal.variances. not assumed			.638	23.728	.530	14.70067	23.03794	32.87615	62.27748

3.9. Hubungan antara Ukuran Diameter dan Jenis Pohon dengan Kandungan Karbon Atas Permukaan Tanah di Hutan Alam

Untuk mengetahui apakah diameter dan jenis pohon berpengaruh terhadap simpanan karbon atas pada hutan alam Tahura Ngurah Rai, dilakukan analisis terhadap output uji statistik seperti pada Tabel 6.

Berdasarkan Tabel 6., diperoleh nilai signifikansi untuk rata-rata diameter sebesar 0,181 atau lebih tinggi ($>$) 0,05 yang bermakna bahwa diameter tidak memberikan pengaruh nyata terhadap simpanan karbon atas di hutan alam Tahura Ngurah Rai. Untuk nilai signifikansi jenis dominan sebesar 0,209 atau lebih tinggi ($>$) 0,05 yang bermakna bahwa

jenis pohon tidak memberikan pengaruh nyata terhadap simpanan karbon atas di hutan alam Tahura Ngurah Rai.

Karena 2 (dua) variabel bebas yang diuji terhadap simpanan karbon atas di hutan alam tidak memberikan pengaruh nyata, maka persamaan regresi linear diabaikan. Ukuran diameter yang tidak berpengaruh signifikan terhadap kandungan karbon pada hutan alam diduga disebabkan karena pertumbuhan diameter sejalan dengan peningkatan kandungan karbon pada vegetasi mangrove. Pernyataan tersebut sejalan dengan pendapat Hariah dan Rahayu (2007) yang menyatakan besarnya diameter yang dipengaruhi oleh usia pohon akan berdampak pada peningkatan biomassa termasuk karbon.

Pengaruh jenis berdasarkan uji statistik menunjukkan hasil bahwa jenis tidak berpengaruh signifikan terhadap kandungan karbon atas permukaan tanah pada hutan alam Tahura Ngurah Rai. Pada hutan alam Tahura Ngurah Rai, jenis yang dominan adalah *Sonneratia alba*. Kandungan karbon atas rata-rata per hektar pada hutan alam Tahura Ngurah Rai yang didominasi oleh *Sonneratia alba* sebesar 90,03 ton/ha lebih besar dari

penelitian yang dilakukan oleh Putra *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa kemampuan mangrove jenis *Sonneratia alba* dalam menyimpan karbon diperkirakan sebesar 15,71 ton/ha. Namun lebih kecil apabila dibandingkan dengan penelitian Syukri *et al.* (2018) yang menyatakan kandungan karbon per hektar jenis *Sonneratia alba* berkisar antara 196.39 - 293.9 ton/ha.

Tabel 6. *Output Coefficients* Hubungan Diameter dan Jenis Pohon terhadap Simpanan Karbon Atas di Hutan Alam Tahura Ngurah Rai

Coefficients^a

Model.	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t.	Sig. .
	B.	Std. Error.	Beta.		
1. (Constant) .	9.942	78.810		.126	.902
Rata-rata Diameter	6.787	4.785	.393	1.418	.181
Jenis Dominan	-34.112	25.708	-.368	-1.327	.209

a. Dependent Variable: Kandungan karbon Atas

3.10. Hubungan antara Ukuran Diameter dan Jenis Pohon dengan Kandungan Karbon Atas di Hutan Rehabilitasi

Untuk mengetahui apakah diameter dan jenis pohon berpengaruh terhadap simpanan karbon atas pada hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai, dilakukan analisis terhadap output uji statistik seperti pada Tabel 7.

Berdasarkan Tabel 7., diperoleh nilai signifikansi untuk rata-rata diameter sebesar 0,186 atau lebih tinggi (>) 0,05 sehingga diameter tidak berpengaruh nyata pada kandungan karbon atas permukaan tanah di hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai. Untuk nilai signifikansi jenis dominan sebesar 0,759 atau lebih tinggi (>) 0,05 bermakna bahwa jenis pohon juga tidak berpengaruh nyata pada kandungan karbon atas di hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai.

Karena 2 (dua) variabel bebas yang diuji terhadap simpanan karbon atas di hutan rehabilitasi tidak memberikan pengaruh nyata, maka persamaan regresi linear diabaikan. Adinugroho dan Sidiyasa (2006) menyatakan bahwa terdapat hubungan erat antara dimensi pohon (diameter dan tinggi) dengan biomassa dan kandungan karbon. Hairiah dan Rahayu

(2007) menyatakan ukuran diameter batang berbanding lurus dengan nilai biomassa, semakin tinggi DBH (*Diameter at Breast Height*) maka mengindikasikan semakin tua pohon tersebut dan mempunyai cadangan karbon yang lebih banyak. Sejalan dengan pendapat tersebut, Maulana (2009) menyatakan tingginya potensi kandungan karbon lebih dipengaruhi oleh komposisi diameter dan berat jenis pohon daripada kerapatan tutupan lahan. Hikmatyar *et al.* (2015) juga menyatakan bahwa diameter batang, kerapatan individu, keragaman jenis pohon merupakan parameter yang mempengaruhi biomassa dan kandungan karbon pada suatu ekosistem.

Pengaruh jenis berdasarkan uji statistik menunjukkan hasil bahwa jenis tidak berpengaruh signifikan terhadap kandungan karbon atas permukaan tanah pada hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai. Pada hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai, jenis yang dominan dan awalnya diduga berpengaruh signifikan terhadap kandungan karbon atas mangrove adalah jenis *Rhizophora stylosa*. Kandungan karbon atas rata-rata per hektar pada hutan rehabilitasi Tahura Ngurah Rai

yang didominasi oleh *Rhizophora stylosa* sebesar 75,75 ton C/ha. Walaupun tidak berpengaruh nyata secara statistik, kandungan karbon *Rhizophora stylosa* lebih besar dibandingkan jenis yang lain. Hal ini sesuai penelitian Suryono *et al.* (2018) bahwa biomassa dan cadangan karbon dari *Rhizophora* sp. lebih tinggi dibandingkan

dengan jenis lainnya. Kareninsekar (2020) juga menyatakan bahwa *Rhizophora stylosa* memiliki kemampuan menyerap karbon tertinggi dibandingkan dengan jenis *Avicennia marina* dan *Bruguiera gymnorrhiza*, dimana kemampuan serapan tertinggi terutama pada bagian batang.

Tabel 7. *Output Coefficients* Hubungan Diameter dan Jenis Pohon terhadap Kandungan Karbon Atas Permukaan Tanah pada Hutan Rehabilitasi Tahura Ngurah Rai

Coefficients ^a					
Model.	Unstandardize.Coefficients		Standardized.Coefficients	t.	.Sig. .
	.B.	.Std. Error.	.Beta.		
1. (Constant) .	-30.382	79.493		-.382	.709
Rata-rata Diameter	12.002	8.558	.420	1.402	.186
Jenis Dominan	14.532	46.204	.094	.315	.759

a. Dependent Variable: Kandungan karbon Atas

akan berdampak pada peningkatan cadangan karbon.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1. Simpulan

- 1) Kandungan karbon atas permukaan tanah per ha pada hutan alam Tahura Ngurah Rai sebesar 90,03 ton/ha tidak berbeda nyata dengan kandungan karbon per hektar pada hutan rehabilitasi sebesar 75,75 ton/ha. Hal ini berarti bahwa pertumbuhan vegetasi pada hutan rehabilitasi sudah hampir sama dengan pertumbuhan vegetasi pada hutan alam.
- 2) Ukuran diameter dan jenis mangrove tidak berpengaruh nyata pada kandungan karbon atas di hutan alam dan hutan rehabilitasi pada taraf signifikan 5%.

4.2. Saran

- 1) Untuk menjaga fungsi mangrove sebagai penyerap karbon perlu mempertahankan kelestarian mangrove dan melakukan rehabilitasi pada kawasan yang rusak.
- 2) Upaya rehabilitasi mangrove harus memperhatikan kesesuaian jenis mangrove dengan karakteristik lapangan sehingga akan meningkatkan persentase keberhasilan kegiatan rehabilitasi yang

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho, C. W. dan Sidiyasa, K. 2001. Model Pendugaan Biomassa Pohon Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) di atas Permukaan Tanah. Jurnal penelitian Hutan dan Konservasi Alam, III (1) : 103 - 117.
- Arief, A. 2001. *Hutan dan Kehutanan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Asy'ari, M., dan Karim, A.A. 2012. Pengukuran Kayu, Fakultas Kehutanan, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Bachmid, F., Sondak, C.F.A., Kusen, J.D. 2018. Estimasi Penyerapan Karbon Hutan Mangrove Bahowo Kelurahan Tongkai na Kecamatan Bunaken. Jurnal Pesisir dan Laut Tropis. Vol. 1 (1):8-13
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon Pengukuran lapangan untuk penaksiran

- cadangan karbon hutan (*ground based forest carbon accounting*). Jakarta.
- Hairiah, K., Rahayu, S. 2007. Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. World Agroforestry Centre. ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Indonesia.
- Handoko, E. 2016. Analisis Biomassa dan Cadangan Karbon pada Ekosistem Hutan Mangrove di Kawasan Pesisir Selatan Pulau Rupat Provinsi Riau. Skripsi pada Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau, Pekanbaru.
- IPCC. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Japan: IGES.
- Komiyama, A., Pongpam, S. & Karto, S. 2005. Common Allometric Equations for Estimating The Tree Weight of Mangroves. *Journal of Tropical Ecology*. 21(4).
- Massugito. 2016. "Analisis Cadangan Karbon pada Ekosistem Hutan Mangrove di Kawasan Pesisir Kuala Indragiri Provinsi Riau". (*Skripsi*). Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Kelautan. Universitas Riau, Pekanbaru.
- Oktaviona, S., Amin, B., Ghalib, M. 2017. Estimasi Stok Karbon Tersimpan pada Ekosistem Hutan mangrove di Jorong Ujuang Labuang Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat. Postal
- Address: Kampus Bina Widya Sp. Panam Pekanbaru-Riau-Indonesia.
- Pratama, I.G.M.Y., Karang, I.W.G.A., Suteja, Y. 2019. Distribusi Spasial Kerapatan Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A Di TAHURA Ngurah Rai Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences* 5(2), 192-202.
- Putra, A.A., Rudianto, Dewi, C.S.U. 2019. Analisis Kemampuan Sekuestrasi dan Penyimpanan Karbon Hutan Mangrove di Desa Pejarakan, Kabupaten Buleleng, Bali. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. Vol. 11 No.3: 511-526.
- Sofyan, M. 2016. "Analisis Biomassa dan Cadangan Karbon pada Ekosistem Hutan Mangrove di Kawasan Pesisir Rupat Utara Provinsi Riau". (*Skripsi*). Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Kelautan. Universitas Riau, Pekanbaru.
- Suryono., Soenardjo, N., Wibowo, E., Ario, R., & Rozy, E.F. 2018. Estimasi Kandungan Biomassa dan Karbon di Hutan Mangrove Perancak Kabupaten Jembrana Provinsi Bali. *Bul. Oseano*. Mar. 7(1):1-8.
- Syukri, M., Mashoreng, S., Werorilangi, S., Isyrini, R., Rastina, Faizal, A., Tahir, A. 2018. Kajian Stok Karbon Mangrove di Bebangka Kabupaten Mamuju Sulawesi Barat. Prosiding Simposium Nasional Kelautan dan Perikanan V Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Widyantari, I. A. D. 2013. "Potensi Simpanan Karbon di Kawasan Rehabilitasi Mangrove Taman Hutan Raya Ngurah Rai, Bali". (*Skripsi*). Jurusan Konservasi Sumber Daya Hutan. Universitas Gajah Mada.