

## KARBON ORGANIK DI BAWAH PERMUKAAN TANAH PADA KAWASAN REHABILITASI HUTAN MANGROVE, TAMAN HUTAN RAYA NGURAH RAI, BALI

I Gst. Agung Indah Mahasani, I Wayan Gede Astawa Karang, I Gede Hendrawan

Faculty of Marine Science and Fisheries, Udayana University, Bukit Jimbaran, Bali 80361, Indonesia  
e-mail: indahmahasani@gmail.com

### ABSTRAK

Hutan mangrove merupakan ekosistem peralihan antara daratan dan lautan yang terjadi di sebagian besar sepanjang garis pantai tropis dan subtropis. Secara ekologis mangrove berfungsi sebagai penyerap dan penyimpan karbon, dengan sebagian besar dialokasikan di bawah permukaan tanah. Tujuan dari penelitian ini, yaitu : (1) Mengetahui simpanan karbon organik dibawah permukaan tanah di hutan mangrove rehabilitasi TAHURA Ngurah Rai, Bali dan (2) Mengetahui variasi secara vertikal simpanan karbon organik yang tersimpan dalam tanah di hutan mangrove rehabilitasi TAHURA Ngurah Rai, Bali. Metode yang digunakan dari penelitian ini adalah loss on ignition (LOI). Total simpanan kandungan karbon organik di dalam tanah kawasan rehabilitasi Taman Hutan Raya Ngurah Rai adalah 42,625,842.79 Mg C. Rata – rata simpanan karbon organik secara vertikal pada kawasan rehabilitasi mangrove Taman Hutan Raya Ngurah Rai berfluktuasi, pada lapisan permukaan (0-15 cm) nilai karbon organik sebesar  $123.503 \pm 37.281 \text{ Mg ha}^{-1}$ , pada lapisan kedua (15-30 cm) nilai karbon organik sebesar  $120.313 \pm 47.279 \text{ Mg ha}^{-1}$ , pada lapisan ketiga (30-50 cm) nilai karbon organik sebesar  $131.684 \pm 50.685 \text{ Mg ha}^{-1}$ , pada lapisan keempat (50-100 cm) nilai karbon organik sebesar  $254.029 \pm 60.502 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dan pada lapisan terakhir (100-110 cm) nilai karbon organik sebesar  $123.708 \pm 40.027 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

**Kata Kunci:** Karbon Organik, LOI, Mangrove, Rehabilitasi, Variasi Vertikal

### PENDAHULUAN

Indonesia adalah Negara kepulauan yang memiliki banyak potensi sumber daya alam. Salah satu sumberdaya alam Indonesia adalah ekosistem mangrove. Ekosistem mangrove di Indonesia sangat luas yakni berkisar 2,5 juta – 4,25 juta ha, dan ini diakui oleh dunia bahwa Indonesia mempunyai luas ekosistem mangrove terluas di dunia (21% luas mangrove dunia) (Santoso, 2005). Bali merupakan daerah yang memiliki potensi terbesar ekosistem hutan mangrove. Ada tiga kawasan mangrove yang luas di Pulau Bali, yaitu pertama terletak di sepanjang Teluk Benoa yang sering disebut Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali (Tahura Ngurah Rai) dengan luas 1373,5 ha termasuk Pulau Serangan, kedua Taman Nasional Bali Barat (Menjangan) dengan luas sebesar 602 ha, dan yang terakhir adalah di Nusa Lembangan seluas 202 ha (Widagti *et al.*, 2011).

Tahura Ngurah Rai merupakan ekosistem alam yang didominasi oleh mangrove dengan luas lahan 1.373,50 Ha berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan Nomor: 544/Kpts-II/1993 tanggal 25 September 1993. Sebaran vegetasi mangrove di Taman Hutan Raya Ngurah Rai terdiri atas vegetasi alami dan vegetasi rehabilitasi. Pada kawasan TAHURA Ngurah Rai luas lahan vegetasi rehabilitasi sekitar 402 ha yang dulunya merupakan kawasan bekas tambak (Kitamura, 1997). Penanaman tidak hanya ditujukan untuk memperbaiki lahan tambak tetapi untuk membantu suksesi agar manfaat rehabilitasi bisa mendukung kembalinya ekosistem dan berfungsi dengan baik. Salah satu tujuan kegiatan rehabilitasi adalah untuk mengembalikan fungsi ekosistem mangrove sebagai penyimpan karbon. Kawasan mangrove Tahura Ngurah Rai merupakan kawasan yang juga mendapat input masukan bahan – bahan organik maupun anorganik dari wilayah daratan. Sumber yang masuk dari daratan ke kawasan hutan mangrove melalui aliran sungai dan buangan sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Suwung. Hal ini mempengaruhi karakteristik tanah secara alami dan mempengaruhi perkembangan karena kondisi dapat berbeda-beda secara terus-menerus dalam waktu dan tempat yang berbeda (Sari, 2002).

Hutan mangrove merupakan ekosistem peralihan antara daratan dan lautan yang terjadi di sebagian besar sepanjang garis pantai tropis dan subtropis (Liu *et al.*, 2014). Hutan mangrove memiliki beberapa fungsi baik secara fisik, biologis, dan ekologis. Secara ekologis hutan mangrove berfungsi sebagai penyerap karbon, dimana fungsi tersebut menjadikan hutan mangrove dapat menyimpan karbon dalam jumlah yang besar baik pada vegetasi (biomassa) maupun bahan organik lain yang terdapat di hutan mangrove (Cahyaningrum dkk 2014). Hutan mangrove menyimpan karbon di atas permukaan tanah dan dibawah permukaan tanah, dengan sebagian besar dialokasikan di bawah permukaan tanah (Alongi, 2012). Dari berbagai penelitian total stok karbon pada mangrove adalah sebesar 0,18-673,01 ton C ha<sup>-1</sup> dan karbon stok sedimen mangrove berkisar antara 0,06-6,77 % atau setara dengan 0,90-

66,12 Mg ha<sup>-1</sup> (Afiati dkk 2014). Pada kawasan rehabilitasi mangrove Tahura Ngurah Rai total simpanan karbon diatas permukaan tanah, simpanan karbon di bawah permukaan tanah dan simpanan karbon di dalam tanah masing – masing sebesar 10.803.114,24 ton C, 7.095.243,46 ton C, dan 57.458.918,73 ton C (Widiyantari, 2013).

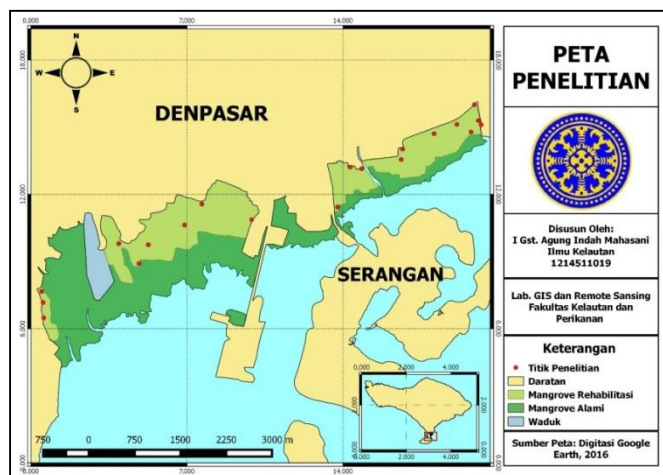
Sebagaimana terbesar dari karbon organik terestrial, tanah berinteraksi kuat dengan komposisi atmosfer, iklim, dan perubahan tutupan lahan (Jobbagy *et al.*, 2000). Peningkatan CO<sub>2</sub> atmosfer yang berkontribusi terhadap pemanasan global sangat mungkin dapat dikurangi melalui proses pemindahan/sekuestrasi karbon ke dalam tanah (*soil carbon sequestration*) (Markewich & Buell, 2001). Sekuestrasi karbon organik tanah (*soil organic carbon/SOC*) dianggap sebagai strategi untuk mitigasi perubahan iklim dan berkaitan dengan penyimpanan karbon ke dalam tanah (Chan *et al.*, 2008). Semakin banyak karbon disimpan dalam tanah sebagai karbon organik tanah dapat mengurangi jumlah karbon yang ada di atmosfer sehingga dapat mengurangi pemanasan global dan perubahan iklim (Chan, 2008).

Perbedaan keragaman kandungan karbon organik tanah (*soil organic carbon/SOC*) pada kedalaman tanah terjadi karena setiap jenis vegetasi berbeda dalam distribusi akar vertikalnya dan meninggalkan jejak yang berbeda pada distribusi kedalaman SOC (Lal, 2005). Pada kedalaman 0,5 m sampai lebih dari 3 m kaya dengan tanah organik, dimana kedalaman tersebut menyumbang 49-98 % penyimpanan karbon (Daniel *et al.*, 2011). Kawasan hutan mangrove reboisasi dan penghijauan memiliki kandungan karbon yang beragam. Dari hasil penelitian membuktikan bahwa hutan mangrove jenis *Kandelia obovata* dan *Sonneratia apetala* dengan perbedaan usia jenis mangrove konsentrasi %C meningkat secara signifikan selama 6 tahun dari 1,14 % menjadi 1,52 % (*K. obovate*) dan 1,23 % menjadi 1,68 % (*S. apetala*) (Lunstrum, 2014). Potensi hutan mangrove sebagai penyerap dan penyimpan karbon dari waktu ke waktu terus mengalami perubahan, potensi simpanan karbon dapat bertambah dikarenakan pertumbuhan dan perkembangan vegetasi, sedangkan potensi simpanan karbon dapat berkurang akibat perubahan tata guna lahan.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui simpanan karbon organik di bawah permukaan tanah di hutan mangrove rehabilitasi TAHURA Ngurah Rai dan mengetahui variasi secara vertikal simpanan karbon organik yang tersimpan dalam tanah di hutan mangrove rehabilitasi TAHURA Ngurah Rai. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai informasi tentang potensi karbon organik yang terkandung dalam tanah di hutan mangrove rehabilitasi TAHURA Ngurah Rai dan dapat digunakan sebagai gambaran apakah terdapat variasi secara vertikal pada karbon organik yang terkandung dalam tanah yang ada di hutan mangrove rehabilitasi TAHURA Ngurah Rai, Bali.

## MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan pada bulan Januari 2016 sampai dengan Juni 2016 di kawasan rehabilitasi TAHURA Ngurah Rai, Bali (Gambar 1). Pengelolaan dan analisis sampel dilakukan di Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Udayana dan Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Udayana. Analisis spasial dilakukan di Laboratorium GIS dan Remote Sensing Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Udayana. Dalam penelitian ini terdapat 20 titik pengamatan dimana titik penelitian diambil secara acak. Pengambilan data dilakukan pada saat kondisi perairan surut. Pengambilan data pada 20 titik dilakukan pada hari yang berbeda dan kondisi cuaca yang berbeda.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan untuk mengukur karbon organik tanah di hutan mangrove rehabilitasi TAHURA Ngurah Rai ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

Alat	Kegunaan
Meteran ( <i>Measuring tape</i> )	Untuk mengukur panjang (kedalaman) sampel sedimen dan memudahkan dalam menentukan sub-sampel yang akan diambil
Pisau tipis dan tajam	Untuk mengiris ( <i>slicing</i> ) sampel dan sub-sampel
Sendok kecil	Untuk memudahkan dalam pengambilan sampel dan juga dalam memasukkannya ke dalam plastik sampel
<i>Open-faced Auger (sediment corer)</i>	Untuk mengambil sampel sedimen, dapat juga digunakan untuk menentukan kedalaman tanah
Oven	Untuk mengeringkan sampel sedimen, sebelum dibakar dalam <i>muffle furnace</i>
Timbangan Analitik	Untuk menimbang sampel sedimen
<i>GPSmap</i>	Untuk mengambil koordinat lokasi pengambilan sampel
Kantong plastik ( <i>zipper-bag</i> )	Untuk menyimpan sampel, sebelum dianalisis di laboratorium
Cawan sampel (Aluminium)	Untuk menempatkan sampel selama pengeringan di dalam oven (60°C)
Mortar	Untuk menghaluskan sampel ( <i>sample homogenizing</i> )
<i>Crucible porcelain</i>	Untuk menempatkan sampel selama pembakaran sampel dalam <i>muffle furnace</i> (450°C)
Kertas label	Untuk memberikan tanda atau keterangan sampel yang diambil
Alat tulis	Untuk mencatat hal-hal penting terkait dengan pengambilan sampel di lapangan, seperti waktu, kondisi habitat (jenis dominan), cuaca, volume Auger, dll.
Kamera	Untuk arsip dokumentasi sampel (nomor sampel, kedalaman, dll) dan kegiatan selama di lapangan dan di laboratorium (proses kerja dan kondisi lingkungan)
<i>Muffle furnace</i>	Alat untuk proses pembakaran sampel (450°C)
<i>Cool Box</i>	Untuk menyimpan sampel

Data yang diperlukan untuk menghitung karbon organik dalam tanah adalah kedalaman sampel tanah, kedalaman dan interval sub-sampel, dan *bulk density* (kerapatan massa jenis). Untuk mengetahui hal tersebut, tahapan kerja yang perlu dilakukan mengikuti prosedur (Kauffman and Donato, 2012), sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengambilan sampel dengan menggunakan *opened-face Auger*, sampah organik dan daun hidup (jika ada) dibersihkan dari permukaan tanah;
2. *Coring* dilakukan dengan dimasukkannya perangkat *opened-faced Auger* ke dalam tanah secara vertikal di lokasi yang sudah ditentukan sampai kedalaman mencapai pangkal *corer*. Jika *coring* tidak dapat menembus kedalaman penuh (sampai pangkal *corer*), maka dicari lokasi lain untuk pengambilan sampel. Ketika *corer* telah mencapai kedalaman penuh, putar *corer* untuk memotong akar halus yang terdapat dalam tanah. Kemudian tarik perlahan *corer* dari dalam tanah sambil terus diputar, untuk mempertahankan sampel sedimen yang diambil tetap penuh dan lengkap.
3. Sampel sedimen yang lengkap dan utuh, kemudian dibelah (secara horizontal), dan dibagi berdasarkan 5 kedalaman (5 sampel), yaitu 0-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm, 50-100 cm, dan >100 cm. Tidak seluruh sampel sedimen diambil, tetapi dengan menentukan sub-sampel dari masing-masing sampel tersebut. Sampel pada kedalaman 0-15 cm yang akan diambil pada kedalaman 5-10 cm, kedalaman 15-30 cm pada sampel kedalaman 20-25 cm, kedalaman 30-50 cm pada sampel kedalaman 35 – 40 cm, kedalaman 50-100 cm pada sampel kedalaman 70-80 cm, dan pada kedalaman >100 cm pada sampel kedalaman 105-110 cm yang akan diambil.
4. Sub-sampel yang telah diambil dimasukkan ke dalam *zipper bag* dan diberikannya label pada setiap kantong untuk memudahkan identifikasi dan analisis di laboratorium.
5. Sampel yang didapat dimasukkan kedalam *cool box* (jika lokasi pengambilan data jauh dari laboratorium tempat analisis sampel) atau tempat khusus untuk dibawa ke laboratorium.

Setelah pengambilan sampel di lapangan selesai, kemudian sampel dianalisis di laboratorium dengan metode loss on ignition (LOI). Tahapan analisis tersebut adalah (Howard, J *et al.*, 2014):

1. Sampel sedimen ditempatkan dalam cawan aluminium, kemudian dimasukkan ke dalam oven yang sudah diatur suhu (60°C) dan waktunya (48 jam);
2. Setelah kering, sampel kemudian digerus atau dihaluskan dengan menggunakan mortar agar kondisi setiap sub-sampel menjadi homogen sebelum dilakukan pembakaran. Setiap sub-sampel yang telah dihaluskan tersebut ditempatkan kedalam kantong plastik (*zipper bag*);

3. Sampel yang sudah dihaluskan ditimbang sebanyak  $\pm 2$  gram, kemudian ditempatkan pada *crucible porcelain*. Sampel tersebut dimasukkan ke dalam *muffle furnace* dan dibakar dengan suhu  $450^{\circ}\text{C}$  selama 4 jam, kemudian ditimbang kembali.

Data yang akan dihitung adalah kedalaman sampel sedimen, bulk density, dan persentase karbon organik pada sedimen. Adapun perhitungan yang di gunakan dalam menganalisis data sebagai berikut (Howard, J et al., 2014):

1. Bulk density tanah merupakan berat partikel persatuan volume tanah beserta porinya. Rumus yang digunakan untuk menghitung bulk density (BD) disajikan pada persamaan 1:

$$\text{Soil bulk density (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Berat Kering (g)}}{\text{Sample Volume (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

2. Densitas Karbon (C) dihitung dengan menggunakan persamaan 2:

$$\text{Soil C density (g C cm}^{-3}\text{)} = \%C \times \text{BD (Soil bulk density)} \quad (2)$$

3. Kandungan karbon pada tanah diestimasi dengan persamaan 3:

$$\text{Soil C (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{BD} \times \text{SDI (Soil Depth Interval)} \times \%C \quad (3)$$

Data yang telah didapat di analisis secara spasial. Analisis data distribusi spasial menggunakan software QGIS 2.8.6 yang merupakan software *open source*. Data spasial di dapat dari data titik yang diinterpolasi. Interpolasi adalah metode dengan fungsi matematik untuk memperkirakan nilai – nilai disuatu titik lokasi yang tanpa nilai. Metode interpolasi yang digunakan untuk menganalisis data adalah metode interpolasi *Inverse Distance Weighting (IDW)*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi vegetasi mangrove di TAHURA Ngurah Rai Bali relatif baik ditunjukkan oleh ketebalan vegetasi mangrove yang terlihat, serta faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi dan menunjukkan komunitas mangrove. Pada umumnya kawasan hutan mangrove rehabilitasi TAHURA Ngurah Rai Bali di tanam mangrove jenis *Rhizophora mucronata*. Dari hasil penelitian Hermawan dkk(2014) yang dilakukan di kawasan ekowisata TAHURA Ngurah Rai ditemukan 6 spesies dimana 5 spesies komponen mayor dan 1 spesies komponen minor, *Rhizophora mucronata* merupakan spesies yang mendominasi dengan Indeks Nilai Penting (INP) kategori pohon berkisar 112% - 152%. Jenis ini terlihat pada seluruh titik pengamatan di karenakan kekuatan dan kecocokan dari karakteristik tempat hidupnya. *Rhizophora mucronata* merupakan jenis tanaman yang memiliki toleransi tinggi terhadap lingkungan (salinitas, suhu, pH dan lainnya) (Kushartono, 2009). Tidak hanya jenis *Rhizophora mucronata* saja yang ditemukan melainkan secara keseluruhan ada empat jenis mangrove yang mendominasi yaitu: *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera gymnorhiza*, dan *Sonneratia alba*.

Luas kawasan mangrove rehabilitasi TAHURA Ngurah Rai dapat dilihat pada Tabel 2. Penentuan luas secara khusus diperoleh dari hasil digitasi citra satelit (Google Earth 2015). Informasi yang didapat dari pihak yang mengetahui luas kawasan mangrove rehabilitasi, disarankan untuk mendigitasi data luasan dengan ciri-ciri atau indikator kawasan rehabilitasi adalah petakan – petakan bekas tambak. Dari hasil digitasi dilakukan survey secara langsung dengan mencatat dan menyesuaikan koordinat lapangan dengan hasil dari digitasi.

Tabel 2. Sebaran Hutan Mangrove di Kawasan Rehabilitasi

No.	Kabupaten/Kota/Kecamatan	Desa	Lokasi	Luas Area
1.	Kabupaten Badung			
	• Kuta	Tuban	A	14.753 ha
2.	Kota Denpasar			
	• Denpasar Selatan	Pemogan	B	180.500 ha
		Pedungan		
		Sesetan	C	36.243 ha
		Sidakarya	D	87.063 ha
		Sanur Kauh		
Total				318.559 ha

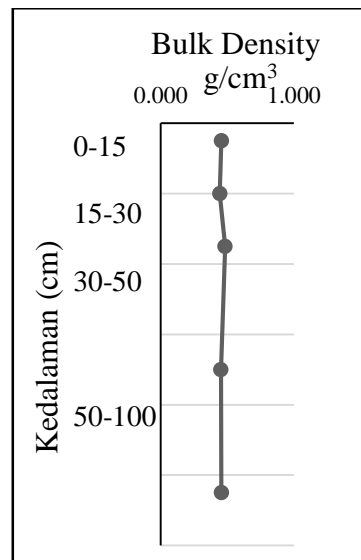
### Bulk Density

*Bulk density* (BD) menunjukkan berat tanah yang telah dikeringkan (*oven*) persatuan volume tanah termasuk pori-pori tanah yang dinyatakan dalam  $\text{g/cm}^3$ . Konsentrasi BD tanah diperoleh dengan rata-rata berkisar antara  $0.265 \pm 0.036$  hingga  $0.648 \pm 0.064 \text{ g/cm}^3$ . Nilai tersebut tidak jauh berderda dibandingkan oleh hasil penelitian Dharmawan dkk (2014) yang memperoleh konsentrasi BD dengan

rentang  $0.28 \pm 0.05$  sampai  $0.42 \pm 0.09$  g/cm<sup>3</sup>. Konsentrasi BD dipengaruhi oleh tekstur tanah dan ukuran partikel-partikel yang ditunjukkan dalam tekstur tanah yang mempengaruhi nilai berat isi tanah. Penyusun tanah mangrove didominasi oleh pasir, dengan banyak pori-pori makro maka tanah dengan dominasi pasir memiliki kemampuan menahan air yang sangat rendah, sehingga kerapatan tanah rendah (Sugirahayu, 2011). Menurut Rusdiana dan Lubis (2012) semakin halus tekstur tanah, kadar liat semakin tinggi kemampuan tanah untuk menahan air akan lebih lama karena pori-pori lebih kecil sebaliknya, semakin besar pori-pori tanah kemampuan tanah menahan air akan semakin kecil.

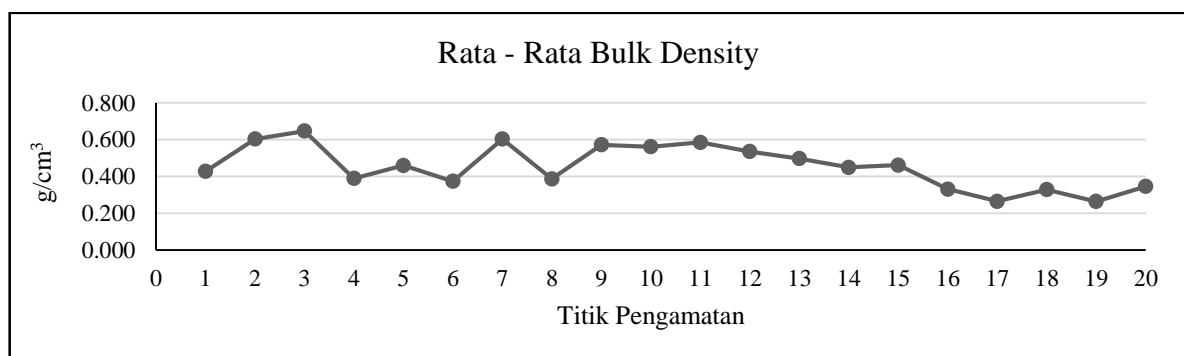
Kondisi kawasan yang berbeda-beda mempengaruhi kandungan BD, dari pengamatan langsung di lokasi di kawasan Desa Pemogan banyak terdapat sampah plastik. Pada kawasan mangrove Desa Sesetan di daerah sekitarnya terdapat tempat pembuangan Akhir (TPA Suwung). Kesuburan dari sedimen mangrove karena bahan organik yang terkandung di dalamnya (Kushartono, 2009). Adanya pengelolaan tanah dan pemberian bahan tambahan pada tanah (seperti bahan organik, pupuk organik (pupuk kandang, kompos) adalah salah satu cara untuk menurunkan berat volume tanah, sehingga tanah menjadi bergumpal dan menjadi longgar (Utami, 2009). Selain bulk density karakteristik substrat juga mempengaruhi kehidupan dari komunitas mangrove. Substrat sedimen di daerah hutan mangrove mempunyai ciri-ciri selalu basah, mengandung garam, memiliki kandungan oksigen yang sedikit, berbutir-butir dan kaya bahan organik.

Pada Gambar 2, konsentrasi rata-rata BD dari keseluruhan titik tidak jauh berbeda, rata-rata konsentrasi BD pada kedalaman 0-15 cm sebesar 0.456 g/cm<sup>3</sup>, pada kedalaman 15-30 cm sebesar 0.444 g/cm<sup>3</sup>, pada kedalaman 30-50 cm sebesar 0.484 g/cm<sup>3</sup>, pada kedalaman 50-100 cm dengan nilai sebesar 0.453 g/cm<sup>3</sup> dan pada kedalaman 100-110 konsentrasi rata – rata BD adalah sebesar 0.456 g/cm<sup>3</sup>.



Gambar 2. Grafik rata-rata bulk density perkedalaman

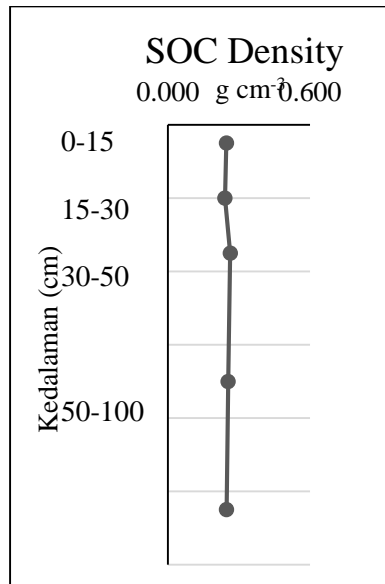
Rata-rata konsentrasi BD di tiap-tiap titik dapat dilihat pada Gambar 3. Konsentrasi tertinggi terdapat pada titik 3 Desa Tuban (lokasi A) dengan nilai sebesar  $0.648 \pm 0.064$  g/cm<sup>3</sup>, sedangkan konsentrasi terendah terdapat pada titik 17 Desa Pemogan (lokasi B) dengan nilai sebesar  $0.265 \pm 0.071$  g/cm<sup>3</sup>.



Gambar 3. Grafik rata-rata bulk density per titik

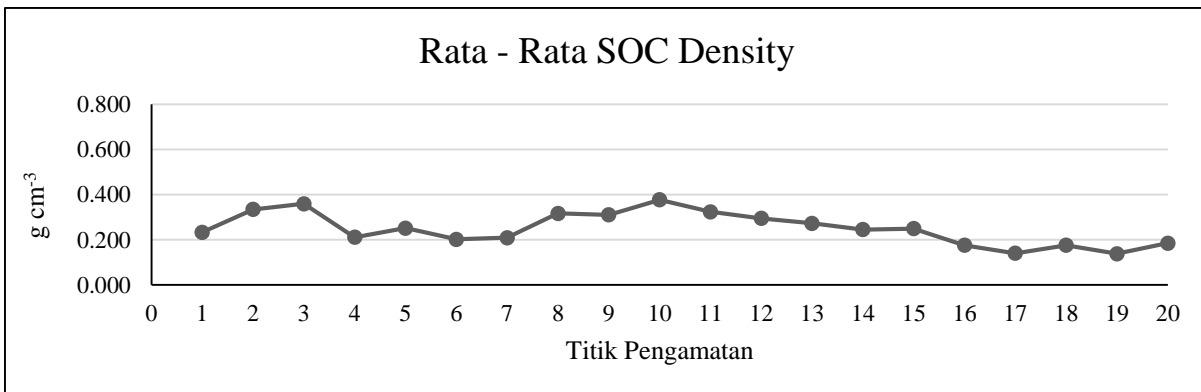
### Soil Organic Carbon Density

Perubahan kepadatan karbon organik tanah secara visual mewakili perubahan temporal dan spasial di karbon organik tanah. Menurut Dorji *et al.*, (2014) pemahaman mendalam tentang distribusi vertikal kepadatan karbon organik tanah (*SOC Density*) sangat penting untuk akumulasi karbon, penganggaran karbon dan merancang suatu strategi penyerapan karbon. Distribusi vertikal kepadatan karbon organik tanah berbeda pada setiap tutupan lahan. Dapat dilihat pada Gambar 4, nilai rata-rata SOC density yang di peroleh pada kelima lapisan yang berbeda, yaitu untuk kedalaman 0-15 cm sebesar  $0.247 \text{ g cm}^{-3}$ , kedalaman 15-30 cm sebesar  $0.241 \text{ g cm}^{-3}$ , kedalaman 30-50 cm sebesar  $0.263 \text{ g cm}^{-3}$ , kedalaman 50-100 cm sebesar  $0.254 \text{ g cm}^{-3}$ , dan kedalaman 100-110 cm sebesar  $0.247 \text{ g cm}^{-3}$ .



Gambar 4. Grafik rata-rata SOC density per kedalaman

Rata-rata nilai SOC density di tiap-tiap titik dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai tertinggi terdapat pada titik 10 Desa Sesetan (lokasi C) dengan nilai sebesar  $0.377 \pm 0.100 \text{ g cm}^{-3}$ , sedangkan nilai terendah terdapat pada titik 19 Desa Pemogan (lokasi B) dengan nilai sebesar  $0.139 \pm 0.020 \text{ g cm}^{-3}$ .



Gambar 5. Grafik rata-rata SOC density per titik

### Soil Organic Carbon

Kondisi pengambilan sampel pada kawasan Desa Tuban (lokasi A) titik 1, titik2, dan titik 3 pengambilan sampel pada kamis, 10 Maret 2016 dalam kondisi cuaca hujan ringan dengan pengambilan data pada sore hari, diduga kandungan SOC di kawasan tersebut tinggi dikarenakan kondisi cuaca tersebut. Secara umum kandungan karbon organik meningkat dengan semakin meningkatnya curah hujan dan semakin menurunnya suhu. Bohn *et al.* (1979) dalam Novario (2007) mengatakan bahwa suhu dingin meningkatkan kandungan karbon organik tanah dengan mengurangi nilai kehilangan karbon di dalam tanah.

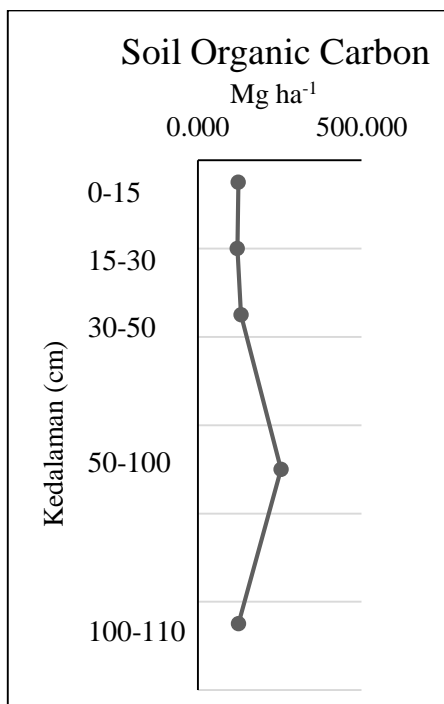
Pada Desa Pemogan dan Pedungan (lokasi B) titik 16 dan titik 17 pengambilan sampel dilakukan pada hari sabtu, 2 April 2016 pada pagi hari dengan kondisi cerah berawan, pada titik 15 pengambilan sampel dilakukan hari jumat, 8 April 2016 sore hari dengan kondisi berawan, pada titik 18 dan titik 20

pengambilan sampel dilakukan rabu, 6 April 2016 sore hari dengan kondisi cerah berawan, sedangkan titik 19 pengambilan sampel dilakukan hari minggu, 3 April 2016 siang hari dengan kondisi cerah.

Pada Desa Sesetan (lokasi C) titik 8, titik 9, dan titik 10 pengambilan data dilakukan pada kamis, 17 Maret 2016 pagi hari dengan kondisi cuaca cerah berawan. Pada Desa Sanur Kauh (lokasi D) titik 4, titik 5, titik 6 dan titik 7 pengambilan sampel pada Jumat, 11 Maret 2016 pengambilan data dilakukan pada pagi dan sore hari dengan kondisi cerah berawan, sedangkan pada Desa Sidakarya (lokasi D) titik 11, titik 12, dan titik 13 pengambilan sampel pada Selasa, 21 Maret 2016 pengambilan data dilakukan pada sore hari dengan kondisi cerah berawan dan titik 14 pengambilan sampel dilakukan pada sore hari dengan cuaca cerah berawan pada hari kamis, 31 Maret 2016. Iklim berpengaruh terhadap ketersediaan kandungan SOC, iklim utama yang paling berpengaruh adalah curah hujan, selain iklim kondisi tanah dan penutupan lahan juga berpengaruh terhadap kandungan SOC di dalam tanah (Sukmawati, 2006).

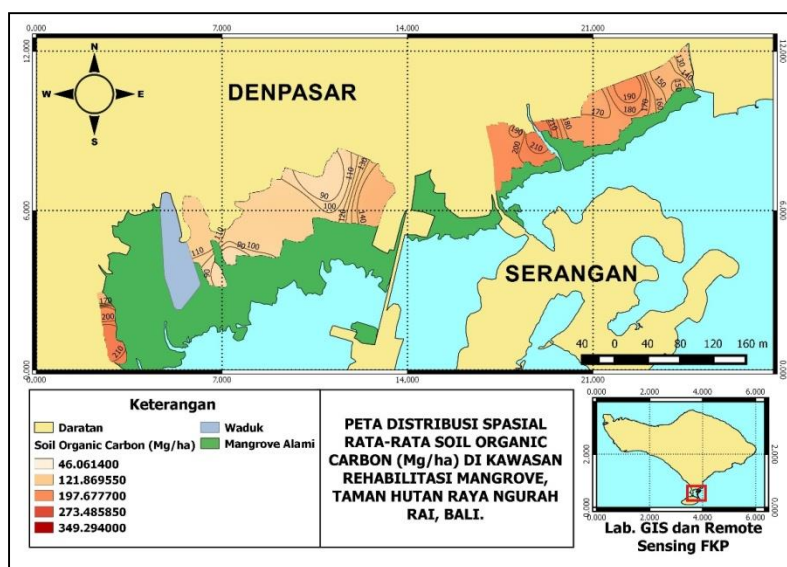
Tanah memiliki kandungan karbon yang menggambarkan seberapa besar tanah dapat mengikat CO<sub>2</sub> dari udara. Kandungan karbon dapat diartikan yaitu banyaknya karbon yang mampu diserap dan disimpan oleh tanah dalam bentuk bahan organik dalam tanah. Karbon tersebut akan menjadi energi bagi organisme tanah dan sebagai sumber masukan kedalam struktur tanah. Jumlah dan dinamika SOC di tanah sangat berbeda dalam jenis mangrove yang berbeda, terutama yang di pengaruhi oleh gradien pasang surut, usia hutan mangrove, biomassa dan produktivitas, serta sebagai komposisi jenis dan sedimentasi materi diabaikan (Cerón-Breton *et al.*, 2011; Khan *et al.*, 2007; Gleason dan Ewel, 2002).

Pada Gambar 6, terlihat kandungan rata – rata karbon organik tanah pada setiap kedalaman berbeda. Dari hasil rata – rata pada kedalaman 0-15 cm sebesar 123.503 ± 37.281 Mg ha<sup>-1</sup>, kedalaman 15-30 cm sebesar 120.313 ± 47.279 Mg ha<sup>-1</sup>, kedalaman 30-50 cm sebesar 131.684 ± 50.685 Mg ha<sup>-1</sup>, kedalaman 50-100 cm sebesar 254.029 ± 60.502 Mg ha<sup>-1</sup>, dan kedalaman 100-110 m sebesar 123.708 ± 40.027 Mg ha<sup>-1</sup>. Kandungan tertinggi terletak pada kedalaman 50-100 cm dikarenakan pada kedalaman ini sampel yang diambil lebih banyak dari pada sampel kedalaman lainnya. Pada kedalaman 50-100 cm juga rata-rata ditemukan adanya akar. Akar merupakan salah satu bahan organik yang ada di dalam tanah, akar diduga berperan dalam menyumbangkan kandungan karbon organik di dalam tanah. Pada kedalaman 50-100 cm akar ditemukan pada titik 1, titik 2, titik 6, titik 13, titik 14, titik 19, dan titik 20. Kandungan karbon organik tanah memiliki peranan penting dalam menekan terjadinya perubahan iklim, semakin meningkatnya kandungan karbon organik tanah semakin besar tanah itu dapan menyimpan CO<sub>2</sub> dari udara dalam bentuk bahan organik di dalam tanah. Kandungan karbon organik tanah dapat diduga dari kepadatan karbon organik didalam tanah. Semakin meningkatnya kepadatan karbon organik tanah di ikuti dengan meningkatnya kandungan karbon organik tanah.



Gambar 6. Grafik rata-rata soil organic carbon perkedalaman

Distribusi spasial rata-rata kandungan SOC disajikan pada Gambar 7. Diketahui bahwa kandungan SOC rata-rata bervariasi mulai dari 83.046 Mg ha<sup>-1</sup> hingga 216.168 Mg ha<sup>-1</sup>. Kandungan SOC terendah ditemukan di kawasan penelitian Desa Pemogan dan Desa Pedungan, sedangkan kandungan SOC tertinggi berada di kawasan penelitian Desa Tuban, Desa Sesetan dan Desa Sidakarya. Semakin besar nilai kandungan bahan organik, maka kandungan karbon organik yang tersimpan juga semakin besar, sedangkan kandungan karbon didalam tanah yang rendah dapat dikarenakan kandungan bahan organik yang ada didalam tanah rendah. Pada kawasan Desa Tuban, Desa Sesetan dan Desa Sidakarya kandungan karbon organik tinggi diduga ada pengaruh dari aliran sungai dan jenis mangrove yang ditemukan. Sungai mengalir air membawa input dari daratan menuju lautan yang disaring terlebih dahulu oleh ekosistem mangrove. Oleh sebab itu ekosistem mangrove dan tanah pada ekosistem mangrove sering ditemukan sampah organik maupun sampah anorganik. Sampah tersebut dapat terendapkan di dalam tanah dan mempengaruhi karakteristik dari tanah mangrove tersebut.



Gambar 7. Peta distribusi rata-rata terhadap kedalaman SOC

Menurut Lunstrum dan Chen (2014) konsentrasi C tanah (%C) dan konten dapat meningkat secara signifikan di hutan bakau muda diikuti mangrove rehabilitasi. Persentase kandungan karbon dalam tanah, rata-rata berkisar antara 52.37 % hingga 55.71 %. Jika di dibandingkan dengan penelitian Dharmawan dkk (2014) di Pesisir Timur Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau diperoleh kandungan karbon tersimpan dalam tanah yaitu 34.1% - 60.1%. Penelitian lain oleh Mahasani dkk (2015) menemukan stok karbon dalam tanah di kawasan mangrove Perancak berkisar 45.63% - 52.26% dari keseluruhan karbon yang tersimpan dalam ekosistem.

Simpanan karbon di dalam tanah rata-rata berkisar antara 83.046 Mg ha<sup>-1</sup> hingga 216.168 Mg ha<sup>-1</sup> hasil yang diperoleh cukup kecil dibandingkan dengan hasil penelitian Taberima *et al.* (2014) di Papua (Bintuni, Teminabua dan Timika) mendapatkan hasil masing-masing sebesar 103.2 Mg ha<sup>-1</sup>, 964.9 Mg ha<sup>-1</sup>, dan 674.9 Mg ha<sup>-1</sup>. Sedangkan dibandingkan dengan hasil penelitian lain Mahasani dkk (2015) di kawasan mangrove Perancak diperoleh sebesar 184.618 Mg ha<sup>-1</sup>. Total simpana karbon pada kawasan mangrove rehabilitasi TAHURA Ngurah Rai Bali kurang lebih 42.625.842,79 Mg C. Total simpanan karbon di dalam tanah yang didapat cukup kecil dibandingkan dengan hasil penelitian Widayantari (2013) di lokasi yang sama di peroleh 57.458.918,73 ton C dengan densitas sebesar 41.833,94 ± 26.035,54 ton C/ha. Banyak faktor yang mempengaruhi simpanan SOC di dalam tanah, baik faktor lingkungan seperti pemanfaatan lahan dan faktor fisika-kimia tanah (tekstur, pori-pori, bulk density, suhu, pH, tekstur, dan lain-lain).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Total karbon organik pada kawasan rehabilitasi mangrove Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali kurang lebih 42,625,842.79 Mg C dengan luas area 318.559 ha.
2. Rata – rata karbon organik secara vertikal pada kawasan rehabilitasi mangrove Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali berfluktuasi, pada lapisan permukaan (0-15 cm) nilai karbon organik sebesar 123.503 ± 37.281 Mg ha<sup>-1</sup>, pada lapisan kedua (15-30 cm) nilai karbon organik sebesar 120.313 ± 47.279 Mg ha<sup>-1</sup>, pada lapisan ketiga (30-50 cm) nilai karbon organik sebesar 131.684 ± 50.685 Mg



ha<sup>-1</sup>, pada lapisan keempat (50-100 cm) nilai karbon organik sebesar 254.029 ± 60.502 Mg ha<sup>-1</sup>, dan pada lapisan terakhir (>100 cm) nilai karbon organik sebesar 123.708 ± 40.027 Mg ha<sup>-1</sup>.

Berdasarkan hasil yang diperoleh selama pelaksanaan penelitian ada beberapa saran yang diajukan yaitu:

1. Sebaiknya pengukuran karbon organik pada tanah dilakukan secara berkelanjutan untuk mengetahui bagaimana perubahan penyimpanan karbon secara temporal.
2. Perlu ada parameter pendukung, seperti pengukuran tekstur tanah dan parameter lingkungan untuk memperkuat data yang diperoleh.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Nuryani Widagti, M.Si. dan Bu Nur Hayati yang selalu memberikan saran dan masukan dalam pembuatan jurnal ilmiah ini. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada Kepala Lab. Ilmu Kelautan, FKP UNUD dan Kepala Lab. Tanah, Fakultas Pertanian UNUD yang telah bersedia membantu dalam penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Afiati, R. N., Rustam, A., Kepel, T. L., Sudirman, N., Astrid, M., Daulat, A., Suryono, D. D., Puspitaningsih, Y., Mangindaan, P., & Hutahaean, A. (2014). Karbon Stok dan Struktur Komunitas Sebagai Blue Carbon di Kepulauan Derawan, Kalimantan Timur. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Terbaik Tahun 2014*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan.
- Alongi, D. M. (2012). Carbon Sequestration in Mangrove Forests. *Carbon Manage*, 3, 313-322.
- Cahyaningrum S. T., Hartoko A., & Suryanti (2014). Biomassa Karbon Mangrove Pada Kawasan Mangrove Pulau Kemujan Taman Nasional Karimunjawa. *Diponegoro Journal of Maquares. Management of Aquatic Resources*, 3, No 3, 34-42.
- Cerón-Bretón, J.G., Cerón-Bretón, R.M., Rangel-MAarrón, M., Muriel-García, M., Cordova-Quiroz, A.V., & Estrella-Cahuich, A. (2011). Determination of carbon sequestration rate in soil of a mangrove forest in Campeche, Mexico. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 7, 55–64.
- Chan, K. Y. (2008). Increasing soil organic carbon of agricultural land. (*PrimeFact 735*). New South Wales: NSW Department of Primary Industries.
- Chan, K. Y., Cowie, A., Kelly, G., Singh, B., & Slavich, P. (2008). Scoping paper-soil organic carbon sequestration potential for agriculture in NSW. *DPI Science & Research Technical Paper*.
- Daniel, C. D., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4, 293–297.
- Dharmawan, I. W. E., Ulumudin, Y. I., & Afdal. Estimasi Stok Karbon Di Ekosistem Mangrove Pesisir Timur Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau. *Oseanologi dan Limologi di Indonesia*. Vol. 40, No.3, 267-281.
- Dorji, T., Odeh, I. O. A., & Field, D. J. (2014). Vertical Distribution of Soil Organic Carbon Density in Relation to Land Use/Cover, Altitude and Slope Aspect in the Eastern Himalayas. *Land*. 3. 1234-1250.
- Gleason, S. M., & Ewel, K. C. (2002). Organic matter dynamics on the forest floor of a Micronesian mangrove forest: an investigation of species composition shifts. *Biotropica*, 34, 190–198.
- Hermawan, A. R., Pribadi, R., & Ario, R. (2014). Struktur dan Komposisi Vegetasi Mangrove Alami di Kawasan Ekowisata Taman Hutan Raya Ngurah Rai, Bali. *Journal of Marine Research*, 3(4), 405-414.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (2014). Coastal Blue Carbon: *Methods for Assessing Carbon Stocks and Emission Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrass Meadows*. Conservation Internasional, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Internasional Union for Conservastion of Nature. Virginia, USA.
- Jobbagy E. G., & Jackson R. B. (2000). The Vertical Distribution of Soil Organic Carbon and ITS Relation to Climate and Vegetation. *Ecological Applications. The Ecological Society of America*, 10(2), 423-436.
- Kauffman, J. B. & Donato, D. (2012). *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests*. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Khan, Md. N. I., Suwa, R., & Hagihara, A. (2007). Carbon and nitrogen pools in a mangrove stand of *kandelia obovata* (S.,L.) Yong: vertical distribution in the soil-vegetation system. *Wetlands Ecol. Manage*, 15, 141–153.

- Kitamura, S., Anwar, C., Chaniago, A. & Baba, S. (1997). Buku Panduan Mangrove Indonesia, Bali dan Lombok. Proyek Pengembangan Manajemen Mangrove Berkelanjutan. Departemen Kehutanan Republik Indonesia dan Japan Internasional Cooperation Agency.
- Kushartono, E. W. (2009). Beberapa aspek bio-fisika kimia tanah di daerah mangrove desa pasar banggi kabupaten rembang. *Ilmu Kelautan*, 14(2), 76-83.
- Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220, 242-258.
- Liu, H., et al. (2014). Carbon stocks and potential carbon storage in the mangrove forests of China. *Journal of Environmental Management*, 133, 86-93.
- Lunstrum, A. & Chen, L. (2014). Soil carbon stocks and accumulation in young mangrove forests. *Soil Biology & Biochemistry*. 75, 223-232.
- Mahasani, I. G. A. I., Widagti, N., & Karang, I. W. G. A. (2015). Estimasi persentase karbon organik di hutan mangrove bekas tambak, Perancak, Jembrana, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 1, 14-18.
- Markewich, H. W. & Buell, G. R. (2001). *A Guide to Potential Soil Carbon Sequestration Land-Use Management for Mitigation of Greenhouse Gas Emissions*. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey.
- Novario, D. (2007). *Distribusi Spasial C-Organik Tanah Di Wilayah Sekitar Puncak dan Cianjur*. [Skripsi]. Program Studi Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rusdiana, O. & Lubis, R. S. (2012). Pendugaan korelasi antara karakteristik tanah terhadap cadangan karbon (carbon stock) pada hutan sekunder. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 03, 14-21.
- Santoso, N., Nurcahaya, B. C., Siregar, A. F., & Farida, I. (2005). *Resep Makanan Berbahan Baku Mangrove dan Pemanfaatan Nipah*. Lembaga Pengkajian dan Pengembangan Mangrove. ISBN: 979-3667-15-X.
- Sari, N. W. V. (2002). *Pengelolaan Sampah Di Kawasan Hutan Mangrove Suwung Teluk Benoa Sebagai Upaya Kebersihan Lingkungan Dan Pengembangan Ekowisata Mangrove*. [Skripsi]. Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Konsentrasi Perencanaan Lingkungan. Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro, Semarang. 146 hal.
- Sugirahayu, L. (2011). *Perbandingan Simpanan Karbon Pada Beberapa Penutupan Lahan Di Kabupaten Paser, Kalimantan Timur Berdasarkan Sifat Fisik dan Sifat Kimia Tanahnya*. [Skripsi]. Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. 62 hal.
- Sukmawati, N. (2006). *Analisis Distribusi C Organik Tanah Di Wilayah Sekitar Bogor*. [Skripsi]. Program Studi Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 67 hal.
- Taberima, S., Nugroho, Y. D., & Murdiyarto, D. (2014). The Distribution of Carbon Stock in Selected Mangrove Ecosystem of Wetlands Papua: Bintuni, Teminabuan, and Timika Eastern Indonesia. *Internasional Conference on Chemical, Environment & Biological Sciences*. Kuala Lumpur (Malaysia).
- Utami N. H. (2009). *Kajian Sifat Fisik, Sifat Kimia dan Sifat Biologi Tanah Pasca Tambang Galian C Pada Tiga Penutupan Lahan (Studi Kasus Pertambangan Pasir (Galian C) di Desa Gumulung Tonggoh, Kecamatan Astanajapura, Kabupaten Cirebon, Provinsi Jawa Barat)*. [Skripsi]. Departemen Silvikultur. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Widagti, N., Trityulianti, I., & Manessa, M. D. M. (2011). Changes in density of mangrove forest in Nusa Lembongan, Bali. *Proceeding of the 2<sup>ND</sup> cresos international symposium on South East Asia environmental problems and satellite remote sensing*. Denpasar, Bali-Indonesia, 21 – 22 February 2011. Hal. 171-176.
- Widyantari, I. A. D. (2013). *Potensi Simpanan Karbon di Kawasan Rehabilitasi Mangrove Taman Hutan Raya Ngurah Rai, Bali*. [Skripsi]. Di dalam Skripsi, Jurusan Konservasi Sumber Daya Hutan. Fakultas Kehutanan. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.