

PROFIL AKUMULASI SEDIMEN DI AREA RESTORASI MANGROVE, TELUK LEMBAR PULAU LOMBOK

SEDIMENT ACCUMULATION PROFILE IN MANGROVE RESTORATION AREA OF LEMBAR BAY-LOMBOK ISLAND

Mohammad Sumiran Papatungan¹, Alan Frendy Koropitan^{2*},
Tri Prartono², dan Ali Arman Lubis³

¹Program Pascasarjana Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Institut Pertanian Bogor

*E-mail: alan@ipb.ac.id

³Pusat Penelitian Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Teknologi Atom Nasional

ABSTRACT

Mangrove restoration is really needed for restoring its ecosystem functions, so that it could be able to support fisheries activity and to protect coastal by extreme weather. In addition, mangrove is able to accumulate sediment that important in protecting the coastal area from sea level rise. Therefore, the aim of this study is to investigate sediment accumulation rate in mangrove area during post restoration. Sampling location were divided into three different stations based on estimated restoration ages, such as ≥ 15 years old (Station 1), 4 - 10 years old (Station 2) and 2 - 8 years old (Station 3). Sediment cores were carried out by inserting 7.6 cm diameter and 100 cm length of polyvinyl chloride pipes. Sedimentation rate is measured by using Pb-210 radionuclide analysis. The results show that the sediment accumulation rate in the last 20th years from all station ranges from 0.17 to 0.42 g/cm²/year. The highest accumulation rate is found at oldest year old station while the lowest accumulation rate is found at younger year old station of mangrove restoration area. Restoration process is clearly able to recover the mangrove's role in trapping sediment in coastal region.

Keywords: *sediment accumulation, mangrove restoration, Lembar Bay-Lombok Island,*

ABSTRAK

Restorasi mangrove sangat diperlukan untuk mengembalikan fungsi-fungsi ekosistemnya, sehingga mampu menunjang aktivitas perikanan dan melindungi pesisir dari cuaca esktrim. Mangrove mampu mengakumulasi sedimen yang bermanfaat bagi perlindungan area pesisir dari kenaikan muka air laut. Untuk itu, studi ini bertujuan untuk mengkaji laju akumulasi sedimen di area mangrove pasca restorasi. Lokasi pengambilan sampel dibagi menjadi 3 stasiun berdasarkan umur restorasi, yaitu umur ≥ 15 tahun (Stasiun 1), umur 4 - 10 tahun (Stasiun 2) dan umur 2-8 tahun (Stasiun 3). Pengambilan inti sedimen dilakukan dengan menggunakan pipa *polyvinyl chloride* yang berdiameter 7,6 cm dan panjang 100 cm. Laju sedimentasi diukur dengan menggunakan analisis radionuklida Pb-210. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata laju akumulasi sedimen dalam 20 tahun terakhir dari seluruh stasiun berkisar antara 0,17 - 0,42 g/cm²tahun. Laju sedimentasi tertinggi terdapat di stasiun restorasi yang berumur paling tua sedangkan laju sedimentasi terendah berada di stasiun restorasi termuda. Proses restorasi secara jelas mampu mengembalikan peran mangrove dalam memerangkap sedimen di area pesisir.

Kata kunci: akumulasi sedimen, restorasi mangrove, Teluk Lembar-Pulau Lombok

I. PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan hutan pesisir tropis dengan produktivitas

tinggi yang memberikan jasa ekosistem yang sangat baik diantaranya adalah produksi perikanan, peredaran nutrient, dan jasa wisata lingkungan (Donato *et al.*, 2011; Bouillon *et*

al., 2008; Murdiyarso *et al.*, 2015), selain itu ekosistem mangrove dapat membentuk lapisan tanah vertikal melalui akumulasi sedimen dan kontribusi langsung dari pasokan bahan organik ke tanah (Lee *et al.*, 2014; Hogarth, 2015; Smoak *et al.*, 2012). Hal ini menjadi penting karena salah satu dampak dari pemanasan global adalah peningkatan muka air laut (*sea level rise*) yang disebabkan oleh ekspansi termal dan pencairan gletser dan es kutub (IPCC, 2007). Wilayah pesisir dapat berdampak besar dengan meningkatnya area tergenang, proses erosi, dan pencemaran air tanah oleh air laut sebagai akibat peningkatan muka air laut, terutama di Asia Selatan, Asia Timur dan Asia Tenggara yang berpenduduk padat di wilayah pesisir (Nicholls and Cazenave, 2010; IPCC, 2007).

Beberapa penelitian terkini telah membuktikan mangrove mampu mengakumulasi sedimen secara alami. Smoak *et al.* (2012) menunjukkan laju sedimentasi yang berkisar 5,9-6,5 mm/tahun di mangrove Taman Nasional Everglades Florida. Penelitian di negara yang sama namun berbeda lokasi yaitu di mangrove Teluk Naples menunjukkan laju sedimentasi 2,7 mm/tahun (Marchio *et al.*, 2016). Perbedaan laju sedimentasi pada kedua lokasi tersebut diduga disebabkan oleh faktor lokal. Akumulasi sedimen di mangrove Florida yang tinggi di Taman Nasional Everglades diduga disebabkan oleh pengaruh badai yang membawa material sedimen dari luar ekosistem mangrove dan kemudian terakumulasi di dalam ekosistem (Smoak *et al.*, 2012), selain itu mangrove di Taman Nasional Everglades memiliki pohon-pohon berdiameter lebih besar (2 - 60 cm) dibandingkan dengan pohon-pohon di Teluk Naples yang rata-rata berdiameter 1,4 - 25 cm (Smoak *et al.*, 2012; Marchio *et al.*, 2016).

Indonesia memiliki ekosistem mangrove terluas di dunia (Giri *et al.*, 2011), sehingga area pesisirnya memiliki potensi

besar untuk beradaptasi terhadap dampak pemanasan global. Namun, luasnya berkurang sangat cepat dibandingkan mangrove di negara-negara lain dalam 3 dekade dari tahun 1980-2005 (Murdiyarso *et al.*, 2015). Hal ini dapat mengganggu fungsi alami mangrove, salah satunya adalah menyebabkan penurunan kemampuan ekosistem sebagai perangkap sedimen (Lee *et al.*, 2014). Oleh karena itu restorasi mangrove di Indonesia sangat dibutuhkan. Restorasi ini bertujuan untuk memperbaiki biodiversitas mangrove yang terdegradasi dan mengembalikan fungsi dan jasa ekosistem mangrove (Ferreira *et al.*, 2015; Holl and Aide, 2011).

Kajian profil sedimentasi di ekosistem mangrove di Indonesia masih terbatas terutama di area pasca restorasi. Studi laju sedimentasi di ekosistem mangrove di Indonesia telah dilakukan oleh Sidik *et al.* (2016) di Muara Sungai Porong menggunakan metode pin erosi (*sediment erosion pins*) dan kronologi sedimentasi terbatas pada waktu yang singkat yaitu 2010-2011. Studi ini difokuskan pada area pasca restorasi di pesisir Teluk Lembar, Dusun Cemare, Kabupaten Lombok Barat. Analisis sedimentasi pada studi ini menggunakan analisis isotop stabil Pb-210 yang memiliki waktu paruh 22,3 tahun dan dapat menggambarkan kronologi sedimentasi pada interval waktu tertentu hingga 150 tahun ke masa lampau (Sanchez-Cabeza *et al.*, 1993; Masque *et al.*, 2002; Lubis *et al.*, 2007).

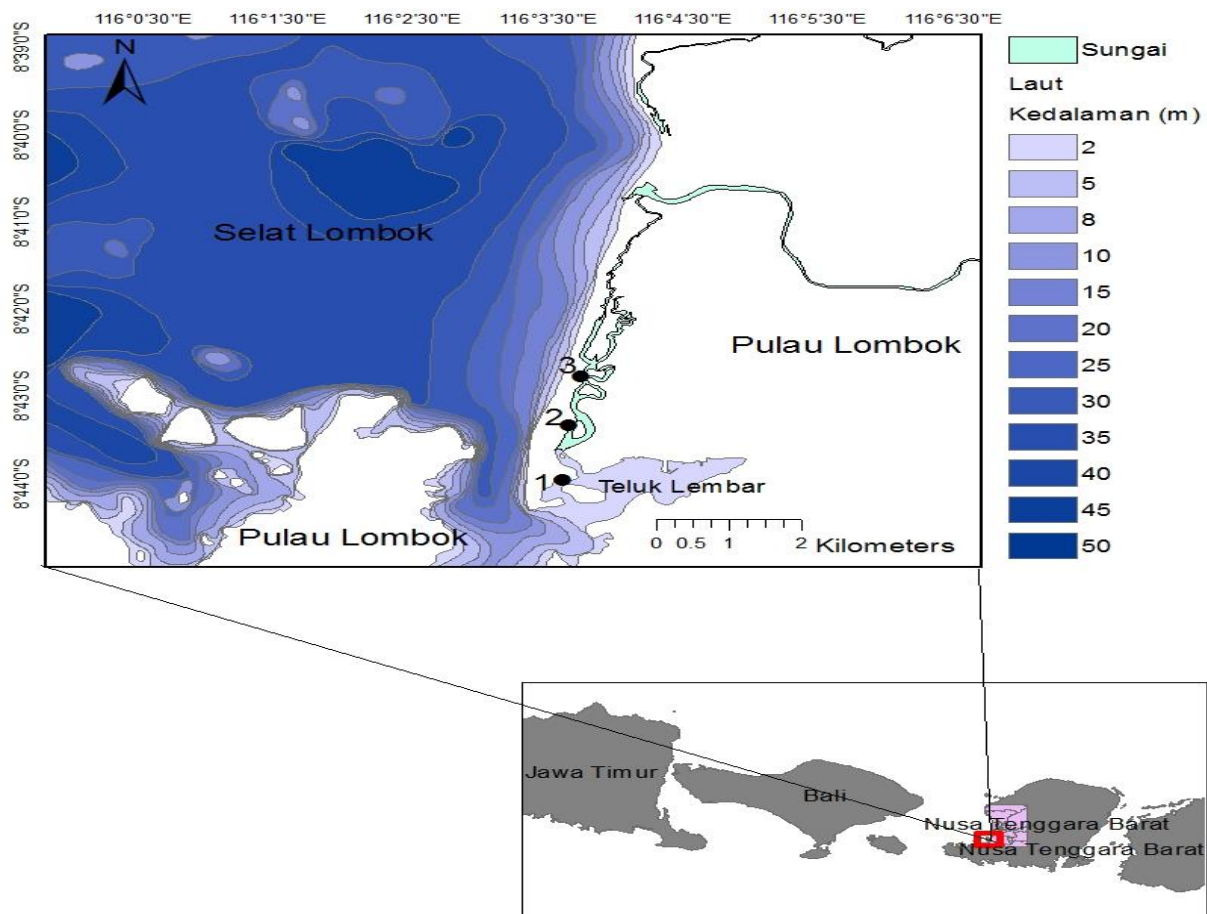
Berdasarkan informasi masyarakat di sekitar lokasi studi yang terlibat dalam kegiatan restorasi mangrove bahwa area restorasi mangrove di daerah tersebut terbagi menjadi beberapa area yang memiliki kisaran umur restorasi yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji laju akumulasi sedimen di area pasca restorasi dengan maksud untuk melihat peran restorasi dalam mengembalikan jasa ekosistem mangrove sebagai perangkap alami partikel sedimen.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 11-13 Februari 2016 di area restorasi mangrove di pesisir Teluk Lembar, Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat yang terbagi menjadi 3 stasiun (Gambar 1). Titik pengambilan sampel berada pada lokasi mangrove yang memiliki umur restorasi yang berbeda. Berdasarkan informasi yang didapat dari masyarakat di sekitar lokasi studi, mangrove di Stasiun 1 diperkirakan berumur ≥ 15 tahun sedangkan Stasiun 2 diduga berumur 4-10 tahun dan Stasiun 3 diduga

berumur 2-8 tahun. Lokasi mangrove tersebut masih dipengaruhi oleh pasang surut. Berdasarkan pengukuran nilai salinitas dengan menggunakan *Digital Conductivity Meter* bahwa Stasiun 1 memiliki salinitas tertinggi yaitu 30 *psu*, sedangkan Stasiun 2 dan Stasiun 3 memiliki salinitas lebih rendah, masing-masing adalah 27 *psu* dan 24 *psu*. Hal ini mengindikasikan bahwa Stasiun 1 lebih mendapat pengaruh perairan laut dibandingkan dengan Stasiun 2 dan 3. Lokasi area studi berada pada koordinat $8^{\circ}42'47,40''\text{LS}$ dan $116^{\circ}3'43,69''\text{BT}$ sampai $8^{\circ}43'58,09''\text{LS}$ dan $116^{\circ}3'36,00''\text{BT}$.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel. Warna putih merupakan area darat, warna biru muda merupakan aliran sungai dan warna biru bervariasi merupakan nilai kedalaman perairan laut.

(Sumber: Modifikasi peta Badan Informasi Geospasial)

2.2. Pengambilan dan Penanganan Sampel

Pengambilan sampel di masing-masing stasiun dilakukan pada saat kondisi surut terendah (Gambar 2) Transek yang mempunyai lingkaran berdiameter 7 m dibuat pada tiap stasiun untuk mengidentifikasi spesies mangrove yang mendominasi, menghitung desitas mangrove, mengukur diameter batang pohon atau *diameter at breast height* (DBH) dan mengambil sampel sedimen (Kauffman *et al.*, 2011; Kauffman and Donato, 2012). Struktur komunitas mangrove dianalisis berdasarkan identifikasi spesies, densitas mangrove dan pengukuran DBH pada seluruh pohon yang memiliki tinggi lebih dari 130 cm (Marchio *et al.*, 2016; Kauffman *et al.*, 2011).

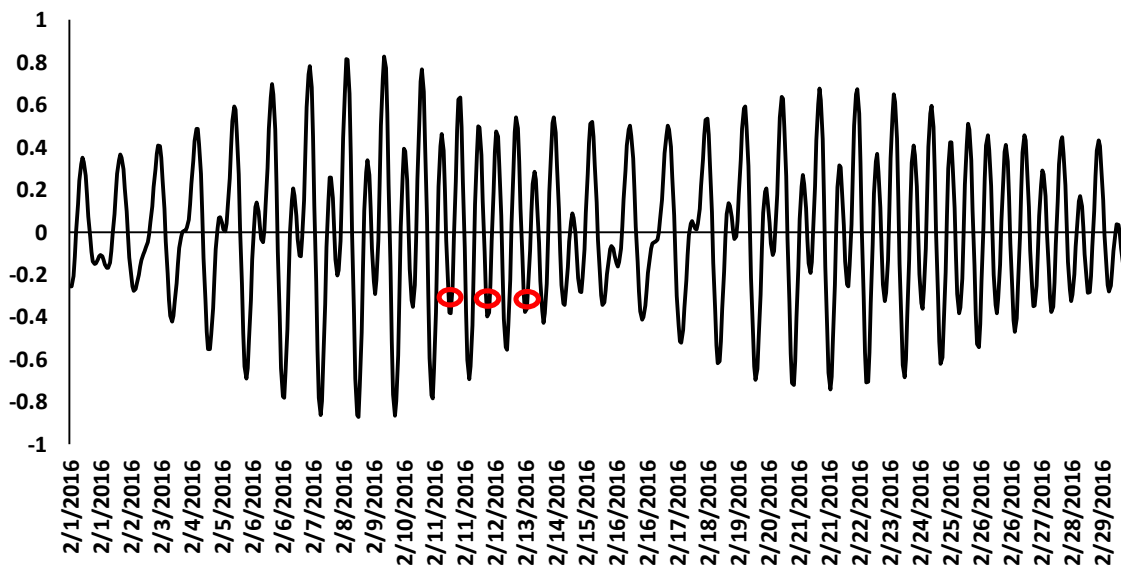
Sampel sedimen diambil dengan menggunakan pipa *polyvinyl chloride* (PVC) berdiameter 7,6 cm dan panjang 100 cm di sekitar titik pusat transek. Pipa PVC ditancapkan ke sedimen dengan bantuan *auger* yang di modifikasi untuk membantu memotong akar pada saat penetrasi ke lapisan sedimen bawah. Profil kedalaman sedimen yang terambil di Stasiun 1 adalah 55 cm, Stasiun 2 adalah 55 cm dan Stasiun 3

adalah 45 cm. Hasil pengambilan sampel vertikal sedimen kemudian diiris dengan interval 2 cm untuk lapisan 0-30 cm dan interval 5 cm untuk lapisan 30-55 cm sebagai sub-sampel. Tiap subsampel ditempatkan di *cool box* pada suhu 4°C setelah dikemas ke dalam plastik klip selama perjalanan ke laboratorium (Sanchez-Cabeza *et al.*, 1999). Sesaat setelah di laboratorium, tiap sub-sampel dikeringkan di oven pada suhu 60°C hingga mencapai berat kering yang stabil (Marchio *et al.*, 2016). Tiap subsampel sedimen dilakukan analisis Pb-210 dan ukuran butir sedimen.

2.3. Estimasi Umur Sedimen dan Laju Sedimentasi

Sebanyak 5 gram tiap subsampel sedimen kering ditambahkan larutan standar Po-209 sebanyak 0,169 Bq sebagai *internal tracer* yang mana Po-209 dan Po-210 diasumsikan dalam keadaan setimbang di sedimen (Masque *et al.*, 2002).

Kemudian dilakukan proses destruksi bahan organik dengan mengikuti prosedur yang dijelaskan oleh Sanchez-Cabeza *et al.* (1993) dan Sanchez-Cabeza *et al.* (1999).



Gambar 2. Data prediksi pasang surut di area studi pada bulan Februari 2016 (Prediksi pasut BIG, 2016). Lingkaran merah merupakan waktu pengambilan sampel.

Aktivitas Po-209 dan Po-210 dihitung melalui proses pencacahan dengan menggunakan alfa spektrometer (*spectrometer alpha*) dengan area 450 mm², resolusi 20 keV pada kondisi vakum, dan energy yang digunakan adalah 4,88 MeV untuk Po-209 dan 5,305 MeV untuk Po-210 (Lubis *et al.*, 2007; Bakar *et al.*, 2011; Sanchez-Cabeza *et al.*, 1999). Pb-210 *unsupported* yang digunakan untuk mengukur umur sedimen tiap lapisan merupakan selisih antara Pb-210 total dan Pb-210 *supported*. Proses pengukuran aktivitas Pb-210 dilakukan di Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi-Badan Teknologi Atom Nasional (PAIR-BATAN) Indonesia.

Estimasi umur sedimen tiap sub-sampel sedimen dihitung dengan menggunakan model *constant rates of supply* (CRS) (Appleby and Oldfield, 1978). Model ini mengasumsikan bahwa suplai Pb-210 *unsupported* di sedimen tiap interval waktu dalam keadaan konstan.

Konsentrasi Pb-210 *unsupported* terhadap kedalaman sedimen tidak menurun secara monoton dan nilai Pb-210 berlebih dipengaruhi oleh proses sedimentasi (Appleby and Oldfield, 1978; Boer *et al.*, 2006). Metode ini telah digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya mengenai laju sedimentasi di ekosistem mangrove (Smoak *et al.*, 2012; Marchio *et al.*, 2016). Persamaan dari model CRS dalam menentukan umur sedimen adalah sebagai berikut:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan = A: Pb-210 *unsupported* di bawah interval kedalaman tertentu (Bq/m²); A₀: total Pb-210 *unsupported* dari kedalaman sampel *core* (Bq/m²); λ: konstanta laju peluruhan Pb-210 (0,0311/tahun); t: umur (tahun). Laju akumulasi sedimen tiap sub-sampel sedimen dihitung dengan menggunakan persamaan (2) (Boer *et al.*, 2006).

$$S = \frac{\lambda A}{Pb_{us}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan S: laju akumulasi sedimen (g.cm²/tahun); λ: konstanta laju peluruhan Pb-210 (0,0311/tahun); Pb_{us}: Pb-210 *unsupported* tiap lapisan sedimen (Bq/kg); A: Pb-210 *unsupported* dibawah interval kedalaman tertentu (Bq/m²).

2.4. Ukuran Butir Sedimen

Pengukuran ukuran butir sedimen dilakukan untuk melihat sebaran ukuran diameter butir sedimen berdasarkan tiga fraksi yaitu pasir (*sand*), lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) (Xue *et al.*, 2009; Kurnia *et al.*, 2006). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode pipet di Laboratorium Fisika Balai Penelitian Tanah Cimanggu, Bogor. Proses perombakan bahan organik dengan menggunakan larutan H₂O₂ dilakukan terhadap sub-sampel sebelum pengukuran fraksi sedimen (Kurnia *et al.*, 2006; Sanders *et al.*, 2010).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Struktur Komunitas Mangrove

Jenis mangrove yang ditemukan di area studi adalah *Rhizophora stylosa*, *Sonneratia alba*, *Avicennia lanata* dan *Rhizophora apiculata*. Spesies mangrove yang mendominasi Stasiun 1, 2 dan 3 adalah *R. stylosa* dengan jumlah individu yang ditemukan lebih banyak dibandingkan dengan spesies lain (Tabel 1). Total densitas pohon secara berurutan pada Stasiun 1, Stasiun 2 dan Stasiun 3 adalah 5979 individu/ha, 3120 individu/ha dan 845 individu/ha. Densitas mangrove secara berurutan menurun dari Stasiun 1 yang merupakan lokasi restorasi mangrove tertua hingga Stasiun 3 yang merupakan lokasi restorasi mangrove muda.

Sebaran DBH mangrove menunjukkan Stasiun 1 memiliki lebih banyak jumlah pohon berdiameter besar (DBH >5 cm) dibandingkan dengan Stasiun 2 dan 3 (Tabel 1). Stasiun 3 cenderung didominasi oleh pohon-pohon kecil (DBH <2 cm) atau semai. Hal ini disebabkan oleh Stasiun 1 merupakan

wilayah restorasi yang lebih lama dibandingkan dengan Stasiun 2 dan 3 dan Stasiun 3 merupakan wilayah restorasi yang masih baru.

Mangrove hasil restorasi menunjukkan DBH lebih kecil dibandingkan dengan mangrove alami (Ferreira *et al.*, 2015; Proffit and Devlin, 2005) namun mangrove hasil restorasi memiliki densitas yang lebih tinggi (Proffit and Devlin, 2005). Hal tersebut terlihat juga dalam hasil studi ini dimana DBH pohon semakin besar dari Stasiun 3 yang merupakan area restorasi mangrove termuda hingga Stasiun 1 yang merupakan lokasi restorasi mangrove tertua. Penelitian sebelumnya oleh Ferreira *et al.* (2015) menunjukkan densitas yang lebih tinggi ditemukan pada mangrove hasil restorasi yang memiliki DBH lebih besar dibandingkan dengan lokasi mangrove yang memiliki DBH kecil. Hasil yang sama ditunjukkan oleh kondisi mangrove di area studi yang mana Stasiun 1 yang memiliki DBH besar memiliki densitas yang tinggi dibandingkan dengan Stasiun 3 yang memiliki DBH kecil.

Sebaran DBH yang berbeda diantara ketiga stasiun tersebut mengindikasikan perbedaan sebaran biomassa pohon. Hal ini disebabkan oleh semakin bertambah umur pohon maka DBH pohon semakin besar dan kemudian meningkatkan biomassa pohon (Alongi, 2002). Stasiun 1 yang memiliki pohon-pohon yang besar dan lebih padat (Tabel 1) mengindikasikan biomassa yang tinggi pada bagian atas pohon (AGB) dan pada akar (BGB) dibandingkan dengan Stasiun 2 dan 3. Stasiun 3 yang banyak didominasi oleh pohon-pohon yang kecil dengan kepadatan paling rendah dibandingkan Stasiun 1 dan 2 (Tabel 1) diduga memiliki biomassa AGB dan BGB yang paling rendah. Indikasi perbedaan biomassa vegetasi pada ketiga stasiun merupakan indikasi awal perbedaan laju sedimentasi. Vegetasi mangrove melalui sistem perakaran berperan penting dalam proses sedimentasi (Mahmood *et al.*, 2005; Twilley *et al.*, 1992).

Tabel 1. Densitas mangrove berdasarkan spesies dan DBH (individu/ha).

Struktur Pohon	St 1	St 2	St 3
Spesies Mangrove			
<i>R. stylosa</i>	5979	2860	780
<i>S. alba</i>	-	130	-
<i>A. lanata</i>	-	-	65
<i>R. apiculata</i>	-	130	-
Total densitas	5979	3120	845
DBH			
<2 cm	650	1040	1560
2-5 cm	4355	2535	390
5-10 cm	1625	585	455

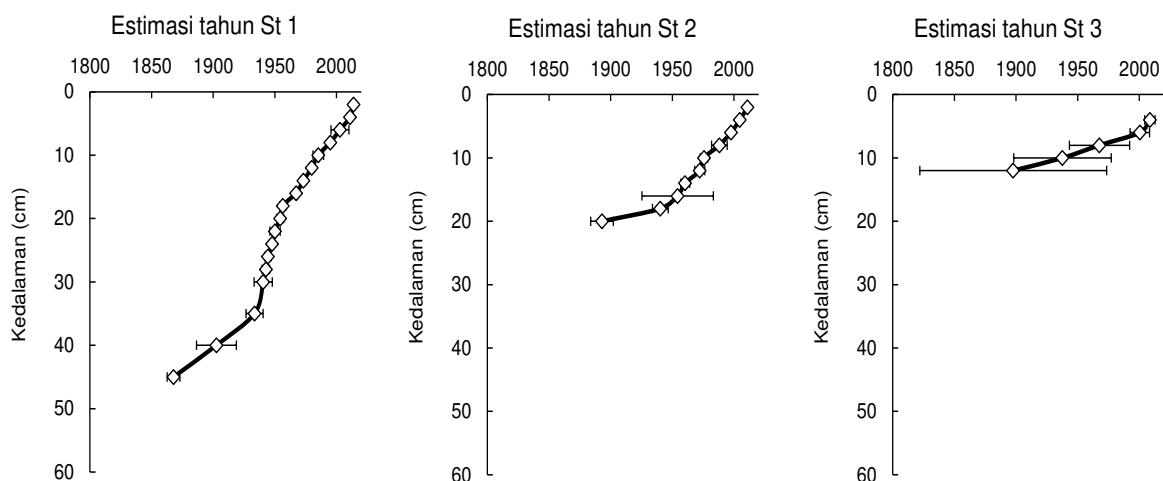
* - Spesies tidak ditemukan.

3.2. Estimasi Waktu Pengendapan Sedimen dan Laju Sedimentasi

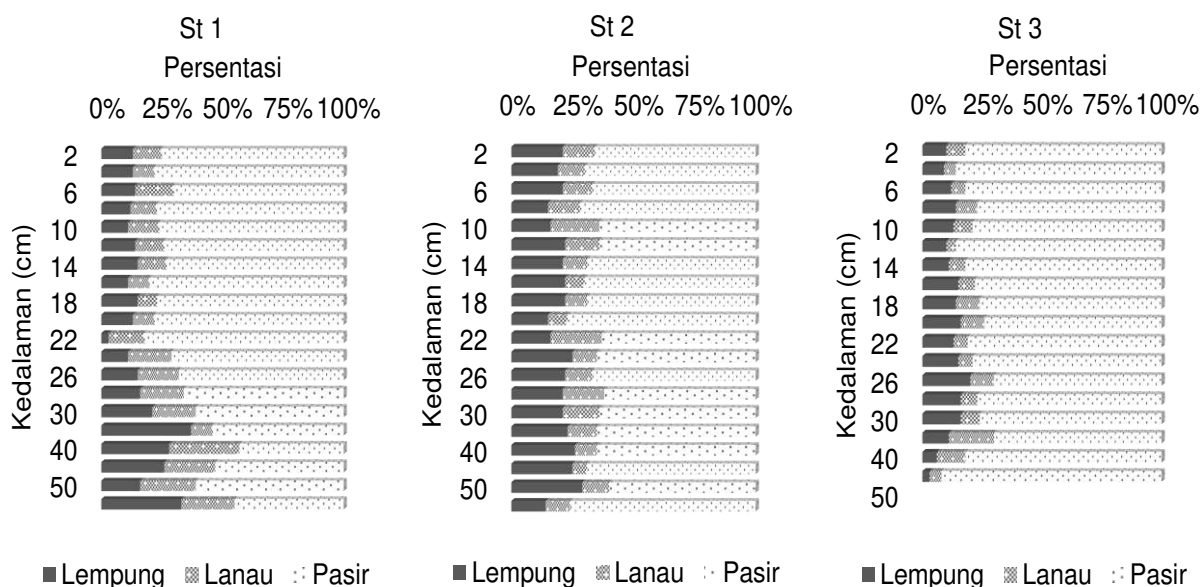
Estimasi waktu pengendapan sedimen pada profil vertikal sedimen di Stasiun 1, 2 dan 3 secara berurutan dapat dihitung hingga kedalaman 45 cm, 20 cm, dan 12 cm (Gambar 3). Waktu pengendapan semakin bertambah (tua) dengan bertambahnya kedalaman sedimen. Waktu pengendapan sedimen pada Stasiun 3 menunjukkan ketidakpastian (*uncertainty*) nilai yang cukup besar pada kedalaman 8-12 cm yang ditunjukkan oleh simpangan baku (nilai *error bars*) yang lebar (Gambar 3). Nilai ketidakpastian tersebut merupakan nilai ketidakpastian hasil perhitungan aktivitas total Pb-210 di Stasiun 3 yang menunjukkan nilai Pb-210 yang menyebar (*scatter*). Hal ini diduga berkaitan dengan profil vertikal sedimen di Stasiun 3 cenderung berpasir (Gambar 4). Menurut Jeter (2000) nilai Pb-210 yang menyebar sering berkaitan dengan lapisan berpasir yang dihasilkan oleh energi erosi yang besar. Nilai Pb-210 yang menyebar tersebut kemudian menyebabkan nilai ketidakpastian laju sedimentasi besar dan hal ini terlihat pada proses laju akumulasi sedimen di Stasiun 3 (Gambar5). Hasil perhitungan laju akumulasi sedimen (Gambar5) di Stasiun 1, 2 dan 3 memperlihatkan ketidakpastian nilai yang signifikan besar di Stasiun 3 yaitu 53,78-

55,04 % dibandingkan dengan Stasiun 1 dan 2 yang secara berurutan adalah 13,48-44,53 % dan 9,73-15,60 %. Laju akumulasi sedimen di Stasiun 1 menunjukkan adanya sedimentasi tertinggi pada tahun 1868-1943 yaitu 0,44 g/cm²tahun (Gambar 5). Hal ini diduga disebabkan oleh kondisi mangrove yang alami dan memiliki vegetasi yang padat

pada periode tersebut. Laju sedimentasi menurun pada periode tahun 1944-1985 menjadi 0,37 g/cm²tahun yang diduga ada pengaruh dari proses deforestasi yang terjadi pada periode tersebut. Degradasi mangrove tersebut dapat menurunkan proses akumulasi sedimen di ekosistem mangrove (Lee *et al.*, 2014).



Gambar 3. Estimasi waktu pengendapan tiap lapisan kedalaman sedimen (cm) pada 3 stasiun yang berbeda yaitu St 1, 2 dan 3. Nilai *error bars* merupakan nilai ketidakpastian (*uncertainty*) dari perhitungan aktivitas total Pb-210.

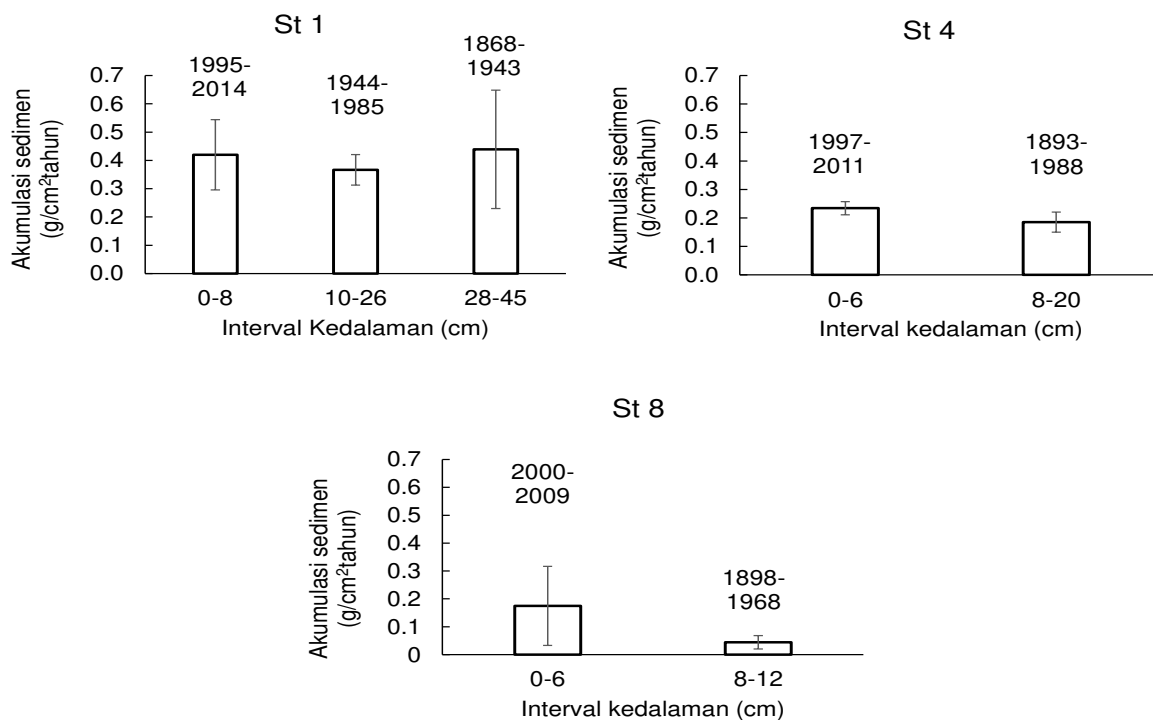


Gambar 4. Konsentrasi (%) ukuran butir sedimen pasir, lanau dan lempung di Stasiun 1, 2 dan 3 terhadap kedalaman sedimen (cm).

Laju sedimentasi dalam periode tahun 1995-2014 (lapisan permukaan) meningkat menjadi $0,42 \text{ g/cm}^2\text{tahun}$ sebagai indikasi adanya pengaruh dari restorasi mangrove. Pengaruh restorasi terlihat juga di Stasiun 2 dan 3, dimana laju akumulasi sedimen meningkat dari lapisan bawah ke lapisan permukaan sedimen yang menggambarkan kondisi terkini.

Rata-rata laju akumulasi sedimen (dari seluruh interval waktu pengendapan) tertinggi berada di Stasiun 1 yaitu $0,40 \pm 0,11 \text{ g/cm}^2\text{ tahun}$ dan kemudian diikuti Stasiun 2 dan 3 yang secara berurutan nilainya adalah $0,20 \pm 0,03 \text{ g/cm}^2\text{ tahun}$ dan $0,11 \pm 0,07 \text{ g/cm}^2\text{ tahun}$. Pasang surut diduga memengaruhi sedimentasi yang tinggi di Stasiun 1 yang diduga memiliki waktu pengendapan yang lebih lama dibandingkan dengan Stasiun 2 dan 3. Hal ini disebabkan lokasi Stasiun 1 berada lebih dekat dengan pengaruh perairan laut (Gamabr 1). Pasang

surut merupakan faktor utama yang memengaruhi proses sedimentasi di ekosistem mangrove (Wolanski, 1995; Mahmood *et al.*, 2005; Alongi, 2012). Frekuensi pengendapan oleh air pasang dapat memengaruhi proses akumulasi sedimen yang mana mangrove yang terletak di area intertidal yang tinggi memiliki pasokan partikel sedimen yang lebih rendah dibandingkan dengan mangrove yang terletak dekat dengan pengaruh langsung perairan laut atau zona intertidal rendah (Alongi, 2012). Sebagian besar proses sedimentasi terjadi ketika air menjadi tenang (*slack water*) di saat sekitar waktu pasang tertinggi (Van Santen *et al.*, 2007). Kondisi tenang memudahkan partikel sedimen yang tersuspensi dan membentuk agregasi (*flocs*) besar mengendap atau terdeposisi ke permukaan sedimen mangrove dan akar mangrove memainkan peran penting terhadap intensitas sedimentasi (Fukurawa and Wolanski, 1996).



Gambar 5. Rata-rata laju akumulasi sedimen ($\text{g/cm}^2\text{tahun}$) di stasiun 1, 2 dan 3 berdasarkan interval kedalaman sedimen (cm). Label menunjukkan interval umur sedimen. Nilai *error bars* merupakan nilai ketidakpastian (*uncertainty*) dari perhitungan aktivitas total Pb-210.

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya (Lynch *et al.*, 1989; Van Santen *et al.*, 2007; Marchio *et al.*, 2016) laju sedimentasi di ekosistem mangrove tidak hanya tinggi di wilayah tepi yang berbatasan langsung dengan perairan laut, namun ekosistem mangrove yang berada di area sungai juga berpotensi memiliki laju akumulasi sedimen yang tinggi. Penelitian sedimentasi Van Santen *et al.* (2007) di estuari Sungai Red Vietnam dengan metode yang sama menunjukkan laju sedimentasi di area pohon-pohon mangrove kecil lebih tinggi dibandingkan dengan area mangrove yang padat dan terdiri dari pohon-pohon besar.

Laju akumulasi sedimen pada musim kering di area pohon-pohon mangrove kecil berkisar antara 4.57 - 7.38 g/cm² tahun, sedangkan sedimentasi di area pohon-pohon besar berkisar 0.37 - 4.06 g/cm² tahun. Hal ini diduga disebabkan oleh kondisi mangrove kecil yang berada di pinggir sungai dan dipengaruhi proses erosi yang terjadi di bagian pinggir sungai (Van Santen *et al.*, 2007). Penelitian lain di lokasi mangrove Muara Sungai Porong oleh Sidik *et al.* (2016) dengan menggunakan metode pin erosi menunjukkan laju sedimentasi yang tinggi yaitu 10 cm/tahun di tahun 2010 - 2011 sebagai akibat pasokan partikel lumpur Sidoarjo yang tinggi yang terbawa aliran sungai. Dengan demikian laju sedimentasi di ekosistem mangrove juga dipengaruhi oleh input material dari daratan (Sidik *et al.*, 2016).

Lokasi mangrove di area studi dilalui oleh aliran sungai namun alirannya tidak berasal dari wilayah daratan (Gambar 1 **Error! Reference source not found.**). Diduga pasokan material sedimen yang berasal dari darat dan terbawa aliran sungai tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap sedimentasi di lokasi mangrove area studi. Hal ini terlihat dari rendahnya laju akumulasi sedimen di Stasiun 2 dan Stasiun 3 (Gambar 5) yang dilewati aliran sungai (Gambar 1). Dengan demikian proses res-

torasi diduga memainkan peran penting terhadap proses sedimentasi di area studi. Penelitian tambahan pengukuran isotop stabil C-13 dan N-15 yang bertujuan untuk melihat sumber sedimen yang terdeposisi di area studi (Sidik *et al.*, 2016) perlu dilakukan.

3.3. Fungsi Restorasi Mangrove Terhadap Sedimentasi

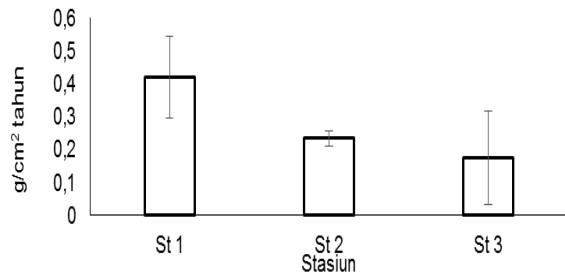
Berdasarkan informasi masyarakat sekitar area studi, proses restorasi mangrove telah berlangsung sekitar 15 tahun. Stasiun 1 merupakan area restorasi tertua sedangkan Stasiun 3 merupakan area restorasi termuda. Tujuan utama dari proses restorasi adalah untuk mengembalikan keberadaan ekosistem yang terdegradasi termasuk peran dan jasa ekosistemnya (Holl and Aide, 2011; Ferreira *et al.*, 2015).

Berdasarkan estimasi waktu proses sedimentasi dalam 20 tahun terakhir dengan menggunakan analisis Pb-210, rata-rata laju akumulasi sedimen di area studi secara spasial berkisar antara 0,17-0,42 g/cm²tahun (Gambar 6). Stasiun 1 yang merupakan restorasi berumur lebih tua dan memiliki pohon-pohon besar yang lebih banyak dan padat (Tabel 1) memiliki laju akumulasi yang tinggi.

Laju akumulasi lebih rendah di Stasiun 2 dan 3 yang merupakan area restorasi lebih baru dengan berkurangnya kehadiran pohon-pohon yang besar (DBH >5 cm) dan densitas mangrove. Dengan demikian umur restorasi mangrove berpengaruh terhadap proses sedimentasi di area studi, sehingga proses restorasi menunjukkan mampu mengembalikan fungsi mangrove sebagai perangkap alami sedimen.

Sistem perakaran mangrove memiliki peran penting dalam proses akumulasi partikel sedimen (Mahmood *et al.*, 2005; Twilley *et al.*, 1992; Hogarth, 2015). Ekosistem mangrove yang didominasi jenis *Rhizophora sp* yang memiliki sistem perakaran yang kompleks dapat menyebabkan perlambatan arus dan menyebabkan kondisi

tenang pada saat pasang (Fukurawa and Wolanski, 1996).



Gambar 6. Rata-rata laju akumulasi sedimen di stasiun 1, 2 dan 3 berdasarkan umur sedimen dalam 15-20 tahun terakhir. Nilai *error bars* merupakan nilai ketidakpastian (*uncertainty*) dari perhitungan total Pb-210.

Penelitian terkini oleh Herison *et al.* (2014) di ekosistem mangrove pesisir Pantai Indah Kapuk menunjukkan semakin padat ekosistem maka semakin besar reduksi energi gelombang laut di wilayah pesisir yang melewati ekosistem mangrove. Hal ini kemudian membantu proses deposisi partikel sedimen di ekosistem mangrove (Fukurawa and Wolanski, 1996; Van Santen *et al.*, 2007). Akar mangrove juga memiliki fungsi menjaga kestabilan tanah mangrove sehingga mampu mencegah terjadinya erosi yang disebabkan oleh arus dan gelombang (Hogarth, 2015; Van Santen *et al.*, 2007).

Mangrove mengakumulasi partikel sedimen yang berasal dari luar ekosistem maupun dari dalam ekosistem berupa bahan organik mangrove (Lee *et al.*, 2014; Sidik *et al.*, 2016). Hal ini mengindikasikan bahwa laju sedimentasi tinggi di Stasiun 1 diduga mendapat kontribusi dari laju akumulasi bahan organik di Stasiun 1 yang diduga tinggi. Alongi (2009) menyatakan terdapat hubungan korelasi antara kandungan bahan organik di sedimen dengan umur vegetasi pada mangrove jenis *R. apiculata* yaitu semakin bertambah umur mangrove dapat meningkatkan simpanan karbon di sedimen. Stasiun 1 yang memiliki jumlah pohon

berdiameter besar lebih banyak dibandingkan dengan Stasiun 2 dan 3 diduga memiliki akumulasi bahan organik yang tinggi di sedimen. Proses restorasi mangrove sangat berpengaruh terhadap proses sedimentasi di area studi. Penelitian tambahan pengukuran konsentrasi karbon organik di sedimen perlu dilakukan untuk membuktikan dugaan tersebut.

IV. KESIMPULAN

Laju sedimentasi di area restorasi dalam 20 tahun terakhir berkisar 0,17-0,42 g/cm²tahun dengan laju tertinggi berada di Stasiun 1 yang merupakan lokasi restorasi yang berumur paling tua sedangkan laju terendah berada di Stasiun 3 yang merupakan lokasi restorasi yang masih baru. Proses restorasi mangrove di area studi mampu mengembalikan fungsi mangrove sebagai perangkap sedimen di area pesisir. Penelitian tambahan analisis isotop stabil dan konsentrasi bahan organik di sedimen di area studi perlu dilakukan untuk menjelaskan lebih detail mengenai sumber sedimen yang terdeposisi di area studi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kajian ini merupakan bagian dari riset kerjasama antara Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan (PKSPL) IPB dan Palang Merah Indonesia yang didukung oleh *American Red Cross*. Proses pengambilan sampel di lapangan dapat terlaksana dengan baik atas bantuan para staf dan relawan Palang Merah Indonesia Lombok dan peneliti mangrove PKSPL IPB.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D.M. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Enviro Conserv.*, 29(3):331-349.
- Alongi, D.M., 2009. The energetics of mangrove forests. Springer. Australia. 216p.

- Alongi, D.M., 2012. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carb Manag.*, 3(3):313-322.
- Appleby, P.G., and F. Oldfield. 1978. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *Catena*, 5:1-8.
- Bakar, Z.A., A. Saat, Z. Hamzah, A.K. Wood, and Z. Ahmad. 2011. Sedimentation rate and chronology of As and Zn in sediment of a recent former tin mining lake estimated using Pb-210 dating technique. *Malay J. Anal Sci.*, 15(2):150-158.
- Boer, W., G.D. van den Bergh, H. de Haas, H.C. de Stigter, R. Gieles, and Tj.C.E. van Weering. 2006. Validation of accumulation rates in Teluk Banten (Indonesia) from commonly applied ^{210}Pb models, using the 1883 Krakatau tephra as time marker. *Mar Geol.*, 227: 263-277.
- Bouillon, S., A.V. Borges, E. Castaneda-Moya, K. Diele, T. Dittmar, N.C. Duke, E. Kristensen, S.Y. Lee, C. Marchand, J.J. Middelburg, V.H. Rivera-Monroy, T.J. Smith III, R.R. Twilley. 2008. Mangrove production and carbon sinks: a revision of global budget estimates. 46p. *Global Biogeochem Cy.*, doi:10.1029/2007GB003052.
- Donato, C.D., J.B. Kauffman, D. Murdiyarso, S. Kurnianto, M. Stidham, and M. Kanninen. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nat Geosci.*, doi:10.1038/NNGEO01123.
- Ferreira, A.C., G. Canade, and J.L. de Attayde. 2015. Restoration versus natural regeneration in a neotropical mangrove: effects on plant biomass and crab communities. *Ocean Coast Manage*, 110:38-45.
- Fukurawa, K., and E. Wolanski. 1996. Sedimentation in mangrove forests. *Mangrove and Salt Marshes*, 1(1):3-10.
- Giri, C., E. Ochieng, L.L. Tieszen, Z. Zhu, A. Singh, T. Loveland, J. Masek, and N. Duke. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Eco Biogeogr.*, 20:154-159.
- Herison, A., F. Yulianda, C. Kusmana, I.W. Nurjaya, and L. Adrianto. 2014. Wave attenuation using the mangrove *Avicenia marina* as an element of waterfront construction. *Asian J Sci Res.*, 7:162-175.
- Hogarth, P.J. 2015. The Biology of Mangroves and Seagrasses. 3rd Edition. Oxford University Press. United Kingdom. 289p.
- Holl, K.D., and T.M. Aide. 2011. When and where to actively restore ecosystems?. *Forest Ecol Manag.* 261:1558-1563.
- IPCC. 2007. Causes of change. Climate change 2007: Synthesis Report. Spain. 73p.
- Jeter, H.W. 2000. Determining the ages of recent sediments using measurements of trace radioactivity. *Terra et Aqua*, 78:21-28.
- Kauffman, J.B., C. Heider, T.G. Cole, K.A. Dwire, and D.C. Donato. 2011. Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests. *Wetlands*. 31:343-352
- Kauffman, J.B., and D.C. Donato. 2012. Protocols for The Measurements, Monitoring, and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stock in Mangrove Forests. Cifor. 40p.
- Kurnia, U., F. Agus, A. Adimihardja, and A. Darian. 2006. Sifat fisik tanah dan metode analisisnya. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Indonesia. 282p.
- Lee, S.Y., J.H. Primavera, F. Dahdouh-Guebas, K. McKee, J.O. Bosire, S. Cannicci, K. Diele, F. Fromard, N. Koedam, C. Marchand, I. Mendel-

- ssohn, N. Mukherjee, and S. Record. 2014. Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. *Global Ecol Biogeogr*, 23:726-743.
- Lubis, A. A., B. Aliyanta, and Y. Menry. 2007. Estimation of sediment accumulation rate in Jakarta Bay Using Natural Radionuclida Unsupported ^{210}Pb . *Indo J Chem*. 7:309-313.
- Lynch, J.C., J.R. Meriwether, B.A. Mckee, F. Vera-Herrera, and R.R. Twilley. 1989. Recent accretion in mangroves ecosystems based on ^{137}Cs and ^{210}Pb . *Estuaries*, 12(4):284-299.
- Mahmood, H., K. Misri, B.J. Sidik, and O. Saberi. 2005. Sediment accretion in a protected mangrove forests of Kuala Selangor, Malaysia. *Pak J. Biol Sci.*, 8(1):149-151.
- Marchio, D.A., M. Savarese, B. Bovard, and W.J. Mitsch. 2016. Carbon sequestration and sedimentation in mangrove swamps influenced by hydrogeomorphic conditions and urbanization in Southwest Florida. *Forests*, doi:10.3390/f7060116.
- Masque, P., E. Isla, J.A. Sanchez-Cabeza, A. Palanques, J.M. Bruach, P. Puig, and J. Guille. 2002. Sediment accumulation rates and carbon fluxes to bottom sediments at the Western Bransfield Strait (Antarctica). *Deep Sea Res A II.*, 49:921-933.
- McLeod, E., G.L. Chmura, S. Bouillon, R. Salm, M. Bjork, C.M. Duarte, C.E. Lovelock, W.H. Schlesinger, and B.R. Silliman. 2010. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO_2 . *Front Ecol Environ.*, doi:10.1890/110004.
- Murdiyarso, D., J. Purbopuspito, J.B. Kaufman, M.W. Warren, S.D. Sasmito, D.C. Donato, S. Manuri, H. Krisnawati, S. Taberima, and S. Kurnianto. 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nat Geosci.*, 5:1089-1092. doi:10.1038/NCLIMATE2734.
- Nicholls, R.J. and A. Cazenave. 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328:1517-1519.
- Prediksi Pasut BIG. 2016. Badan Informasi Geospasial, <http://tides.big.go.id/pasut>. [Diakses pada bulan Februari 2016].
- Proffitt, C.E., and D.J. Devlin. 2005. Long-term growth and succession in restored and natural mangroves forests in southwestern Florida. *Wetlands Ecol and Manag.*, (13): 531-551.
- Sanchez-Cabeza, J.A., P.M. Barri, W.R. Schell, A. Palanques, M. Valiente, C. Palet, R.P. Obiol, and J.P. Cano. 1993. Record of anthropogenic environmental impact north of Barcelona City. In: IAEA (ed). Isotope techniques in the study of past and current environmental changes in the hydrosphere and the atmosphere. Proceedings of A Symposium, IAEA, Vienna. 175-184pp.
- Sanchez-Cabeza, J.A., P. Masque, I. Aniragolta, J. Merino, M. Frignani, F. Alvisi, A. Palanques, and P. Puig. 1999. Sediment accumulation rates in the Southern Barcelona continental margin (NW Mediterranean Sea) derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology. *Prog Oceanogr.*, 44:313-332.
- Sanders, C.J., J.M. Smoak, A.S. Naidu, L.M. Sanders, and S.R. Patchineelam. 2010. Organic carbon burial in mangrove forest, margin and intertidal mud flat. *Estuar Coast Shelf S.*, 90:168-172.
- Sidik, F., D. Neil, and C.E. Lovelock. Effect of high sedimentation rates on surface sediment dynamics and mangrove growth in the Porong River, Indonesia. *Mar Pollut Bull*, 2016.
- Smoak, J.M., J.L. Breithaupt, T.J. Smith III, and C.J. Sanders. 2012. Sediment

- accretion and organic carbon burial relative to sea-level rise and storm events in two mangrove forests in Everglades National Park. *Catena*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.10.009>. [Retrieved on 10 October 2016].
- Twilley, R.R., R.H. Chen, and T. Hargis. 1992. Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. *Water Air Soil Poll.*, 64:265-288.
- Van Santen, P.V., P.G.E.F. Augustinus, B.M. Janssen-Stelder, S. Quartel, and N.H. Tri. 2007. Sedimentation in an estuarine mangrove system. *J. Asian Earth Sci.*, 29:566-575.
- Wolanski, E. 1995. Transport of sediment in mangrove swamps. *Hydrobiologia*, 295: 31-42.
- Xue B., C. Yan, H. Lu, and Y. Bai. 2009. Mangrove-derived organic carbon in sediment from Zhangjiang Estuary (China) mangrove wetland. *J. Coastal Res.*, 25:949-956.
- Diterima : 10 Maret 2017*
Direview : 6 April 2017
Disetujui : 20 Mei 2017

