

## HUBUNGAN ANTAR PARAMETER STRUKTUR TEGAKAN MANGROVE DALAM ESTIMASI SIMPANAN KARBON ABOVEGROUND PADA SKALA KOMUNITAS

### *RELATIONSHIP AMONG MANGROVE STAND STRUCTURE PARAMETERS IN ESTIMATING THE COMMUNITY SCALE OF ABOVEGROUND CARBON STOCK*

Anak Agung Eka Andiani<sup>1\*</sup>, I Wayan Gede Astawa Karang<sup>1</sup>, I Nyoman Giri Putra<sup>1</sup>, & I Wayan Eka Dharmawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Bali, 80361, Indonesia

<sup>2</sup> Pusat Penelitian Oseanografi (P2O), LIPI, Jakarta, 14430, Indonesia

\*E-mail: ekaandiani24@gmail.com

#### ABSTRACT

*Mangrove is one of coastal ecosystem which has a major role to sequester and store carbon. Mangrove stand structure delivers a significant contribution for estimating biomass carbon stock through individual scale allometric equations. On the other hand, the aboveground carbon research on the community scale was conducted in Teluk Benoa. The study aimed to establish a model for estimating mangrove aboveground carbon stock from the multiple variables of mangrove stand structure. A stratified purposive sampling method was applied for distributing quadratic samples. Three mangrove zones (1–3) were identified using mRE-SR (modified red edge-simple ratio) interpretation based on mangrove species domination. A common allometric equation was applied for estimating aboveground carbon stock. The result showed that mangrove stand structure in zone 1 was significantly different to other zones. Aboveground carbon stock was  $193.45 \pm 34.88$  tons C/ha on entire sites. It was found highest in zone 1 which was dominated by *Sonneratia alba*. The linear regression and Akaike's Information Criterion (AIC) analysis showed that the combination of canopy cover, tree density, sapling density and tree diameter became the best model in estimating carbon stock at the community scale. The multiple model had the highest regression coefficient and the lowest root mean square error (RMSE) value. We expect that the multiple variable model could be more efficient and accurate to estimate aboveground carbon stock on community scale.*

**Keywords:** *aboveground carbon stock, biomass, mangrove stand structure, model, zonation*

#### ABSTRAK

Mangrove merupakan ekosistem pesisir yang memiliki kemampuan sangat baik dalam menyerap dan menyimpan karbon. Struktur tegakan mangrove memberikan kontribusi signifikan terhadap estimasi simpanan karbon yang umumnya tergambarkan pada persamaan alometrik dalam skala individu. Penelitian simpanan karbon atas permukaan tanah (*aboveground*) pada komunitas mangrove telah dilakukan di mangrove Teluk Benoa. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model dalam mengestimasi simpanan karbon *aboveground* dari beberapa parameter struktur tegakan mangrove. Metode *stratified purposive sampling* digunakan dalam penentuan sebaran titik penelitian. Sebanyak tiga zona (1–3) diidentifikasi berdasarkan interpretasi analisis mRE-SR (*modified red edge-simple ratio*) dan jenis mangrove yang mendominasi. Estimasi simpanan karbon *aboveground* diperoleh dengan metode *non-destructive* menggunakan persamaan *common allometric*. Hasil penelitian menunjukkan struktur tegakan mangrove zona 1 cenderung berbeda signifikan dengan zona lainnya. Secara keseluruhan, rata-rata simpanan karbon *aboveground* sebesar  $193,45 \pm 34,88$  ton C/ha. Simpanan karbon *aboveground* tertinggi ditemukan pada zona 1 yang didominasi jenis *Sonneratia alba*. Analisis regresi linear dan *Akaike's Information Criterion* (AIC) menunjukkan bahwa kombinasi dari tutupan kanopi, kerapatan pohon, kerapatan pancang dan diameter pohon menjadi model terbaik dalam mengestimasi simpanan karbon pada skala komunitas. Model kombinasi ini memiliki nilai koefisien regresi tertinggi dan nilai *root mean squared error* (RMSE) terendah dibandingkan dengan model lainnya. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan dalam mengestimasi simpanan karbon secara lebih efisien dan akurat dalam skala komunitas.

**Kata kunci:** *biomassa, model, simpanan karbon aboveground, struktur tegakan mangrove, zonasi*

## I. PENDAHULUAN

Hutan mangrove merupakan ekosistem pesisir yang mampu menyimpan karbon tiga hingga empat kali lebih besar dibandingkan semua vegetasi tanaman lainnya (Kauffman & Donato, 2012). Hutan mangrove mampu menyerap sekitar 63% dari total emisi gas rumah kaca di atmosfer salah satunya karbon dioksida (Maher *et al.*, 2018). Besarnya kemampuan mangrove dalam menyimpan karbon menjadikannya sebagai ekosistem penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim (Heriyanto & Subiandono, 2016). Mangrove Indonesia dengan luas mencapai 3,1 juta ha mampu menyimpan karbon total sebesar 5,2 Gt dengan potensi penyerapan karbon sebesar 191,36 ton C/ha yang setara dengan penyerapan CO<sub>2</sub> sebesar 702,29 ton/ha (Maulana *et al.*, 2021).

Tumbuhan menyerap karbon di atmosfer melalui proses fotosintesis dan disimpan dalam bentuk biomassa (Istomo & Farida, 2017). Biomassa pohon dibedakan menjadi biomassa atas permukaan tanah dan biomassa bawah permukaan tanah yang menghasilkan karbon *aboveground* (Cag) dan karbon *belowground* (Cbg). Biomassa atas permukaan tanah meliputi bagian pohon yaitu daun, batang, ranting dan bunga sedangkan, biomassa bawah permukaan tanah meliputi akar. Proporsi terbesar dari simpanan karbon biomassa terdapat di atas permukaan tanah (Irawan & Purwanto, 2020). Besar kecilnya tingkat penyimpanan karbon biomassa *aboveground* dipengaruhi oleh beberapa faktor. Secara spasial faktor yang memengaruhi tingkat penyerapan karbon yaitu komposisi jenis, diameter tegakan, tinggi tegakan, kerapatan dan tutupan kanopi (Heriyanto & Subiandono, 2016; Taillardat *et al.*, 2018).

Penghitungan potensi simpanan karbon umumnya dilakukan dengan metode *non-destructive* dengan mengukur parameter struktur tegakan melalui pendekatan persamaan alometrik (Komiyama *et al.*, 2005; Mardiyah *et al.*, 2019). Persamaan

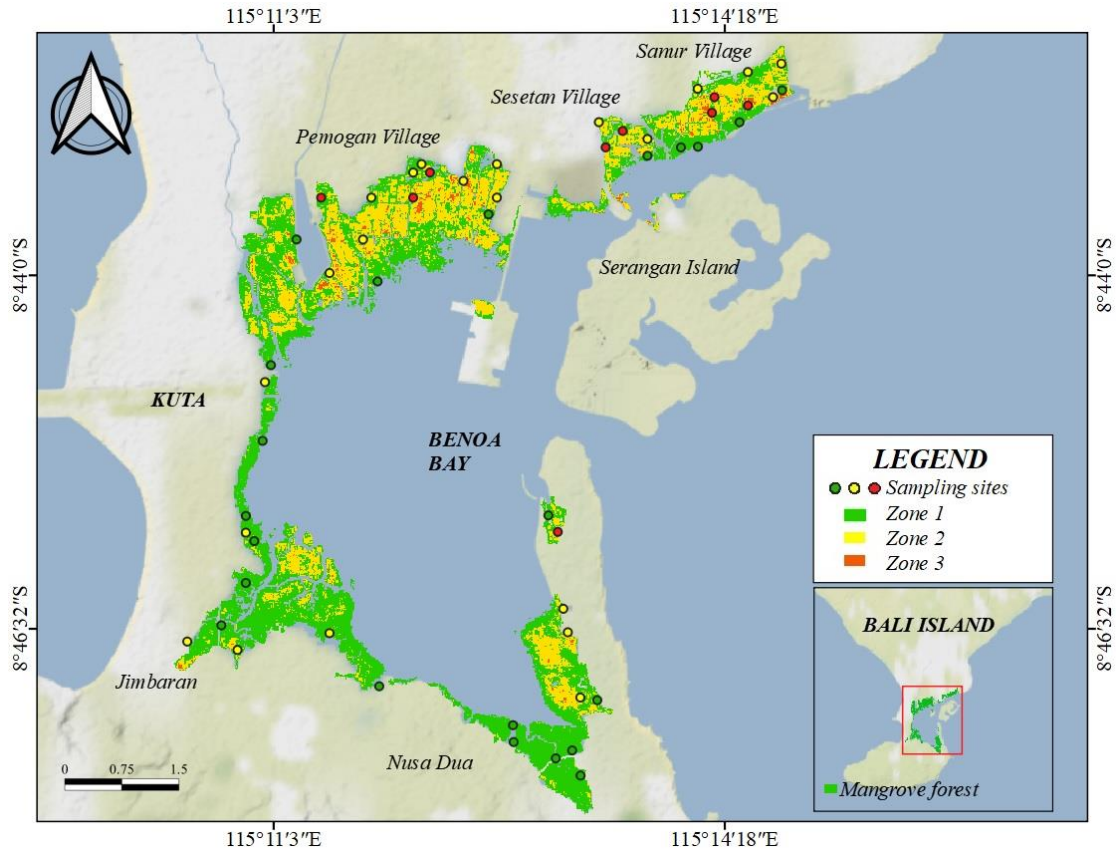
alometrik memiliki koefisien yang bervariasi untuk setiap spesies sehingga mampu menyebabkan adanya galat dalam mengestimasi biomassa (Daba & Soromessa, 2019). Saat ini secara individu persamaan umum yang digunakan untuk memperoleh biomassa didekati dengan persamaan alometrik yang didalamnya terdapat hubungan antara *diameter at breast height* (DBH) dan *wood density* (massa jenis kayu) dari setiap spesies tegakan. Pada skala komunitas ada beberapa faktor yang memengaruhi tingkat penyimpanan karbon yaitu parameter struktur tegakan mangrove (kerapatan, diameter tegakan, tinggi tegakan dan tutupan kanopi) (Heriyanto & Subiandono, 2016; Taillardat *et al.*, 2018).

Persamaan alometrik yang ada selama ini digunakan dalam skala individu tegakan dengan melibatkan ukuran morfometrik dari setiap tegakan. Pengukuran tersebut kurang efisien apabila diterapkan pada skala komunitas yang memiliki struktur tegakan yang berbeda-beda meliputi kerapatan, tinggi, diameter serta tutupan kanopi. Pendekatan yang lebih praktis perlu dikaji lebih mendalam dengan melibatkan hubungan antar parameter struktur tegakan mangrove dalam mengestimasi simpanan karbon pada skala komunitas. Tujuan penelitian ini yaitu untuk membangun model dalam mengestimasi simpanan karbon *aboveground* dari hubungan antar parameter struktur tegakan mangrove. Model yang dibangun diharapkan dapat secara praktis digunakan dalam mengestimasi simpanan karbon *aboveground* pada skala komunitas.

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada November 2020–Januari 2021 di kawasan ekosistem mangrove Teluk Benoa (Gambar 1). Penentuan lokasi titik pengambilan data dilakukan dengan metode *stratified purposive sampling* yang dibagi mejadi tiga zona. Klasifikasi zona ditentukan dari



Gambar 1. Distribusi 53 Titik Pengambilan Data yang tersebar pada tiga zona penelitian.

analisis citra satelit Sentinel-2A dengan formula mRE-SR (*Modified Red Edge-Simple Ratio*) (Pratama *et al.*, 2019), untuk mengidentifikasi kondisi variabilitas mangrove di lokasi penelitian. Studi pendahuluan dilakukan untuk mengetahui perbedaan kondisi zona berdasarkan komposisi jenis mangrove. Indikator yang menjadi pertimbangan dalam penentuan titik sampling adalah diameter tegakan, aksesibilitas untuk pengambilan data serta perbandingan luas. Zona 1 didominasi oleh *Sonneratia* dengan luas 398 ha menempati kawasan yang berbatasan dengan laut pada bagian utara Teluk Benoa dan berbatasan dengan darat di bagian selatan Teluk Benoa. Zona 2 memiliki komposisi jenis mangrove campuran dengan luas 554,34 ha menempati bagian yang lebih dalam dari zona 1. Zona 3 didominasi oleh kelompok *Rhizophora* yang sebagian besar tumbuh pada lahan bekas tambak seluas 156,17 ha.

## 2.2. Pengukuran Struktur Tegakan Mangrove

Parameter struktur tegakan mangrove yang dianalisis meliputi kerapatan pancang (diameter < 5 cm dengan tinggi > 1 m), kerapatan pohon (diameter  $\geq$  5 cm), tutupan kanopi serta ukuran morfometrik (tinggi dan diameter) dalam setiap plot pengukuran. Sebanyak 53 plot berukuran 10mx10m dibuat pada lokasi penelitian berdasarkan proporsi luasan setiap zona, aksesibilitas dan sumberdaya. Pengambilan data struktur tegakan mangrove dilakukan sesuai dengan pendekatan analisis struktur komunitas mangrove (Dharmawan *et al.*, 2020c). Lingkaran batang setinggi dada setiap tegakan pohon dan pancang diukur untuk mendapatkan diameter tegakan setinggi dada mengikuti persamaan 1. Setiap tegakan yang diukur kemudian diidentifikasi jenisnya berdasarkan buku identifikasi Tomlinson (2016).

$$DBH = \frac{GBH}{\pi}, \text{ dengan } \pi = 3,14 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan: *DBH* (*diameter at breast height*) adalah diameter tegakan pada ketinggian dada orang dewasa (cm), *GBH* (*girth at breast height*) adalah keliling batang atau lingkaran batang yang diukur pada ketinggian dada orang dewasa (cm), dan  $\pi$  adalah *phi* dengan nilai 3,14.

Metode *Hemispherical Photography* digunakan dalam menentukan persentase tutupan kanopi komunitas mangrove (Dharmawan, 2020). Sebanyak sembilan foto *hemisphere* diambil dengan menggunakan kamera ponsel pintar dengan rasio *output* 1:1. Foto dianalisis menggunakan perangkat lunak *ImageJ*. Tinggi tegakan diperoleh dengan menggunakan hubungan jarak pengukuran (*d*) yaitu 10 m, tinggi mata *observer* ( $H_0$ ) yaitu 163 cm dan sudut sorot pada puncak tertinggi ( $\theta$ ) (Dharmawan *et al.*, 2020c). Pengambilan data sudut sorot puncak dibantu menggunakan aplikasi *Protractor* yang telah dipasang dan dikalibrasi pada ponsel pintar. Persamaan dalam perhitungan tegakan mengikuti persamaan 2 dan 3.

$$H_1 = d \times \tan\theta \dots\dots\dots(2)$$

$$H = H_0 + H_1 \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan: *d* adalah hubungan jarak pengukuran (m),  $\theta$  adalah sudut sorot pada puncak tertinggi ( $^0$ ),  $H_0$  adalah tinggi mata *observer* (cm),  $H_1$  adalah ketinggian tegakan dari mata *observer* ke puncak tegakan (m), dan *H* adalah tinggi tegakan (m).

### 2.3. Pengukuran Simpanan Karbon *Aboveground*

Simpanan karbon diestimasi dari biomassa setiap tegakan. Biomassa *aboveground*, dihitung dengan metode *non-destructive* menggunakan persamaan alometrik umum (*common allometric equation*) yang melibatkan hubungan antara *diameter at breast height* dan massa jenis kayu ( $\rho$ ) persamaan 4 (Komiya *et al.*,

2005). Nilai massa jenis kayu tiap jenis mangrove mengacu pada ICRAF. Simpanan karbon *aboveground* mangrove dalam satuan ton C/ha, diestimasi dari 46,82% nilai biomasnya sesuai dengan persamaan 5 (Rahman *et al.*, 2020).

$$W_{top} = 0,251 \rho D^{2,46} \dots\dots\dots(4)$$

$$C_{top} = 46,82\% \times W_{top} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:  $W_{top}$  adalah biomassa *aboveground* (kg),  $\rho$  adalah massa jenis dari masing-masing spesies mangrove ( $g/cm^3$ ), *D* adalah *diameter at breast height* (cm) dan  $C_{top}$  adalah karbon *aboveground* (ton C/ha).

### 2.4. Analisis Data

Data univariat seperti kerapatan (pohon dan pancang), persentase tutupan kanopi, tinggi tegakan, diameter tegakan, dan simpanan karbon *aboveground* dianalisis secara deskriptif untuk mendapatkan nilai rata-rata dan standar deviasi. Nilai rata-rata keseluruhan dari struktur tegakan mangrove dan simpanan karbon *aboveground* diperoleh dengan mempertimbangkan proporsi dari luasan setiap zona. Normalitas dari distribusi data diuji dengan menggunakan *Shapiro-Wilk* (Basuki & Prawoto, 2015). Setelah data tersebar normal, maka variansi dan beda nyata dari rata-rata setiap variabel univariat antar zona dianalisis dengan *Analisis of Variance* (ANOVA) dan uji beda nyata *Tukey* menggunakan perangkat lunak R (Lubis, 2021).

Analisis regresi linear sederhana dilakukan untuk menganalisis hubungan simpanan karbon (y) dengan setiap parameter struktur tegakan mangrove (x) yaitu tutupan kanopi, tinggi, kerapatan dan diameter pada data yang telah tersebar normal. Analisis *Akaike's Information Criterion* (AIC) dilakukan untuk menganalisis model terbaik dalam mengestimasi simpanan karbon *aboveground* dengan parameter struktur tegakan mangrove menggunakan perangkat lunak R (Heumann *et al.*, 2017). Kecocokan

model regresi dapat dilihat dari koefisien determinasi semakin dekat dengan 1 maka semakin baik model regresinya (Basuki & Prawoto, 2015). Pada penelitian ini, dilakukan uji akurasi menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*) (Hamdanah & Fitriana, 2021).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Struktur Tegakan Mangrove

Ekosistem mangrove Teluk Benoa berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 Tahun 2004, masuk pada kategori padat dengan kerapatan  $\geq 1500$  tegakan/ha, dengan nilai rata-rata sebesar  $2995 \pm 572$  tegakan/ha (Tabel 1). Kerapatan pohon terendah ditemukan pada zona 1 sebesar  $1881 \pm 737$  tegakan/ha yang didominasi penuh oleh mangrove jenis *S. alba* dan berbeda signifikan dengan dua zona lainnya (ANOVA:  $p < 0,05$ ). Sementara itu, kerapatan pohon tertinggi ditemukan pada zona 3 sebesar  $4689 \pm 2353$  tegakan/ha dan tidak berbeda signifikan dengan zona 2 sebesar  $3318 \pm 1373$  tegakan/ha (ANOVA:  $p > 0,05$ ).

Hasil penelitian ini jauh lebih besar dibandingkan dengan mangrove di Merauke, Papua yang memiliki kategori kerapatan rapat/tinggi dengan rata-rata kerapatan pohon sebesar 1798 tegakan/ha (Siringoringo *et al.*, 2019); Kepulauan Kei, Maluku sebesar 1925 tegakan/ha (Prayudha *et al.*, 2019); Anambas sebesar 2916 tegakan/ha (Sari *et al.*, 2019); dan Wakatobi sebesar 2225 tegakan/ha (Satriya *et al.*, 2019). Aktivitas penebangan yang rendah serta program rehabilitasi mangrove di kawasan ekosistem mangrove Teluk Benoa menjadi faktor yang memengaruhi kerapatan tegakan pada kawasan ini.

Kerapatan pancang pada lokasi penelitian rata-rata sebesar  $901 \pm 307$  tegakan/ha (Tabel 1). Kerapatan pancang terendah ditemukan pada zona 1 sebesar  $386 \pm 310$  tegakan/ha dan berbeda signifikan dengan zona 3 sebesar  $767 \pm 1074$  tegakan/ha

(ANOVA:  $p < 0,05$ ). Sementara itu, kerapatan pancang tertinggi ditemukan pada zona 2 yang terdiri dari komposisi mangrove campuran sebesar  $1309 \pm 1292$  tegakan/ha.

Penelitian lainnya menunjukkan bahwa kerapatan pancang mangrove Teluk Benoa jauh lebih rendah dibandingkan dengan penelitian di kawasan mangrove lain seperti Anambas dengan rata-rata kerapatan pancang sebesar 2155 tegakan/ha (Sari *et al.*, 2019). Sementara itu, hasil ini jauh lebih besar dibandingkan penelitian di Ternate sebesar 731 tegakan/ha (Arbi *et al.*, 2018); dan Pulau Belitung bagian selatan sebesar 744 tegakan/ha (Suyarso *et al.*, 2018). Kerapatan yang rendah untuk kategori kerapatan pohon dan kerapatan pancang pada zona 1 dibandingkan zona 2 dan zona 3 pada lokasi penelitian berkaitan dengan jenis mangrove yang mendominasi yaitu mangrove jenis *S. alba* yang memiliki kemampuan mengeluarkan senyawa alelopati yang menghambat pertumbuhan tegakan lain disekitarnya sehingga jenis ini memiliki kecenderungan untuk tumbuh berjarak (Xin *et al.*, 2013).

Komunitas mangrove di Teluk Benoa memiliki diameter tegakan rata-rata  $10,85 \pm 2,06$  cm (Tabel 1). Diameter rata-rata tertinggi ditemukan pada zona 1 yang didominasi oleh mangrove jenis *S. alba* sebesar  $14,13 \pm 3,19$  cm dan berbeda signifikan dengan dua zona lainnya yaitu zona 2 dan zona 3 dengan nilai diameter tegakan masing-masing sebesar  $9,03 \pm 2,47$  cm dan  $8,96 \pm 1,90$  cm (ANOVA:  $p < 0,05$ ).

Rata-rata diameter tegakan di lokasi penelitian lebih rendah dibandingkan di Ternate sebesar  $16,63 \pm 1,73$  cm (Arbi *et al.*, 2018); Pulau Belitung bagian selatan sebesar  $15,46 \pm 1,92$  cm (Suyarso *et al.*, 2018); dan Pulau Middleburg-Miossu, Papua Barat sebesar  $12,83 \pm 2,78$  cm (Nurdiansah & Dharmawan, 2021). Zona dengan kerapatan tegakan yang tinggi (zona 3) cenderung memiliki diameter tegakan rata-rata terendah. Hal ini dikarenakan tingginya kerapatan berkaitan dengan adanya kompetisi tajuk

Tabel 1. Parameter struktur tegakan mangrove pada setiap zona di seluruh lokasi.

Parameter	Zona			Rata-rata
	1	2	3	
Kerapatan pohon (tegakan/ha)	1881±737 <sup>a</sup>	3318±1373 <sup>b</sup>	4689±2353 <sup>b</sup>	2995±572
Kerapatan pancang (tegakan/ha)	386±310 <sup>a</sup>	1309±1292 <sup>ab</sup>	767±1074 <sup>b</sup>	901±307
Diameter (cm)	14,13±3,19 <sup>a</sup>	9,03±2,47 <sup>b</sup>	8,96±1,90 <sup>b</sup>	10,85±2,06
Tinggi (m)	9,31±2,30 <sup>a</sup>	10,74±2,52 <sup>ab</sup>	12,22±1,68 <sup>b</sup>	10,44±1,83
Tutupan kanopi (%)	52,35±14,44 <sup>a</sup>	73,59±10,90 <sup>b</sup>	77,91±3,89 <sup>b</sup>	66,57±13,24

Keterangan: <sup>ab</sup> menunjukkan hasil *one way* ANOVA yang dilanjutkan dengan uji beda nyata *Tukey* (< 0,05). Huruf yang berbeda menunjukkan terdapat perbedaan statistik di antara lokasi pengambilan sampel.

yang akan berdampak pada terganggunya pertumbuhan lateral yaitu pertumbuhan diameter yang menjadi lambat (Syukri *et al.*, 2018). Istomo & Farida (2017), menyatakan bahwa semakin rapat tegakan maka diameter tegakan rata-rata akan lebih kecil begitu juga sebaliknya tegakan dengan kerapatan yang lebih jarang cenderung memiliki diameter tegakan rata-rata yang lebih besar. Pada penelitian Dharmawan *et al.* (2020a), juga ditemukan kondisi yang sama zona yang didominasi oleh mangrove jenis *S. alba* memiliki kerapatan yang rendah namun memiliki ukuran morfometrik yang relatif besar (diameter tegakan yang besar).

Zona 3 memiliki ukuran tegakan tertinggi dibandingkan dua zona lainnya yaitu dengan rata-rata ketinggian tegakan sebesar 12,22±1,68 m dan berbeda secara signifikan dengan zona 1 yang memiliki rata-rata tegakan terendah sebesar 9,31±2,30 m (ANOVA:  $p < 0,05$ ) (Tabel 1). Zona 2 dengan komposisi mangrove yang beragam memiliki rata-rata tinggi tegakan sebesar 10,74±2,52 m dan tidak ditemukan adanya perbedaan yang signifikan dengan zona 1 dan zona 3.

Hasil uji *Tukey* menunjukkan rata-rata tinggi tegakan zona 2 tidak memiliki perbedaan secara nyata dengan zona 1 dan zona 3 dikarenakan zona ini merupakan zona dengan komposisi mangrove campuran, adanya komposisi jenis yang beragam menyebabkan adanya variasi tinggi (Banjarnahor *et al.*, 2018). Rata-rata tinggi tegakan pada penelitian ini lebih rendah

dibandingkan penelitian di Merauke sebesar 12,29±0,60 m (Siringoringo *et al.*, 2019); Pulau Belitung bagian selatan sebesar 18,25±0,76 m (Suyarso *et al.*, 2018); dan Ternate sebesar 29,43±3,38 m (Arbi *et al.*, 2018). Sementara itu, hasil ini lebih tinggi dibandingkan penelitian di Kepulauan Anambas sebesar 6,26±0,24 m (Sari *et al.*, 2019).

Persentaseutupan kanopi dapat menggambarkan kondisi kesehatan atau tingkat kerusakan komunitas mangrove. Zona 3 memiliki persentaseutupan kanopi yang termasuk dalam kategori padat dengan persentaseutupan kanopi  $\geq 75\%$  berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 Tahun 2004. Mangrove pada zona 2 dan zona 3 memiliki nilai yang berbeda signifikan dengan zona 1 (ANOVA:  $p < 0,05$ ). Sementara itu, persentaseutupan kanopi komunitas mangrove pada zona 1 dan zona 2 masuk pada kategori sedang dengan masing-masing nilai persentaseutupan kanopinya sebesar 52,35±14,44% dan 73,59±10,90% (Tabel 1). Secara keseluruhan, rata-rata persentaseutupan kanopi di lokasi penelitian sebesar 66,57±13,24%.

Penelitian lain yang menunjukkan hasil persentaseutupan kanopi  $>75\%$  untuk zona yang didominasi oleh mangrove *Rhizophora* terdapat di Kabupaten Wondama (Dharmawan & Widyastuti, 2017). Sementara itu, penelitian lain yang menunjukkan persentaseutupan kanopi yang lebih rendah pada zona yang didominasi *S. alba*

dibandingkan dengan zona yang didominasi *Rhizophora* ditemukan di Perairan Tidore (Nurdiansah & Dharmawan, 2018). Penelitian lainnya menunjukkan hasil yang lebih tinggi dari rata-rata persentase tutupan kanopi di kawasan mangrove Teluk Benoa seperti di Ternate sebesar 77,46±3,62% (Arbi *et al.*, 2018); Pulau Belitung bagian selatan sebesar 83,33±2,15% (Suyarso *et al.*, 2018); dan Kepulauan Anambas sebesar 81,67±1,58% (Sari *et al.*, 2019).

Tutupan kanopi cenderung dipengaruhi oleh jenis yang mendominasi pada kawasan tersebut. Persentase tutupan kanopi rendah ditemukan pada zona yang didominasi mangrove *S. alba* (zona 1). Hal ini dikarenakan adanya pengaruh dari morfologi daun yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan zona yang didominasi mangrove *Rhizophora* (zona 3). *S. alba* (zona 1) umumnya memiliki morfologi daun berukuran 5-12,5x3-9 cm sedangkan mangrove jenis *Rhizophora mucronata* umumnya memiliki morfologi daun berukuran 11-23x5-13 cm dan *Rhizophora apiculata* memiliki morfologi daun berukuran 7-19x3,5-8 cm yang mendominasi di zona 3. Semakin luas dan besar tampang daun maka tutupan kanopi yang dihasilkan akan semakin rapat begitu juga sebaliknya semakin sempit dan kecil tampang daun maka tutupan kanopi yang dihasilkan akan semakin renggang atau kecil (Syukri *et al.*, 2018).

### 3.2. Simpanan Karbon Biomassa

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekosistem mangrove Teluk Benoa memiliki rata-rata biomassa *aboveground* dan

simpanan karbon *aboveground* berturut-turut 413,18±74,49 ton/ha dan 193,45±34,88 ton C/ha (Tabel 2). Simpanan karbon *aboveground* tertinggi ditemukan pada zona 1 dengan biomassa sebesar 488,97±238,54 ton/ha dan rata-rata simpanan karbon *aboveground* sebesar 228,93±111,69 ton C/ha sedangkan simpanan karbon *aboveground* terendah ditemukan pada zona 3 dengan biomassa sebesar 368,49±190,89 ton/ha dan rata-rata simpanan karbon *aboveground* sebesar 172,53±89,38 ton C/ha. Hasil uji *Tukey* menunjukkan bahwa antara ketiga zona penelitian yaitu zona 1, zona 2 dan zona 3 memiliki kesamaan nilai rata-rata untuk simpanan karbon *aboveground* (ANOVA:  $p > 0,05$ ).

Penelitian lain menunjukkan bahwa simpanan karbon *aboveground* di mangrove Teluk Benoa lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi lain seperti di Pulau Kei sebesar 167 ton C/ha (Prayudha *et al.*, 2019); Hutan Kalibiru Kabupaten Kulon Progo sebesar 87,7 ton C/ha (Arsalan *et al.*, 2020); dan Kawal, Bintan sebesar 132,74 ton C/ha (Heriyanto *et al.*, 2020). Zona 1 dengan simpanan karbon *aboveground* tertinggi memiliki tegakan dengan diameter rata-rata yang lebih besar yaitu 14,13±3,19 cm dibandingkan dengan 2 zona lainnya. Biomassa pada pohon meningkat secara proporsional dengan peningkatan diameter tegakan atau dengan kata lain bahwa peningkatan ukuran diameter batang berbanding lurus dengan kenaikan nilai biomassa tegakan. Biomassa yang meningkat akan berdampak pada kenaikan simpanan karbon *aboveground* (Manafe *et al.*, 2016).

Tabel 2. Biomassa dan simpanan karbon *aboveground* pada tiga zona penelitian di Teluk Benoa.

Zona	Biomassa (ton/ha)	Simpanan Karbon <i>Aboveground</i> (ton C/ha)
Zona 1	488,97±238,54	228,93±111,69 <sup>a</sup>
Zona 2	371,36±169,25	173,87±79,25 <sup>a</sup>
Zona 3	368,49±190,89	172,53±89,38 <sup>a</sup>
Rata-rata	413,18±74,49	193,45±34,88

Keterangan: <sup>ab</sup> menunjukkan hasil *one way* ANOVA yang dilanjutkan dengan uji beda nyata *Tukey* ( $< 0,05$ ). Huruf yang berbeda menunjukkan terdapat perbedaan statistik di antara lokasi pengambilan sampel.

Selain itu, pada zona 1 ditemukan pula tegakan yang memiliki diameter > 30 cm sebanyak 21 tegakan yang mana jumlah ini lebih banyak dibandingkan dengan dua zona lainnya. Banyaknya tegakan yang memiliki diameter > 30 cm akan berkontribusi besar dalam total simpanan karbon pada lahan tersebut. Manafe *et al.* (2016), menyatakan bahwa keberadaan tegakan berdiameter > 30 cm pada suatu lahan mampu memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap total simpanan karbon. Semakin banyak tegakan pada suatu lahan yang memiliki diameter >30 cm maka simpanan karbon pada lahan tersebut akan semakin tinggi.

### 3.3. Model Hubungan Simpanan Karbon dengan Parameter Struktur Tegakan Mangrove

Hubungan antara setiap parameter struktur tegakan mangrove dengan simpanan karbon *aboveground* dianalisis dengan regresi linear ditunjukkan pada Tabel 3. Sementara itu, dilakukan pula analisis AIC guna mengidentifikasi kemungkinan pengaruh lebih dari satu parameter struktur tegakan mangrove terhadap simpanan karbon *aboveground*. Hasil analisis AIC akan menunjukkan formula terbaik untuk mengestimasi simpanan karbon *aboveground* dalam komunitas mangrove dari parameter struktur tegakan mangrove.

Secara umum, parameter struktur tegakan mangrove memiliki tingkat hubungan yang bervariasi dengan simpanan karbon. Hasil analisis regresi hubungan simpanan karbon *aboveground* dengan setiap parameter struktur tegakan mangrove menunjukkan bahwa model regresi dengan satu parameter masih belum cukup baik dalam mendeterminasikan simpanan karbon komunitas. Diameter tegakan yang menjadi data utama dalam persamaan alometrik hanya memiliki koefisien regresi ( $R^2$ -adjusted) sebesar 0,39 pada tingkat pohon dan 0,38 pada seluruh tegakan ( $p < 0,001$ ) (Tabel 3). Sementara itu, parameter struktur tegakan mangrove lainnya memiliki koefisien regresi

yang bernilai rendah dan negatif diantaranya tinggi, tutupan kanopi, kerapatan pohon, kerapatan pancang dan kerapatan pohon pancang. Hasil analisis AIC menunjukkan koefisien determinasi yang lebih baik dengan mengkombinasikan lebih dari satu parameter struktur tegakan mangrove yaitu tutupan kanopi, kerapatan pohon, kerapatan pancang dan diameter pohon dalam menggambarkan simpanan karbon *aboveground* pada skala komunitas ( $R^2$ -adjusted= 0,87) (Tabel 3).

Pengukuran biomassa dengan persamaan alometrik dapat didekati berdasarkan tinggi serta diameter tegakan. Pada penelitian ini, persamaan alometrik disusun oleh satu parameter struktur tegakan mangrove yaitu diameter. Nilai biomassa serta simpanan karbon cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya diameter tegakan (Syukri *et al.*, 2018). Walaupun, diameter tegakan menjadi komponen utama dari persamaan alometrik biomassa karbon secara individu namun belum dapat menggambarkan simpanan karbon *aboveground* dalam satu komunitas. Hal ini dikarenakan, simpanan karbon *aboveground* dalam satu komunitas dipengaruhi oleh struktur tegakan mangrove lainnya seperti komposisi jenis, kerapatan, tinggi dan tutupan kanopinya (Li *et al.*, 2015). Penelitian Mardiyah *et al.* (2019), mengungkapkan bahwa tinggi tegakan berpengaruh terhadap nilai biomassa yang meningkat seiring dengan pertumbuhan tegakan (diameter dan tinggi) yang akan menghasilkan nilai biomassa yang besar dan karbon tersimpan yang besar pula. Sementara itu, penelitian Li *et al.* (2015) menyatakan bahwa kerapatan dan tutupan kanopi juga memengaruhi simpanan karbon semakin tinggi tutupan kanopi dan kerapatan mangrove maka simpanan karbon akan semakin tinggi pula.

Model yang dibangun dari kombinasi beberapa parameter struktur tegakan mangrove memberikan estimasi simpanan karbon *aboveground* yang lebih akurat dibandingkan dengan model dari parameter



tunggal. Hal ini dibuktikan dari koefisien regresi serta nilai *root mean square error* (RMSE) yang diperoleh. Kombinasi beberapa parameter struktur tegakan mangrove menghasilkan persamaan model dengan nilai regresi tertinggi dan nilai RMSE terendah (Tabel 3).

Koefisien regresi terbesar dari model parameter tunggal diperoleh antara parameter diameter pohon dan diameter pohon pancang dengan nilai regresi lebih kecil dari 0,5. Sementara itu, nilai regresi dari kombinasi parameter struktur tegakan mangrove diperoleh nilai yang cukup tinggi sebesar 0,87 yang artinya parameter tutupan kanopi, kerapatan pohon, kerapatan pancang dan diameter pohon dalam model dapat menjelaskan akurasi nilai simpanan karbon *aboveground* di lokasi penelitian sebesar 87%. Pada penelitian ini, koefisien regresi ditinjau dari nilai  $R^2$  *adjusted* dikarenakan  $R^2$  menghasilkan nilai estimasi yang masih bias terhadap proporsi variansi dari model sehingga diperlukan penyesuaian menjadi nilai  $R^2$  *adjusted* (Harlan, 2018).

Nilai RMSE dari model kombinasi merupakan nilai RMSE terkecil dibandingkan dengan model lainnya sebesar 1,16 yang artinya model memiliki selisih nilai  $\pm 1,16$  ton C/ha dengan nilai simpanan karbon

*aboveground* di lapangan. Nilai RMSE merupakan hasil dari nilai perbandingan antara hasil penaksiran model dengan nilai sampel dilapangan semakin kecil nilai RMSE maka semakin baik keakurasian dari suatu model (Nurgiantoro *et al.*, 2019).

Penelitian lainnya yang menunjukkan model kombinasi atau multivariabel lebih baik dibandingkan dengan model satu parameter dalam merepresentasikan keadaan dalam satu komunitas yaitu pada penentuan *mangrove health index* (MHI). Kombinasi parameter tutupan kanopi, diameter rata-rata dan kerapatan pancang memberikan hasil model yang lebih baik digunakan dalam analisis indeks kesehatan mangrove dalam skala komunitas (plot) (Dharmawan *et al.*, 2020b). Penentuan indeks eutrofikasi juga disusun dari kombinasi beberapa parameter, yaitu konsentrasi nitrat, nitrit, amonia, fosfat dan klorofil dalam menginterpretasikan kondisi perairan (Primpas *et al.*, 2010).

#### IV. KESIMPULAN

Kawasan ekosistem mangrove Teluk Benoa dilihat dari komunitas mangrove menunjukkan kondisi yang baik pada kategori kerapatan pohon serta tutupan kanopi. Simpanan karbon *aboveground*

Tabel 3. Prediksi simpanan karbon *aboveground* berdasarkan parameter struktur tegakan mangrove.

Parameter Struktur Tegakan	Rumus: Ctop (Y)=	$R^2$ - <i>adjusted</i>	F	RMSE
Tinggi (H)	0,176*H+11,744	-0,01	0,75	3,33
Diameter (D)	0,703* D+ 6,061	0,38	27,04***	2,62
Diameter Pohon (Dt)	4,737* Dt-3,010	0,39	28,45***	2,59
Tutupan Kanopi (C)	0,280* C +12,236	-0,01	0,77	3,33
Kerapatan Pohon (Nt)	0,461* Nt +11,132	0,01	1,25	3,31
Kerapatan Pancang (Nsp)	-1,183* Nsp + 14,382	-0,00	0,99	3,32
Kerapatan total (Ntot)	0,133* Ntot + 12,773	-0,02	0,12	3,35
Tutupan Kanopi + Kerapatan Pohon + Kerapatan Pancang + Diameter Pohon	(-0,217*C) + (2,210* Nt) + (1,022* Nsp) + (9,090*Dt) -29,574	0,87	71,38***	1,16

Keterangan: p <0,001: berkorelasi signifikan \*\*\*

tertinggi ditemukan pada zona 1 yang didominasi oleh jenis *S. alba* sedangkan komunitas mangrove yang didominasi oleh mangrove *Rhizophora* pada zona 3 memiliki simpanan karbon paling rendah. Analisis simpanan karbon *aboveground* dengan struktur tegakan mangrove menghasilkan model kombinasi yang memiliki nilai regresi yang lebih tinggi dibandingkan dengan model dari satu parameter saja. Model kombinasi yang diperoleh terdiri dari parameterutupan kanopi, kerapatan pohon, kerapatan pancang dan diameter pohon. Model ini cukup baik digunakan dalam menggambarkan estimasi simpanan karbon pada skala komunitas dilihat dari nilai regresi yang tinggi sebesar 0,87 serta nilai RMSE yang terendah sebesar 1,16. Penelitian selanjutnya yang memiliki data struktur tegakan mangrove dapat secara praktis memperoleh data simpanan karbon melalui model kombinasi ini. Selama ini data simpanan karbon masih berbasis pada data individu. Namun demikian, validasi dari model yang diperoleh masih diperlukan untuk menganalisis lebih lanjut akurasi dari model tersebut.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan masukan dan bimbingan dalam pembuatan jurnal ilmiah ini serta teman-teman yang telah membantu dalam pengambilan data lapangan. Terima kasih juga kepada Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Udayana atas fasilitas yang telah diberikan selama penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

Arbi, U.Y., R.S. Utama, J.S.N. Wahidin, A. Budiyanto, P.C. Makatipu, K. Wibowo, A. Harahap, S. Rahmawati, A. Irawan, M.P. Rizqi, R. Kotta, R. Huwae, M. Djabar, D. Nurdiansah, A. Kusnadi, N. Akbar, S.I. Patty, &

Sumarno. 2018. *Monitoring kondisi terumbu karang dan ekosistem terkait Perairan Ternate dan sekitarnya*. COREMAP-CTI, Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Jakarta. 146 p.

Arsalan, A., E. Gravitationi, & H. Irianto. 2020. Biomassa di atas tanah dan perhitungan simpanan karbon hutan Kalibiru Kabupaten Kulon Progo. *J. Bioeksperimen*, 6(1): 1-8. <https://doi.org/10.23917/bioeksperimen.v6i1.10426>

Banjarnahor, K.G., A. Setiawan, & A. Darmawan. 2018. Estimasi perubahan karbon tersimpan di atas tanah di arboretum Universitas Lampung. *J. Sylva Lestari*, 6(2): 51-59. <https://doi.org/10.23960/jsl2651-59>

Basuki, A.T. & N. Prawoto. 2015. *Analisis regresi dalam penelitian ekonomi dan bisnis*. Rajawali Press. Depok. 22 p.

Daba, D.E. & T. Soromessa, 2019. The accuracy of species-specific allometric equations for estimating aboveground biomass in tropical moist montane forests: case study of *Albizia grandibracteata* and *Trichilia dregeana*. *Carbon Balance Manage*, 14(18): 1-13. <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0134-8>

Dharmawan, I.W.E. & A. Widyastuti. 2017. Pristine mangrove community in Wondama Gulf, West Papua, Indonesia. *Marine Research in Indonesia*, 42(2): 73-82. <https://doi.org/10.14203/mri.v42i2.175>

Dharmawan, I.W.E. 2020. *Hemispherical Photography: analisisutupan kanopi komunitas mangrove*. Nas Media Pustaka. Makassar. 68 p.

Dharmawan, I.W.E, Suyarso, Y.I. Ulumuddin, B. Prayudha, & Pramudji. 2020. Panduan monitoring struktur komunitas mangrove di Indonesia. PT. Media Sains Nasional. Bogor. 69 p.

- Dharmawan, I.W.E., T.A. Hadi, U.Y. Arbi, P.C. Makatipu, & S. Rahmawati. 2020a. Monitoring kesehatan terumbu karang dan ekosistem terkait di Kabupaten Biak-Numfor tahun 2020. COREMAP-CTI LIPI. Jakarta. 152 p.
- Dharmawan, I.W.E., Suyarso, Y.I. Ulumuddin, B. Prayudha, & Pramudji. 2020b. *Manual for mangrove community structure monitoring and research in Indonesia*. Nas Medika Pustaka. Makassar. 150 p.
- Dharmawan, I.W.E., Suyarso, Y.I. Ulumuddin, B. Prayudha & Pramudji. 2020c. *Panduan monitoring struktur komunitas mangrove di Indonesia*. PT. Media Sains Nasional. Bogor. 108 p.
- Hamdanah, F.H. & D. Fitrihanah. 2021. Analisis performansi algoritma linear regression dengan generalized linear model untuk prediksi penjualan pada usaha mikro, kecil dan menengah. *J. Nasional Pendidikan Teknik Informatika*, 10(1): 23-32. <https://doi.org/10.23887/janapati.v10i1.31035>
- Harlan, J. 2018. *Analisis regresi linear*. Gunadarma. Depok. 129 p.
- Heriyanto, N.M. & E. Subiandono. 2016. Peran biomassa mangrove dalam menyimpan karbon di Kubu Raya, Kalimantan Barat. *J. Analisis Kebijakan*, 13(1): 1–12. <https://doi.org/10.20886/jakk.2016.13.1.1-12>
- Heriyanto, T., B. Amin, I. Rahimah, & F. Ariani. 2020. Analisis biomassa dan cadangan karbon pada ekosistem mangrove di kawasan pantai berpasir Desa Kawal Kabupaten Bintan. *Jurnal Manajemen Riset dan Teknologi*, 2(1): 31-41. <https://doi.org/10.30649/fisheries.v2i2.36>
- Heumann, C., M. Schomaker, & Shalabh. 2017. *Introduction to statistics and data analysis with exercises, solution and application in R*. Springer International Publishing. Switzerland. 456 p.
- Irawan, U.S. & E. Purwanto. 2020. *Pengukuran dan pendugaan cadangan karbon pada ekosistem hutan gambut dan mineral, studi kasus di Hutan Rawa Gambut Pematang Gadung dan Hutan Lindung Sungai Lesan, Kalimantan*. Yayasan Tropenbos Indonesia. Bogor. 128 p.
- Istomo & N.E. Farida. 2017. Potensi simpanan karbon di atas permukaan tanah tegakan *Acacia nilotica* L. (willd) ex del. di Taman Nasional Baluran, Jawa Timur. *J. Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 7(2): 155-162. <https://doi.org/10.29244/jpsl.7.2.155-162>
- Kauffman, J.B. & D.C. Donato. 2012. *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forest*. CIFOR. Indonesia. 50 p.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KLH). 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 201 Tahun 2004 tentang kriteria baku mutu dan pedoman penentuan kerusakan mangrove. KLH. Jakarta. 11 p.
- Komiyama A, S. Pongparn, & S. Kato. 2005. Common allometric equation for estimating the tree weight of mangroves. *J. of Tropical Ecology*, 21: 471–477. <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>
- Li, N., P. Chen, & C. Qin. 2015. Density storage and distribution of carbon in mangrove ecosystem in Guangdong's coastal areas. *Asian Agricultural Research*, 7(2): 62–73.

- <https://doi.org/10.22004/ag.econ.202107>
- Lubis, Z. 2021. *Statistika terapan untuk ilmu-ilmu sosial dan ekonomi*. ANDI. Yogyakarta. 350 p.
- Maher, D.T., M. Call, I.R. Santos, & C.J. Sanders. 2018. Beyond burial: lateral exchange is a significant atmospheric carbon sink in mangrove forests. *Biol. Lett.*, 14(7): 1-4.  
<https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0200>
- Manafe, G., M.R. Kaho, & F. Risamasu. 2016. Estimasi biomassa permukaan dan stok karbon pada tegakan pohon *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata* di Perairan Pesisir Oebelo, Kabupaten Kupang. *J. Bumi Lestari*, 16(2): 163-173.  
<https://doi.org/10.24843/blje.2016.v16.i02.p09>
- Mardiyah, R., R. Ario, & R. Pribadi. 2019. Estimasi simpanan karbon pada ekosistem mangrove di Desa Pasar Banggi dan Tireman, Kecamatan Rembang Kabupaten Rembang. *J. of Marine Research*, 8(1): 62-68.  
<https://doi.org/10.14710/jmr.v8i1.24330>
- Maulana, M.I., N.L. Auliah, & Onrizal. 2021. Potential carbon storage of Indonesia mangrove. *Earth and Environmental Science*, 782(3): 1-4.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/782/3/032014>
- Nurdiansah, D. & I.W.E. Dharmawan. 2018. Komunitas mangrove di wilayah pesisir Pulau Tidore dan sekitarnya. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 3(1): 1-9.  
<https://doi.org/10.14203/oldi.2018.v3i1.63>
- Nurdiansah, D. & I.W.E. Dharmawan. 2021. Struktur komunitas dan kondisi kesehatan mangrove di Pulau Middleburg-Miossu, Papua Barat. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(1): 81-96.  
<https://doi.org/10.29244/jitkt.v13i1.34484>
- Nurgiantoro, W. Mutika, & Abriansyah. 2019. Analisis konsentrasi TSS dan pengaruhnya pada kinerja pelabuhan menggunakan data remote sensing optik di Teluk Kendari. *J. Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 16(2): 71-82.  
<https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2019.v16.a3045>
- Pratama, I.G.M.Y., I.W.G.A. Karang, & Y. Suteja. 2019. Distribusi spasial kerapatan mangrove menggunakan citra sentinel-2A di TAHURA Ngurah Rai, Bali. *J. of Marine and Aquatic Science*, 5(2): 192-202.  
<https://doi.org/10.24843/jmas.2019.v05.i02.p05>
- Prayudha, B., Y. Tuti, R.S. Utama, U. Yanuarbi, I.B. Vimono, I. Nagib, A. Faricha, Suyadi, J. Renyaan, S. Rahmawati, A. Kusnadi, L. Alifatri, A. Salatalohi, T. Triandiza, & A.R. Dzumalex. 2019. *Studi baseline terumbu karang dan ekosistem terkait di Pulau Kei kecil dan sekitarnya, Kota Tual dan Kabupaten Maluku Tenggara, Provinsi Maluku*. COREMAP-CTI, Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Jakarta. 120 p.
- Primpas, I., G. Tsirtsis, M. Karydis, & G.D. Kokkoris. 2010. Principal component analysis: development of a multivariate index for assessing eutrophication according to the european water framework directive. *ELSEVIER: Ecological Indicators*, 10(2): 178-183.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.04.007>
- Purwanto, R.H., Rohman, A. Maryudi, T. Yuwono, D.B. Permadi, & M. Sanjaya. 2012. Potensi biomassa dan simpanan karbon jenis-jenis tanaman berkayu di hutan rakyat Desa Nglanggeran, Gunungkidul, Daerah

- Istimewa Yogyakarta. *J. Ilmu Kehutanan*, 6(2): 128-141.  
<https://doi.org/10.22146/jik.5778>
- Rahman, Y. Wardiatno, F. Yulianda, & I. Rusmana. 2020. Socio-ecological system of carbon-based mangrove ecosystem on the coast of West Muna Regency, Southeast Sulawesi-Indonesia. *AAFL Bioflux*, 13(2): 518-528. <http://www.bioflux.com.ro/aafl>
- Sari, N.W.P., M. Abrar, R.M.S. Nurhasim, R.D. Putra, M. Sinaga, Jumsurizal, I.F. Lestari, I. Pangestyansah, A. Rasidin, R.S.O.R. Siantaru, & B. Perisha. 2019. *Monitoring kesehatan terumbu karang dan ekosistem terkait di kawasan konservasi perairan nasional, taman wisata perairan, Kepulauan Anambas dan laut sekitarnya*. COREMAP-CTI, Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Jakarta. 103 p.
- Satriya, R., A.W. Hendrik, Cappenberg, D. Anggraeni, I.N. Edrus, P. Makatipu, A. Irawan, I.W.E. Dharmawan, A. Budiyanto, A.R. Dzumalex, & A. Salatalohi. 2019. *Kondisi kesehatan terumbu karang dan ekosistem terkait di Kabupaten Wakatobi, Sulawesi Tenggara*. CRITC COREMAP-CTI, Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Jakarta. 102 p.
- Siringoringo, R.M., M. Abrar, N.W.P. Sari, F.D. Hukom, R.D. Putra, H. Cappenberg, Pramudji, I.W.E. Dharmawan, Ernawati, Triyono, & O.R. Sianturi. 2019. *Monitoring kesehatan terumbu karang dan ekosistem terkait di Kabupaten Merauke, Papua*. COREMAP-CTI, Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Jakarta. 93 p.
- Suyarso, Suharsono, I.H. Supriyadi, H. Cappenberg, F.D. Hukom, J. Souhoka, I.W.E. Dharmawan, D.A. Wilandari, A.E.W. Manuputty, I. Nagib, A. Budiyanto, J. Picasouw, A. Rasyidin, & A. Salatalohi. 2018. *Monitoring kondisi terumbu karang dan ekosistem terkait di Perairan Belitung*. COREMAP-CTI, Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Jakarta. 114 p.
- Syukri, M., S. Mashoreng, S. Werorilangi, R. Isyrini, R. Rastina, A. Faizal, A. Tahir, & S. Gosalam. 2018. Kajian stok karbon mangrove di Bebanga Kabupaten Mamuju Sulawesi Barat. Prosiding Simposium Nasional Kelautan dan Perikanan V, Makassar, 5 Mei 2018. 335-342.  
<https://journal.unhas.ac.id/index.php/proceedingsimnaskp/article/view/4665>
- Taillardat, P., D.A. Friess, & M. Lupascu. 2018. Mangrove blue carbon strategies for climate change mitigation are most effective at the national scale. *Biol. Lett.*, 14(10): 1–6.  
<https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0251>
- Tomlinson, P.B. 2016. *The botany of mangroves*. Cambridge University Press. New York. 418 p.
- Xin, K., Q. Zhou, S.K. Arndt, & X. Yang. 2013. Invasive capacity of the mangrove *Sonneratia apetala* in Hainan Island, China. *J. of Tropical Forest Science*, 25(1): 70–78.  
<https://www.frim.gov.my/v1/JTFSONline/jtfs/v25n1/70-78.pdf>

Submitted : 07 July 2021

Reviewed : 29 July 2021

Accepted : 02 November 2021

*FIGURE AND TABLE TITLES*

*Figure 1. Distribution of 53 Data Collection Points spread over three research zones.*

*Table 1. Parameters of mangrove stand structure in each zone in all locations.*

*Table 2. Biomass and aboveground carbon stock in three research zone in Teluk Benoa.*

*Table 3. Prediction of aboveground carbon stock based on mangrove stand structure parameters.*