

Analisis Korelasi Kelimpahan Ikan Gelodok (*Mudskipper*) dengan Konsentrasi Karbon Organik Tanah pada Hutan Mangrove Desa Labuhan, Kecamatan Sepulu, Kabupaten Bangkalan, Madura

Puput Anggie Widhiarti Sujono dan Farid Kamal Muzaki
Departemen Biologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: rm_faridkm@bio.its.ac.id

Abstrak—Hutan Mangrove merupakan salah satu jenis ekosistem lahan basah yang mampu menangkap karbon dioksida (CO₂) di atmosfer dan menyimpan sebagian besar karbon dibawah permukaan tanah. Ekosistem mangrove merupakan habitat ikan gelodok yang menghabiskan sebagian besar waktunya di permukaan tanah, membuat sarang berupa lubang persembunyian di sekitar naungan mangrove, dan berperan sebagai bioindikator tanah atau kesuburan tanah yang baik untuk penanaman vegetasi mangrove. Hal ini mendasari tujuan penelitian untuk mengetahui kelimpahan ikan gelodok, konsentrasi karbon organik tanah serta korelasinya secara statistik pada vegetasi mangrove campuran di Hutan Mangrove Desa Labuhan Kecamatan Sepulu, Madura. Pengamatan kelimpahan dilakukan secara periodik sebanyak 3 kali selama 6 minggu pada 10 plot dalam hutan mangrove, pengambilan sampel tanah dilakukan pada tiap plot yang selanjutnya dilakukan uji *gravimetri* untuk mengetahui konsentrasi karbon organik tanah. Data parameter lingkungan juga diambil secara periodik sebagai data pendukung. Hasil penelitian didapatkan bahwa konsentrasi karbon organik tanah di lokasi penelitian sebesar 2,217±0,555%, kelimpahan fisik rata-rata ikan gelodok (*mudkipper*) 8±4.881 individu/100m² dan kelimpahan non-fisik (lubang sarang) 10±3.281 sarang/100m². Hasil uji korelasi *Pearson* antara karbon organik tanah dengan kelimpahan ikan gelodok ($r = 0.193$) dan lubang sarang ($r = 0.083$) $p < 0.05$, dinyatakan memiliki korelasi yang lemah, begitu pula parameter lingkungan seperti pH tanah, suhu tanah dan salinitas air terhadap karbon organik tanah.

Kata Kunci—Ikan Gelodok, Karbon Organik Tanah, Kelimpahan, Konsentrasi Karbon.

I. PENDAHULUAN

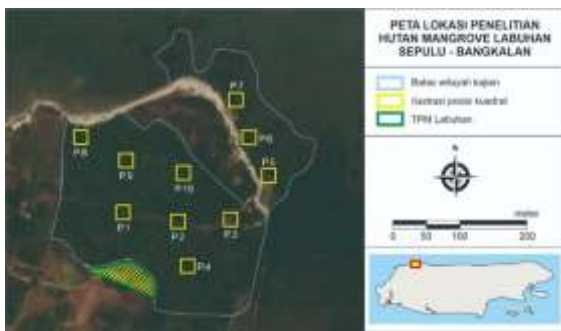
TINGGINYA konsentrasi karbon dioksida (CO₂) sebagai salah satu komponen emisi gas rumah kaca, berkorelasi linier dengan peningkatan temperatur bumi secara global. Laju kenaikan suhu bumi meningkat secara drastis dari awal tahun 2000-an dibandingkan tahun 1990-an, beriringan dengan pesatnya pertumbuhan industri di dunia [1]. Pada abad 21 diperkirakan kenaikan suhu bumi berkisar antara 1°C-3,7°C bergantung pada emisi gas rumah kaca yang dilepaskan ke atmosfer [2]. Selama kurun waktu 20 tahun terakhir banyak cara dilakukan untuk menekan peningkatan suhu bumi < 2°C/tahun, sebuah tantangan besar jika mencakup suhu dan iklim secara global [3-5]. Mitigasi pada tahapan daur karbon dari atmosfer, vegetasi, tanah dan lautan dapat mengurangi konsentrasi CO₂ yang dilepaskan kembali ke atmosfer karena adanya sekuestrasi karbon [6-7]. Adanya

sekuestrasi karbon dalam tanah dan vegetasi ini merupakan sumber mitigasi paling potensial untuk mencegah pemanasan global [8].

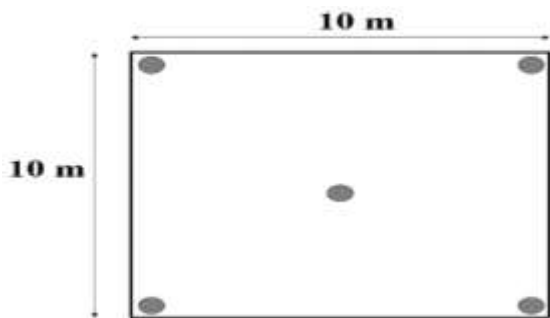
Sekuestrasi dan penyimpanan karbon paling besar terjadi pada lahan basah, dimana CO₂ akan disimpan dalam bentuk karbon organik tanah [9]. Lahan basah merupakan wilayah tertentu yang digenangi atau dibanjiri oleh air baik secara permanen atau sementara dengan vegetasi yang berbeda pula [10]. Hutan Mangrove, salah satu ekosistem lahan basah, mampu menyimpan lebih banyak karbon di bawah permukaan karena sebagian besar karbon disimpan dalam tanah dan akar mangrove [11]. Penelitian [12] memperkirakan bahwa stok karbon dalam tanah hutan mangrove secara global sebesar 5,00 ± 0,94 Pg C pada rata-rata kedalaman tanah 1 meter yang sebagian besar terdiri dari karbon organik tanah. Kemampuan penyimpanan karbon dari atmosfer ke dalam tanah ini tiga kali lebih optimal dibandingkan dengan penyimpanan karbon dalam tanah pada hutan terrestrial [13]. Penelitian Shofiyati, dkk dan C. Weiss, dkk menunjukkan bahwa ekosistem mangrove di wilayah lahan basah Indonesia secara luas memiliki potensi besar untuk sekuestrasi karbon organik tanah. Komposisi vegetasi yang beragam diperkirakan dapat mempengaruhi peningkatan kemampuan serapan karbon yang disimpan dalam tanah [14-15].

Ekosistem mangrove juga merupakan habitat dari berbagai jenis fauna, salah satunya adalah ikan gelodok atau *mudskipper* yang merupakan satu-satunya ikan yang mampu hidup di lumpur intertidal atau rawa bakau [16]. Ikan gelodok merupakan ikan ‘amfibi’ yang menghabiskan sebagian besar waktunya di permukaan tanah daripada di dalam air karena memiliki kantong air yang membuat insangnya tetap basah atau lembap, selain itu ikan ini juga memiliki sirip depan dengan otot pektoral yang kuat digunakan untuk mobilitasnya yang tinggi di permukaan tanah atau memanjat pohon dan bebatuan bagi sebagian spesies [17]. Ikan ini merupakan salah satu biota yang berperan penting dalam ekosistem karena dapat dijadikan sebagai bioindikator lingkungan bersih dan layak tanam untuk vegetasi mangrove [18].

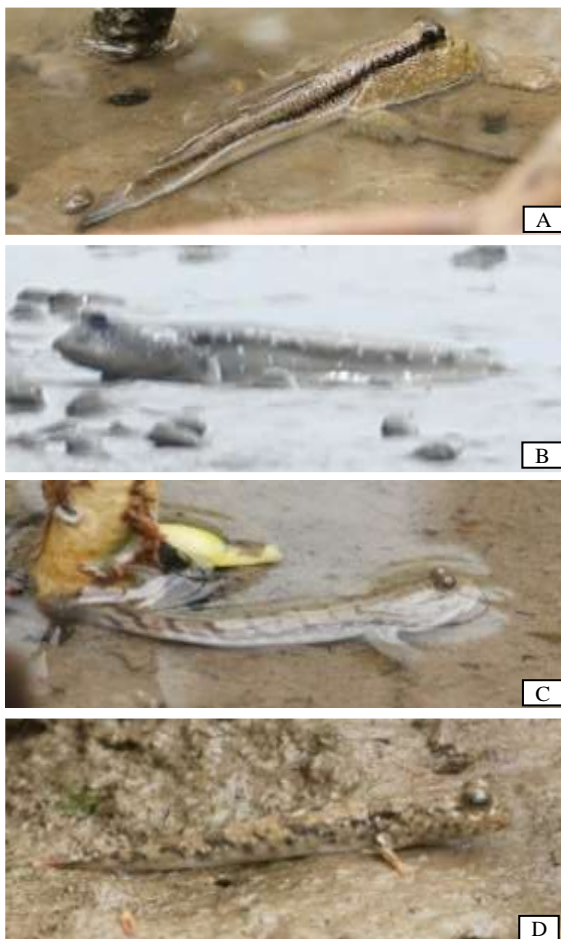
Ikan gelodok membuat sarang berupa lubang persembunyian di sekitar naungan mangrove. Kedalaman lubang sarang yang dibuat bervariasi antara 40 – 100 cm dengan jarak antar lubang 75 - 200 cm. Sementara itu, distribusi karbon organik tanah terdapat pada kedalaman 0 - 300 cm yang akan berbeda konsentrasinya pada tiap strata



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah dan Kelimpahan Ikan.



Gambar 2. Rancangan Plot Sampling Karbon Organik Tanah.



Gambar 3. (A) *Periophthalmodon schlosseri*, (B) *Boleophthalmus pectinirostris*, (C) *Periophthalmus gracilis*, (D) *Periophthalmus variabilis*.

kedalaman tanah dengan prediksi 1 meter pertama dari permukaan tanah memiliki konsentrasi karbon organik tanah yang tinggi [19].

Pergerakan ikan gelodok ketika mencari mangsa di

permukaan tanah dan pada saat membuat sarang dengan melubangi permukaan tanah akan mengakibatkan struktur tanah berubah dan membuat detritus bercampur [20]. Bercampurnya detritus dan aktivitas ikan gelodok ini diperkirakan akan mempengaruhi kemampuan dan konsentrasi karbon ekosistem mangrove yang memiliki potensi untuk menyerap CO₂ di atmosfer yang dapat disimpan di dalam tanah. Selain itu, data terkait kemampuan sekuestrasi karbon organik tanah dan kelimpahan ikan gelodok atau *mudskipper* di wilayah estuari Indonesia belum merata, salah satunya di hutan mangrove wilayah pesisir Desa Labuhan, Kecamatan Sepulu, Kabupaten Bangkalan, Madura yang diproyeksikan sebagai suatu kawasan konservasi dan edukasi [21]. Pada hutan mangrove di lokasi tersebut juga diketahui terdapat banyak spesies ikan gelodok yang merupakan anggota famili *Gobiidae*, *ordo Oxudercinae* [21].

Habitat ikan gelodok yang berada di permukaan dan kedalaman tanah yang sama dengan strata distribusi karbon organik tanah yang mendasari tujuan penelitian ini untuk mengetahui kelimpahan ikan gelodok dan konsentrasi karbon organik tanah pada vegetasi mangrove campuran di hutan mangrove Desa Labuhan dengan hipotesis adanya korelasi antara konsentrasi karbon organik tanah dan kelimpahan ikan gelodok.

II. METODOLOGI

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi pengambilan sampel dilakukan di wilayah pesisir utara Hutan Mangrove Desa Labuhan, Kecamatan Sepulu, Kabupaten Bangkalan, Madura menggunakan pola spasial. Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2020 - Mei 2021. Pengambilan sampel tanah untuk mengetahui kandungan karbon organik tanah dilakukan pada bulan Januari 2021 ketika kondisi air surut terendah, sedangkan pengambilan sampel kelimpahan ikan gelodok dilakukan pada bulan Januari 2021 - Februari 2021 dengan interval setiap 2 minggu selama 6 minggu. Gambar lokasi peta dapat dilihat pada Gambar 1 dan sebaran koordinat dapat dilihat pada Tabel 1.

B. Pengambilan Sampel Tanah

Metode pengambilan sampel ini merujuk pada pengambilan sampel tanah menggunakan *JMC 36" Soil Low Cost Sampler* (Clements, Inc.) dengan menggunakan bahan modifikasi berupa pipa dengan diameter dalam 2,54 cm dan tinggi 1 meter ditancapkan ke permukaan tanah hingga kedalaman 30 cm untuk mengambil sampel tanah. Sampel tanah selanjutnya disimpan dalam suhu 4-5°C sebelum dilakukan uji laboratorium [22]. Sampling dilakukan pada lokasi menggunakan petak contoh dengan luas petak 10m x 10m berbentuk bujur sangkar, sampel tanah akan diambil dari keempat sudut plot dan pada bagian tengah area bujur sangkar. Ilustrasi plot disajikan pada Gambar 2.

C. Analisis Konsentrasi Karbon Organik Tanah

Konsentrasi karbon organik tanah diuji dengan menggunakan metode gravimetri dengan pengeringan menggunakan oven dan pembakaran menggunakan tungku di Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri, Surabaya. Penghitungan kandungan bahan organik (%) dilakukan dengan menggunakan rumus berikut [7]:

Tabel 1.
Koordinat Plot Sampling
Karbon Organik Tanah

Kode Plot	Koordinat Titik
P. 1	6°53'8.57"S 112°59'34.04"E
P. 2	6°53'8.96"S 112°59'36.76"E
P. 3	6°53'8.89"S 112°59'39.41"E
P. 4	6°53'10.67"S 112°59'37.48"E
P. 5	6°53'6.72"S 112°59'41.00"E
P. 6	6°53'5.34"S 112°59'40.34"E
P. 7	6°53'2.15"S 112°59'37.23"E
P. 8	6°53'4.88"S 112°59'32.08"E
P. 9	6°53'6.58"S 112°59'34.15"E
P. 10	6°53'6.92"S 112°59'36.77"E

Tabel 2.
Kriteria Nilai Korelasi Pearson

Nilai r	Kriteria
0	Tidak Ada Korelasi
0,00 - 0,25	Korelasi Sangat Lemah
0,25 - 0,50	Korelasi Cukup Kuat
0,50 - 0,75	Korelasi Kuat
0,75 - 0,99	Korelasi Sangat Kuat
1	Korelasi Sempurna

Tabel 3.

Data Genera Vegetasi, Tipe Substrat, dan Persentase Karbon Organik pada masing-masing Plot Penelitian

Kode Plot	Vegetasi (Genus)	Tipe Substrat	C-Organik (%)
P. 1	<i>Avicennia, Rhizophora</i>	Lanau	2,43
P. 2	<i>Rhizophora</i>	Lumpur	1,58
P. 3	<i>Rhizophora</i>	Lempung	2,83
P. 4	<i>Rhizophora, Avicennia</i>	Tanah liat berpasir	1,33
P. 5	<i>Rhizophora, Avicennia</i>	Pasir lempung	1,98
P. 6	<i>Rhizophora, Sonneratia</i>	Tanah liat berlumpur	2,76
P. 7	<i>Rhizophora</i>	Pasir lempung	2,62
P. 8	<i>Rhizophora</i>	Pasir lempung	2,31
P. 9	<i>Rhizophora, Avicennia</i>	Lumpur	2,73
P. 10	<i>Rhizophora</i>	Lanau	1,6

Tabel 4.

Data Spesies Ikan Gelodok yang Ditemukan pada Tiap Plot

Plot	Spesies					Total
	<i>Pn.S</i>	<i>P.g</i>	<i>P.v</i>	<i>P.a</i>	<i>B.p</i>	
P.1	10	2	4	0	0	16
P.2	6	0	0	0	0	6
P.3	4	1	8	0	0	13
P.4	4	1	2	0	0	7
P.5	4	7	17	0	0	28
P.6	9	7	0	1	5	22
P.7	3	10	6	0	0	19
P.8	6	7	1	0	0	14
P.9	29	11	2	0	0	42
P. 10	35	12	4	5	1	52
Total	110	58	44	1	6	219
KR(%)	50,23	26,48	20,09	0,46	2,74	

$$\text{Bahan organik} = \frac{\text{Pengeringan oven (g)} - \text{Pembakaran (g)}}{\text{pengeringan oven (g)}} 100\% \quad (1)$$

Sampel selanjutnya ditimbang dengan neraca analitik dan berat akhir sampel setelah pembakaran dimasukkan dalam persamaan berikut untuk mengetahui kandungan karbon organik tanah:

$$\text{Karbon Organik(\%)} = \frac{\text{Bahan Organik (\%)}}{1,724} \quad (2)$$

Jumlah bahan organik dibagi dengan faktor konversi rasio massa karbon organik yaitu 1,724 karena diasumsikan bahwa karbon organik di dalam bahan organik sebesar 58% [23-24].

Tabel 5.
Rata-rata Kelimpahan Ikan dan Lubang Sarang *Mudskipper* berdasarkan Plot Pengambilan Data

Kode Plot	\bar{X} . Ikan Gelodok (Individu/100m ²)	\bar{X} . Lubang Sarang (Sarang/100m ²)
P. 1	5	8
P. 2	2	5
P. 3	4	12
P. 4	2	9
P. 5	9	11
P. 6	7	8
P. 7	11	13
P. 8	5	7
P. 9	14	12
P. 10	16	16

Tabel 6.

Hasil Analisis Korelasi Pearson antara Karbon Organik Tanah dengan Faktor Lingkungan (Signifikansi 0,05)

Faktor Korelasi	r	Sig.	
Karbon Organik Tanah	pH Tanah	0,586	0,901
	Salinitas Air	-0,045	0,075
	Suhu Tanah	-0,125	0,730

Tabel 7.

Hasil Analisis Korelasi Kelimpahan Ikan Gelodok dengan Karbon Organik Tanah (Signifikansi 0,05)

Faktor Korelasi	r	Sig.	
Karbon Organik Tanah	Kelimpahan Ikan Gelodok	0,193	0,593
	Kelimpahan Lubang Sarang	0,083	0,821

D. Pengamatan Kelimpahan Ikan Gelodok (*Mudskipper*)

Pengambilan sampel kelimpahan jenis ikan gelodok dilakukan dalam kurun waktu 6 minggu dimulai pada bulan Januari 2021–Februari 2021 setiap 2 minggu sekali. Data kelimpahan fisik (kemunculan di permukaan) ikan gelodok dilakukan dengan melakukan pengamatan pada setiap plot yang telah ditentukan secara langsung atau menggunakan bantuan binokuler dan didokumentasikan menggunakan kamera.

Kelimpahan ikan gelodok dihitung dengan menggunakan analisis kelimpahan Odum (1971) dalam [25]:

$$K = \frac{Ki}{n} \quad (3)$$

Sedangkan untuk kelimpahan relatif (KR) ikan gelodok digunakan rumus:

$$KR = \frac{Ki}{\Sigma K} \quad (4)$$

Keterangan:

1. K = Kelimpahan ikan (ind./ m²)
2. Ki = Jumlah ikan pada titik ke-I (ind)
3. N = Luas plot pengamatan (m²)
4. ΣK = Total individu seluruh spesies

Nilai kelimpahan non-fisik yang dilihat dari jumlah sarang atau liang pada setiap plot dihitung menggunakan rumus yang sama namun dengan satuan lubang sarang/m².

E. Pengambilan Data Parameter Lingkungan

Parameter lingkungan yang diukur pada penelitian ini meliputi salinitas air (%), suhu tanah (°C), pH tanah dan kelembaban tanah. Data diambil secara periodik setiap 2 minggu sekali dalam kurun waktu 6 minggu. Sampel tanah untuk mengetahui persentase komposisi penyusun tanah diambil pada 10 plot yang sama dengan pengambilan sampel

tanah untuk pengujian karbon organik, analisis tekstur tanah akan dilakukan dengan metode “*The Jar Test Procedure*”.

F. Analisis Korelasi

Data persentase karbon organik tanah dan kelimpahan ikan gelodok dianalisis secara statistik parametrik dengan menggunakan uji *Shapiro-Wilk* untuk mengetahui normalitas sebaran data. Uji *Pearson coefficient correlation* menggunakan IBM SPSS Statistic 25 for windows dengan *significant level 5%* ($\alpha = 0,05$) digunakan untuk memperkirakan korelasi data konsentrasi karbon organik tanah dan kelimpahan ikan gelodok di wilayah pesisir utara Hutan Mangrove desa Labuhan, Kecamatan Sepulu, Kabupaten Bangkalan, Madura. Data parameter lingkungan seperti salinitas air, pH tanah dan suhu tanah juga diuji korelasinya dengan karbon organik tanah untuk mencari faktor lain yang dapat mempengaruhi penimbunan karbon organik tanah. Interpretasi kekuatan nilai korelasi *Pearson* yang didapatkan mengacu pada kriteria pada Tabel 2 [26].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Profil Vegetasi dan Konsentrasi Karbon Organik Tanah

Vegetasi mangrove di lokasi penelitian memiliki komposisi campuran yang terdiri dari genera *Sonneratia*, *Rhizophora*, dan *Avicennia*. Plot 1 - 4 (P.1-P.4) yang berada lebih ke arah daratan, cenderung didominasi oleh genus *Rhizophora* dan *Avicennia*; sedangkan plot 5-7 (P.5-P.7) yang lebih dekat ke arah lautan terdiri dari genus *Rhizophora*, *Sonneratia* dan *Avicennia*. Adapun plot 8-10 (P.8-P.10) terdiri dari vegetasi genus *Rhizophora*. Berdasarkan hasil uji dengan menggunakan prosedur “*The Jar Test*”, substrat vegetasi di lokasi penelitian merupakan jenis substrat campuran pasir, lumpur dan serasah dengan persentase yang tidak jauh berbeda pada setiap plot, perhatikan Tabel 3.

Berdasarkan hasil pada Tabel 3, didapatkan nilai persentase karbon organik tanah tertinggi sebesar 2,83% sedangkan persentase paling rendah sebesar 1,33%, rata-rata konsentrasi karbon organik tanah pada lokasi sebesar $2,217 \pm 0,555\%$.

Genera mangrove yang ditemukan pada lokasi penelitian merupakan genus yang sesuai pada iklim tropis. Spesies mangrove yang ditemukan pada plot penelitian dapat mempengaruhi kemampuan penyimpanan karbon di dalam tanah. Berdasarkan salah satu studi menyatakan bahwa mangrove spesies *Sonneratia alba*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora stylosa*, dan *Avicennia marina* secara berturut-turut memiliki kemampuan sekuestrasi karbon yang lebih baik [27].

Selain karena jenis vegetasi campuran pada lokasi penelitian, konsentrasi karbon organik juga dapat berbeda karena adanya perbedaan jenis substrat. Vegetasi dengan substrat bercampur lumpur dapat lebih banyak menyimpan karbon organik dibandingkan dengan substrat yang didominasi oleh pasir. Publikasi ilmiah oleh Windusari, dkk menyatakan tipe substrat mangrove yang terdiri dari pasir, lempung dan lumpur wilayah estuari mengandung bahan organik yang tinggi dibandingkan jenis tanah yang lain [28]. Penelitian Baretto, dkk menyatakan bahwa jenis substrat dan konsentrasi karbon organik tanah pada vegetasi *Rhizophora* dan *Avicennia* memiliki kemiripan yang menandakan bahwa

kedua genera ini tidak mengungguli satu sama lain pada kemampuan penyerapan karbon [29].

Perkiraan usia tegakan mangrove pada lokasi penelitian memiliki kisaran yang berbeda-beda. Mangrove pada lokasi P.1, P.2, P.3, P.4 memiliki usia berkisar antara 6-7 tahun, lokasi P.8, P.9, P.10 dengan posisi tegakan berada di sisi dalam area hutan mangrove memiliki usia tegakan berkisar antara 3-10 tahun, sedangkan pada P.5-P.7 memiliki usia tegakan berkisar antara 8-20 tahun. Penelitian oleh Marchand memberikan hasil bahwa tingkat penguburan (*burial*) karbon rata-rata adalah 0,72-4,86 mg OC/ha/tahun; tergantung pada usia hutan, dimana semakin tua usia hutan mangrove maka akan semakin banyak menyimpan karbon [30]. Posisi mangrove yang berada di area yang lebih ke arah darat dari pasang-surut juga diperkirakan dapat menyimpan lebih banyak karbon organik karena relatif lebih jarang mengalami pencucian akibat pasang-surut dan/atau air hujan. Curah hujan tinggi atau diatas ambang batas yang mampu diserap tanah dalam kurun waktu relatif lama dapat menyebabkan hilangnya nitrogen dalam tanah yang secara berturut memicu hilangnya karbon organik dalam tanah, dimana kapasitas air hujan berlebih dapat menyebabkan pencucian bahan organik [31].

B. Komposisi Spesies Ikan Gelodok

Data spesies ikan gelodok yang didapatkan pada lokasi penelitian sebanyak 5 spesies yaitu *Periophthalmodon schlosseri* (*Pn. s*), *Periophthalmus gracilis* (*P. g*) dan *Periophthalmus variabilis* (*P. v*), spesies *Boleophthalmus pectinirostris* (*B. p*), serta *Periophthalmus argentilineatus* (*P. a*). Ukuran ikan gelodok yang ditemukan beragam pada masing-masing plot, *Periophthalmodon schlosseri* memiliki kisaran panjang tubuh 3-25 cm, *Periophthalmus gracilis* memiliki kisaran panjang tubuh 4-15 cm, *Periophthalmus variabilis* dengan kisaran panjang tubuh 4-10 cm, *Boleophthalmus pectinirostris* diperkirakan memiliki panjang tubuh 10-30 cm dan *Periophthalmus argentilineatus* diperkirakan memiliki panjang tubuh 5-7 cm. Sebaran dan kehadiran setiap spesies ikan gelodok berdasarkan frekuensi perjumpaan pada 10 plot pengamatan disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan jenis makanannya, 5 spesies *mudskipper* yang ditemukan memiliki kecenderungan dalam pemilihan makanan yang berbeda-beda. *Periophthalmodon schlosseri* diketahui lebih banyak memakan ikan kecil pada kelompok *Oryzias* sp., crustacea kecil seperti *Uca* sp., beberapa ikan berukuran kecil atau juvenil, serta udang selama air surut bergantung pada jenis makanan yang tersedia, sedangkan selama air pasang beberapa ekor spesies ini akan memanjat pepohonan dan memakan serangga [32-33]. *Periophthalmus gracilis*, *Periophthalmus variabilis* dan *Periophthalmus argentilineatus* dilaporkan memiliki kecenderungan sebagai pemakan segala atau omnivora, berdasarkan penelitian Udo, dkk, genus *Periophthalmus* cenderung lebih banyak memakan serangga, crustacea, polychaeta, algae, arachnida, detritus, moluska, beberapa nematoda, chilopoda serta fungi [34]. Spesies *Boleophthalmus pectinirostris* merupakan *benthic diatom-feeders* namun spesies ini akan menyeleksi jenis makanannya berdasarkan kelimpahan, ketersediaan, ukuran dan suhu [35-36]. Perhatikan Tabel 4.

Berdasarkan penelitian Polgar, dkk. spesies *Pn. schlosseri* lebih sering menghabiskan waktunya diatas permukaan

substrat (daratan), sehingga hal ini mendukung hasil penelitian dimana spesies ini ditemukan lebih banyak dibandingkan dengan spesies yang lain karena aktivitasnya lebih banyak dihabiskan diatas permukaan substrat [37]. Spesies *Pn. Schlosseri* lebih banyak ditemukan di wilayah intermediet hutan mangrove dan sebarannya tidak bergantung pada jenis vegetasi mangrove, sedangkan genus *Periophthalmus* lebih banyak ditemukan di wilayah yang dekat dengan daratan dan cenderung berasosiasi dengan vegetasi yang rapat dalam komunitas hutan mangrove [35]. Penelitian Polgar menyatakan bahwa genus *Boleophthalmus* pada fase dewasa cenderung memilih habitat dengan substrat jarang vegetasi, namun fase juvenile spesies ini lebih memilih habitat bervegetasi dengan waktu pasang surut yang relatif cepat, spesies ini menghabiskan lebih banyak waktunya di perairan. Gambar spesies dapat dilihat pada Gambar 3 [37].

C. Hasil Pengamatan Kelimpahan Ikan Gelodok

Hasil pengamatan kelimpahan fisik ikan gelodok 8 ± 4.88194 Individu/100m² lebih rendah dibandingkan dengan rata-rata jumlah lubang sarang sebanyak 10 ± 3.28126 lubang sarang/100m². Hal ini disebabkan karena perilaku ikan gelodok (*mudskipper*) yang umumnya membuat lebih dari 1 (satu) lubang sarang di permukaan tanah. *Mudskipper* cenderung membuat lebih dari satu lubang di permukaan untuk mengecoh predator, memudahkan mobilitas dan mempermudah upaya penyimpanan udara di dalam sarang [38-39]. Berdasarkan Tabel 5, ditemukan perbedaan jumlah ikan yang muncul ke permukaan substrat. Perbedaan tersebut dimungkinkan terjadi karena perbedaan perilaku atau lama waktu masing-masing spesies melakukan aktivitasnya. Kemunculan ikan gelodok (*mudskipper*) pada plot penelitian yang cenderung sedikit dibandingkan dengan penelitian Akbar, dkk yang mampu menghitung dan mengidentifikasi sebanyak 62-324 individu ikan gelodok pada 4 lokasi berbeda di Maluku [40].

Pada bulan Desember–Maret 2021 di Tabel 5, merupakan musim hujan dengan intensitas curah hujan cukup deras di wilayah penelitian. Meskipun ikan gelodok akan aktif kawin pada musim hujan namun ikan gelodok atau *mudskipper* cenderung menghindari aktivitas pada saat hari sedang hujan karena terjadi penurunan suhu sehingga kurang sesuai dengan preferensi habitat yang membuat kemunculan ikan gelodok di atas substrat perlahan berkurang [41].

D. Hasil Analisis Korelasi Karbon Organik Tanah dengan Parameter Lingkungan

Faktor lingkungan yang diukur antara lain pH tanah, salinitas, suhu tanah, dan kelembaban tanah tersaji pada Tabel 6.

Sementara untuk kelembaban tanah pada tiap plot berada pada tingkat yang sama yaitu pada range 80%-100% atau ditandai dengan simbol *wet+* pada *soil moisture tester digital*. Hasil tersebut menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan antar plot penelitian, sehingga diperkirakan 10 plot penelitian memiliki kelembaban tanah yang seragam dan merepresentasikan lokasi penelitian berupa area lahan basah ekosistem mangrove.

1) Korelasi Karbon Organik dengan pH Tanah

Nilai korelasi pH tanah dengan karbon organik menunjukkan hasil $r = 0.586$ ($p < 0.05$) dikategorikan

memiliki korelasi cukup kuat dengan nilai mendekati +1 yang menandakan bahwa kenaikan pH tanah berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi karbon organik dalam tanah, namun hasil uji menunjukkan nilai yang tidak signifikan secara statistik. Nilai yang didapatkan ini berbanding terbalik dengan asumsi awal berdasarkan penelitian J Bai, dkk yang menyebutkan bahwa pH tanah memiliki korelasi negatif ($P < 0.01$) dengan persentase karbon organik tanah di wilayah lahan basah, hal ini menunjukkan bahwa dalam kondisi pH rendah maka kemungkinan persentase karbon organik tanah akan meningkat [42].

Hasil korelasi positif ini dapat dikarenakan penambahan bahan organik dalam tanah memicu terbentuknya *buffer* alami untuk melepas hidrogen pada gugus karboksil dalam tanah yang dapat memicu peningkatan pH pada tanah masam. Asumsi tersebut didukung dengan pernyataan A. Bot and Benites asam lemah, seperti asam organik dalam humus dapat menentukan pH tanah karena tidak melepaskan hidrogen (H) dengan mudah [43]. Ketika pH suatu tanah meningkat kemungkinan yang terjadi adalah pelepasan H dari gugus karboksil dapat dan pada saat yang sama menciptakan muatan negatif, sehingga bertambahnya bahan organik tanah memulihkan kapasitas penyangga alami yang mengakibatkan peningkatan pH di tanah masam.

Nilai rata-rata pH tanah adalah $5,3712 \pm 0,375$ yang masih berada pada *range* normal untuk pH tanah pada komunitas mangrove. Penelitian sebelumnya tentang hutan bakau tropis di seluruh dunia diketahui bahwa tanah bakau dapat bersifat asam atau basa dengan kisaran pH tanah antara 2.87-6.40 [44-45]. Meskipun demikian, menurut penelitian L. Zhou, nilai pH tanah mungkin terkait dengan dekomposisi karbon organik tanah pada kedalaman hingga 100 cm yang mempengaruhi respirasi dan aktivitas mikroba, karena kebanyakan mikroorganisme lebih memilih untuk tumbuh dan memetabolisme dengan nilai pH mulai dari 6-8 [46].

2) Korelasi Karbon Organik Tanah dengan Salinitas Air

Nilai korelasi salinitas dengan karbon organik menunjukkan hasil $r = -0.045$ ($p < 0.05$) dapat dikategorikan memiliki korelasi sangat lemah dengan nilai negatif mendekati 0 yang menandakan bahwa konsentrasi karbon organik tanah berbanding terbalik dengan peningkatan salinitas air, hasil perhitungan menunjukkan nilai korelasi yang tidak signifikan secara statistik. Hasil yang didapatkan berbeda dengan asumsi awal yang menyebutkan bahwa nilai salinitas akan berbanding lurus dengan kandungan karbon organik dalam tanah. Meskipun demikian, penelitian Y. Gao dkk, menunjukkan bahwa salinitas air tanah atau sampel tanah yang bercampur dengan air, nilainya akan berbanding terbalik dengan kadar karbon organik dalam tanah [47].

Nilai salinitas air yang didapatkan berbeda pada setiap plotnya, hal ini dapat dikarenakan lokasi pengambilan sampel yang dapat dikategorikan menjadi 2 yaitu lokasi yang berada pada sisi dalam Hutan Mangrove dan lokasi yang berada pada sisi luar yang berbatasan langsung dengan laut lepas. Selain itu dapat pula dikarenakan hujan yang turun sehari sebelum dan/atau beberapa hari sebelum pengambilan sampel yang dapat menurunkan kadar salinitas permukaan air atau wilayah lain di sekitar plot pengambilan sampel. Hujan secara jelas dapat mempengaruhi temperatur dan salinitas air suatu wilayah perairan, karena *input* air dapat menurunkan

temperatur dan salinitas terutama pada bagian permukaan lautan [48].

Nilai rata-rata salinitas di lokasi penelitian memiliki kadar salinitas normal yaitu $27,167 \pm 1,2411\%$. Menurut F.K Muzaki, salinitas air rata-rata pada lokasi penelitian yaitu pada wilayah dekat Hutan Mangrove Desa Labuhan adalah 29% dengan toleransi salinitas organisme laut pada kisaran 18-32 % yang masih tergolong wajar untuk kehidupan organisme laut [49].

3) Korelasi Karbon Organik Tanah dengan Suhu Tanah

Nilai korelasi suhu tanah dengan karbon organik menunjukkan hasil $r = -0.125$ ($p < 0.05$) dapat dikategorikan memiliki korelasi sangat lemah dengan nilai negatif mendekati 0 yang menandakan bahwa konsentrasi karbon organik tanah berbanding terbalik dengan peningkatan suhu tanah dan hasil menunjukkan nilai korelasi tidak signifikan secara statistik. Hasil korelasi sesuai dengan asumsi awal yang menyatakan bahwa peningkatan suhu permukaan tanah atau perairan dapat menurunkan stok karbon organik tanah sedangkan penurunan suhu dapat menurunkan aktivitas mikroba dalam tanah sehingga dapat meningkatkan stok karbon organik tanah [50-51].

Nilai rata-rata suhu yang didapatkan adalah $29.03 \pm 0.9369^{\circ}\text{C}$, suhu cenderung lebih rendah dibandingkan dengan penelitian lain pada lokasi yang sama dapat diasumsikan karena waktu pengambilan sampel dilakukan pada saat matahari mulai meninggi yaitu pada kisaran pukul 09.00–11.00 WIB dan kondisi malam sebelum atau beberapa hari pengambilan sampel terjadi hujan deras yang dapat menurunkan suhu permukaan tanah. Penyebab lain dikarenakan pengambilan data suhu permukaan tanah berdekatan dengan naungan vegetasi mangrove yang cenderung lebih rindang. Rata-rata suhu perairan di wilayah Hutan Mangrove desa Labuhan ini adalah $31,64^{\circ}\text{C}$ yang masih berada pada kisaran perairan laut standar kualitas untuk kehidupan laut yaitu pada rentang suhu $28-32^{\circ}\text{C}$ [47].

E. Hasil Analisis Korelasi Karbon Organik Tanah dengan Kelimpahan Ikan Gelodok dan Lubang Sarang

Hasil uji korelasi kelimpahan rata-rata ikan gelodok (*mudskipper*) dan rata-rata lubang sarang ikan gelodok (*mudskipper*) dengan persentase karbon organik disajikan dalam Tabel 7.

Kedua faktor uji korelasi pada Tabel 7, menunjukkan nilai positif namun memiliki korelasi sangat lemah yang menandakan bahwa baik hubungan antara jumlah rata-rata kelimpahan ikan gelodok maupun rata-rata jumlah lubang sarang dengan karbon organik tanah tidak berkaitan satu sama lain dan dinyatakan tidak signifikan secara statistik.

Hasil analisis korelasi yang tidak signifikan diperkirakan terjadi dikarenakan posisi ikan gelodok yang berada pada posisi *intermediate* pada trofik makanan, dimana beberapa spesies ikan dalam ekosistemnya tidak berhubungan secara langsung dengan karbon organik dalam tanah, meskipun sebagian spesies ikan gelodok merupakan pemakan detritus dan diatom yang merupakan bagian dari bahan organik pada tanah. Kelimpahan lubang sarang *mudskipper* kemungkinan bukan satu-satunya faktor atau bukan faktor utama yang mempengaruhi penyimpanan karbon dalam tanah. Berdasarkan hasil pengamatan di lokasi penelitian, habitat ikan gelodok dan lokasi pembuatan sarangnya

berdampingan dengan *crustacea* dan lubang sarang yang dapat menjadi faktor pendukung lain terhadap persentase karbon organik dalam tanah.

Asumsi awal terhadap kehadiran ikan gelodok (*mudskipper*) adalah ikan ini memiliki fungsi ekologis untuk melakukan bioturbasi. Bioturbasi merujuk pada proses pelapukan substrat, daur nutrisi, penganginan (*ventilasi*) pada sedimen dengan aktivitas makrofauna untuk membuat sarang atau aktivitas mencari makan sehingga dapat meningkatkan bahan organik dan membantu pertukaran nutrisi dalam sedimen [52-53]. Karena tidak didapatkan nilai korelasi yang cukup kuat untuk melihat fungsi ikan gelodok sebagai organisme bioturbasi yang dapat membantu penguburan karbon organik dalam tanah, maka dalam penelitian ini digunakan studi lain pada *crustacea* sebagai pembanding untuk melihat faktor lain yang mendukung penimbunan karbon organik dalam tanah secara analisis deskriptif. *Crustacea* dipilih sebagai pembanding pada penelitian ini karena preferensi habitat kepiting (*crustacea*) yang mirip dengan preferensi habitat ikan gelodok, memiliki perilaku membuat lubang sarang dibawah tanah serta perbandingan terhadap perilaku makan kepiting di area Hutan Mangrove.

Berdasarkan penelitian Thomas, bahan organik ditemukan lebih tinggi pada lokasi yang terdapat kepiting biola (*Uca pugnax*), beriringan dengan menurunnya kekompakan substrat, pada mempertimbangkan kecepatan dekomposisi serasah pada lokasi yang diasumsikan bahwa lubang sarang dapat meningkatkan pembusukan serasah yang lebih hemat energi [54]. Penelitian lain menunjukkan bahwa ada kecenderungan terhadap lokasi yang terdapat lubang sarang *crustacea*, sebagian besar spesies *Helice tientsinensis*, memiliki nilai akumulasi karbon dan nitrogen dalam tanah, meningkatkan kadar air dalam tanah dan dapat menurunkan kekompakan tanah (*soil bulk*) yang lebih baik dibandingkan dengan lokasi yang tidak terdapat lubang sarang *crustacea* [55]. Berdasarkan pernyataan tersebut, dapat diasumsikan bahwa aktivitas membuat sarang ikan gelodok belum cukup kuat menjadi faktor pendukung untuk melakukan bioturbasi dalam upaya penimbunan karbon organik tanah.

Kepiting (*crustacea*) sendiri dikatakan sebagai spesies kunci di ekosistem karena aktivitas membuat sarangnya dilaporkan dapat membantu *recycle* lumpur mangrove dan meningkatkan aerasi tanah sehingga dapat meningkatkan kesuburan tanah dan penangkapan karbon. Pada penelitian M. S Islam, menjelaskan bahwa didalam organ pencernaan *Perisesarma bidens* (*De Haan*) ditemukan daun dengan potongan kecil karena perilaku makan kepiting capit merah ini mencincang atau memotong serasah terdekomposisi menjadi bagian-bagian kecil sebelum akhirnya dimakan. Perilaku ini diperkirakan membantu *input* bahan organik atau karbon organik karena tidak seluruh bagian serasah yang dipotong akan dimakan yang membuat sisa serasah atau feses *crustacea* akan terendap di sedimen [56]. Perilaku makan yang seperti ini tidak dimiliki oleh ikan gelodok (*mudskipper*) karena berdasarkan data yang diperoleh, spesies pada lokasi penelitian lebih banyak ditemukan ikan gelodok karnivora dan omnivora yang lebih memilih memakan serangga, ikan kecil dan bahkan memakan bahan organik pada sedimen (detritus). Posisi kepiting (*sesarmid crabs*) pada ekosistem mangrove dikatakan memiliki peran penting dan dapat secara langsung berimbas dalam rantai makanan [57], meskipun

ikan gelodok (*mudskipper*) juga termasuk dalam rantai makanan pada ekosistem mangrove namun pentingnya keberadaan ikan gelodok dalam mempengaruhi bahan organik dalam tanah atau fungsi bioturbasi sendiri masih memerlukan penelitian lebih lanjut.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa konsentrasi karbon organik di Hutan Mangrove, Desa Labuhan, Kecamatan Sepulu, Bangkalan-Madura berkisar antara 1.33%-2.83% dengan rata-rata $2.217 \pm 0.555\%$. Kelimpahan ikan gelodok (*mudskipper*) memiliki rata-rata 8 ± 4.88194 individu/100m² untuk kelimpahan fisik dan rata-rata 10 ± 3.28126 sarang/100m² untuk kelimpahan non-fisik. Hasil analisis korelasi *Pearson* antara ikan gelodok dengan karbon organik tanah menunjukkan korelasi yang lemah dan tidak signifikan secara statistik yaitu $r = 0.193$ untuk korelasi dengan kelimpahan rata-rata fisik (kemunculan ikan gelodok di permukaan) dan $r = 0.083$ untuk korelasi dengan kelimpahan rata-rata lubang sarang ikan gelodok. Faktor lingkungan juga dinyatakan tidak memiliki pengaruh secara statistik terhadap karbon organik tanah, sehingga terdapat kemungkinan *input* sumber karbon organik dalam tanah selain faktor terukur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pengurus Taman Pendidikan Mangrove Desa Labuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Le Quéré, R. Andres, and T. Boden, "The global carbon budget 1959–2011," *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 5, no. 1, pp. 165–185, 2013, doi: <https://doi.org/10.5194/essd-5-165-2013>.
- [2] T. R. Anderson, E. Hawkins, and P. D. Jones, "CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models," *Endeavour*, vol. 40, no. 3, pp. 178–187, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2016.07.002>.
- [3] Edenhofer, R. Pichs-Madruga, and Y. Sokona, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group Iii to The Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1st ed. United States of Amerika: Cambridge University Press, Cambridge, Uk And New York, 2014.
- [4] M. Tavoni *et al.*, "Post-2020 climate agreements in the major economies assessed in the light of global models," *Nat. Clim. Chang.*, vol. 5, pp. 119–126, Dec. 2014, doi: [10.1038/nclimate2475](https://doi.org/10.1038/nclimate2475).
- [5] P. Smith, "Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies," *Glob. Chang. Biol.*, vol. 3, no. 22, pp. 1315–1324, 2016, doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.13178>.
- [6] R. Lal, "Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security," *Science (80-.)*, vol. 304, no. 5677, pp. 1623–1627, 2004, doi: [10.1126/science.1097396](https://doi.org/10.1126/science.1097396).
- [7] P. Chaikaew and S. Chavanich, "Spatial variability and relationship of mangrove soil organic matter to organic carbon," *Appl. Environ. Soil Sci.*, pp. 1–9, 2017, doi: <https://doi.org/10.1155/2017/4010381>.
- [8] G. Kibria, *Mangrove Forests- Its Role in Livelihoods, Carbon Sinks and Disaster Mitigation*, 1st ed. Melbourne, Australia: RMIT University, 2013.
- [9] C. Byun, S. H. Lee, and H. Kang, "Estimation of carbon storage in coastal wetlands and comparison of different management schemes in South Korea," *J. Ecol. Environ.*, vol. 8, no. 43, pp. 1–12, 2019, doi: <https://doi.org/10.1186/s41610-019-0106-7>.
- [10] Keddy, *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. England: Cambridge University Press, 2010.
- [11] D. M. Alongi, "Carbon cycling and storage in mangrove forests," *Ann. Rev. Mar. Sci.*, vol. 6, pp. 195–219, 2014, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>.
- [12] S. L. Jardine and J. V. Siikamäki, "A global predictive model of carbon in mangrove soils," *Environ. Res. Lett.*, vol. 9, no. 10, p. 104013, 2014, doi: [10.1088/1748-9326/9/10/104013](https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/104013).
- [13] D. M. Alongi, "Carbon sequestration in mangrove forests," *Carbon Manag.*, vol. 3, no. 3, pp. 313–322, Jun. 2012, doi: [10.4155/cmt.12.20](https://doi.org/10.4155/cmt.12.20).
- [14] R. Shofiyati, I. Las, and F. Agus, "Indonesian soil data base and predicted stock of soil carbon," *Proc. Int. Work. Valuat. Sustain. Manag. Soil Carbon Sequestration Asian Countries, Bogor, Indones.*, 2010.
- [15] C. Weiss, J. Weiss, J. Boy, I. Iskandar, R. Mikutta, and G. Guggenberger, "Soil organic carbon stocks in estuarine and marinemangrove ecosystems are driven by nutrient colimitation of P and N," *Ecol. Evol.*, vol. 6, no. 14, pp. 5043–5056, 2016, doi: [10.1002/ece3.2258](https://doi.org/10.1002/ece3.2258).
- [16] R. Velayutham, *Marine Biodiversity: Present Status and Prospects, Habitat Loss and Population Reduction of Mudskippers (Family: Gobiidae) from Tamil Nadu, S.E. Coast of India*, 1st ed. Narendra Publishing House, 2012.
- [17] L. Wang, M. Xu, B. Liu, T. Jiang, S. Zhang, and J. Yang, "Experimental study on morphology and kinematics of mudskipper in amphibious environments," *2013 IEEE Int. Conf. Robot. Biomimetics*, pp. 1095–1100, 2013.
- [18] A. Ansari, S. Trivedi, S. Saggi, and H. Rehman, "Mudskipper: a biological indicator for environmental monitoring and assessment of coastal waters," *J. Entomol. Zool. Stud.*, vol. 2, no. 6, pp. 22–33, Jan. 2014.
- [19] K. Lorenz and R. Lal, "The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons," *Adv. Agron.*, vol. 88, pp. 35–66, 2005.
- [20] L. Shenoy, V. K. Patro, and X. Ying, *Effect of Mudskipper on The Soil Composition and Texture in Mangrove Forest, and Hence The Growth of Mangrove (Avicennia alba)*. Singapore: Student Research Grant Project Report, 2012.
- [21] F. K. Muzaki, D. Saptarini, and A. S. Ibadah, "Juvenile and small fish diversity in mangroves of different root types in the Labuhan Coastal Area, Bangkalan, Indonesia," *BIODIVERSITAS*, vol. 20, no. 6, pp. 1537–1543, 2019, doi: [DOI: 10.13057/biodiv/d200607](https://doi.org/10.13057/biodiv/d200607).
- [22] S. R. Sherpa, D. W. Wolfe, and H. M. van Es, "Sampling and data analysis optimization for estimating soil organic carbon stocks in agroecosystems," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 80, no. 5, pp. 1377–1392, Sep. 2016, doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.04.0113>.
- [23] Y. E. Rakhma, "Nilai Faktor Konversi C-Organik Ke Bahan Organik Pada Beberapa Jenis Tanah," Institut Pertanian Bogor, 2002.
- [24] S. Drastinawati, D. Syafriadiman and S. Hasibuan, "Pengaruh Amelioran Formulasi terhadap Kualitas Tanah dan Air Kolam Gambut," Riau University, 2017.
- [25] A. Ningsih, "Keanekaragaman ikan gelondok (mudskipper) di hutan mangrove Kecamatan Ujung Pangkah Kabupaten Gresik," *J. Enggano*, vol. 3, no. 5, pp. 367–376, 2020.
- [26] J. Sarwono, *Metode Penelitian Kuantitatif & Kualitatif / Jonathan Sarwono*, 1st ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [27] Rudianto, A. A. Putra, and C. S. U. Dewi, "Analysis of the ability of mangrove sequestration and carbon stock in Pejarakan village, Buleleng regency, Bali," *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.*, vol. 11, no. 3, pp. 511–526, 2019.
- [28] Y. Windusari, S. Sarno, E. Saleh, and L. Hanum, "Substrate characteristics and its impact on distribution of mangrove species: a case study in Sungai Barong Kencil in the Sembillang National Park at Banyuasin, South Sumatra," *Berk. Penelit. Hayati*, vol. 20, no. 1, pp. 82–86, 2015, doi: [10.23869/108](https://doi.org/10.23869/108).
- [29] M. B. Barreto, S. Lo Mónaco, R. Díaz, E. Barreto-Pittol, L. López, and M. do Carmo Ruaro Peralba, "Soil organic carbon of mangrove forests (Rhizophora and Avicennia) of the Venezuelan Caribbean coast," *Org. Geochem.*, vol. 100, pp. 51–61, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2016.08.002>.
- [30] C. Marchand, "Soil carbon stocks and burial rates along a mangrove forest chronosequence (French Guiana)," *For. Ecol. Manage.*, vol. 384, pp. 92–99, Jan. 2017, doi: [10.1016/j.foreco.2016.10.030](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.030).
- [31] M. U. F. Kirschbaum, L. Bin Guo, and R. M. Gifford, "Why does rainfall affect the trend in soil carbon after converting pastures to forests?: a possible explanation based on nitrogen dynamics," *For. Ecol. Manage.*, vol. 255, no. 7, pp. 2990–3000, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.005>.
- [32] Zulkifli, S.Z., Mohamat-Yusuff, F., Ismail, A., and Miyazaki, N., "Food preference of the giant mudskipper Periophthalmodon schlosseri (Teleostei : Gobiidae)," *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, no. 405, p. 7, 2012, doi: [10.1051/kmae/2012013](https://doi.org/10.1051/kmae/2012013).
- [33] N. Y. Hui, M. Mohamed, M. N. A. Othman, and L. Tokiman, "Diversity and behaviour of mudskippers of Tanjung Piai, Pontian, Johor," *Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 269, no. 1, p. 12037, Jul.

- 2019, doi: 10.1088/1755-1315/269/1/012037.
- [34] M. T. Udo, "Trophic attributes of the mudskipper, *periophthalmus barbarus* (Gobiidae: Oxudercinae) in the mangrove swamps of Imo River Estuary, Nigeria.," *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 14, no. 4, pp. 508–517, Oct. 2002.
- [35] G. Polgar and G. Crosa, "Multivariate characterisation of the habitats of seven species of Malayan mudskippers (Gobiidae: Oxudercinae)," *Mar. Biol.*, vol. 156, no. 7, pp. 1475–1486, 2009, doi: 10.1007/s00227-009-1187-0.
- [36] R. C. Mary, A. Kumaraguru, and V. Saisaraswathi, "A review about fish walking on land," *J. Threat. Taxa*, vol. 12, no. 17 SE-Reviews, pp. 17276–17286, Dec. 2020, doi: 10.11609/jott.6243.12.17.17276-17286.
- [37] G. Polgar *et al.*, "Ecomorphological adaptation in three mudskippers (Teleostei: Gobioidi: Gobiidae) from the Persian Gulf and the Gulf of Oman," *Hydrobiologia*, vol. 795, no. 1, pp. 91–111, 2017, doi: 10.1007/s10750-017-3120-8.
- [38] Afriyanti, "Kebiasaan Makan Ikan Blodok *Boleophthalmus Boddarti* pall., 1770 di Perairan Ujung Pangkah, Jawa Timur," Institut Pertanian Bogor, 2000.
- [39] A. Ishimatsu and J. B. Graham, "Roles of environmental cues for embryonic incubation and hatching in mudskippers," *Integr. Comp. Biol.*, vol. 51, no. 1, pp. 38–48, Jul. 2011, doi: 10.1093/icb/118.
- [40] N. Akbar *et al.*, "Distribusi dan karakteristik habitat ikan tembakul (*Gobiidae* sp) di pesisir pantai Pulau Ternate Provinsi Maluku Utara," *J. Marit.*, vol. 1, no. 2, pp. 49–58, 2020.
- [41] Y. Ikebe and T. Oishi, "Relationships between environmental factors and diel and annual changes of the behaviors during low tides in *periophthalmus modestus*," *Zoolog. Sci.*, vol. 14, no. 1, pp. 49–55, Feb. 1997, doi: 10.2108/zsj.14.49.
- [42] J. Bai, R. Xiao, K. Zhang, H. Gao, B. Cui, and X. Liu, "Soil organic carbon as affected by land use in young and old reclaimed regions of a coastal estuary wetland, China," *Soil Use Manag.*, vol. 29, no. 1, pp. 57–64, 2013.
- [43] A. Bot and J. Benites, "The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production," *Food Agric. Org*, vol. 80, 2005.
- [44] H. R. Khan, S. Rahman, M. S. Hussain, and T. Adachi, "Morphology and characterization of an acid sulfate soil from mangrove flood plain area of Bangladesh," *Soil Phys. Cond. Plant Growth*, vol. 68, pp. 25–36, 1993.
- [45] S. Sukardjo, "Soils in the mangrove forests of the apar nature reserve, Tanah Grogot, East Kalimantan, Indonesia," *Southeast Asian Stud.*, vol. 32, no. 3, p. 385, 1994.
- [46] L. Zhou, B. Li, and G. Zhou, "Advances in controlling factors of soil organic carbon," *Adv. Earth Sci.*, vol. 20, no. 1, pp. 99–105, 2005.
- [47] Y. Gao *et al.*, "Distribution patterns and controlling factors for the soil organic carbon in four mangrove forests of China," *Glob. Ecol. Conserv.*, vol. 17, p. e00575, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00575>.
- [48] K. Katsaros and K. J. K. Buettner, "Influence of rainfall on temperature and salinity of the ocean surface," *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, vol. 8, no. 1, pp. 15–18, 1969, doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1969\)008<0015:IOROTA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1969)008<0015:IOROTA>2.0.CO;2).
- [49] F. K. Muzaki, A. Giffari, and D. Saptarini, "Community structure of fish larvae in mangroves with different root types in Labuhan coastal area, Sepulu–Madura," *AIP Conf. Proc.* 1854(1), 2017.
- [50] P. Smith, C. Fang, J. J. C. Dawson, and J. B. B. T.-A. in A. Moncrieff, "Impact of global warming on soil organic carbon," vol. 97, pp. 1–43, 2008, doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)00001-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)00001-6).
- [51] R. Qi *et al.*, "Temperature effects on soil organic carbon, soil labile organic carbon fractions, and soil enzyme activities under long-term fertilization regimes," *Appl. Soil Ecol.*, vol. 102, pp. 36–45, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.02.004>.
- [52] R. C. Aller, "Bioturbation and remineralization of sedimentary organic matter: effects of redox oscillation," *Chem. Geol.*, vol. 114, no. 3, pp. 331–345, 1994, doi: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90062-0](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90062-0).
- [53] K. Hansen and E. Kristensen, "Impact of macrofaunal recolonization on benthic metabolism and nutrient fluxes in shallow marine sediment previously overgrown with macroalgae mats," *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, vol. 45, no. 5, pp. 613–628, 1997, doi: <https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0229>.
- [54] C. Armstrong and L. K. Blum, "Importance of the fiddler crab *Uca pugnax* to salt marsh soil organic matter accumulation," *Mar. Ecol. Ser.*, vol. 412, Sep. 2010, doi: 10.3354/meps08708.
- [55] D. Qiu *et al.*, "Effect of burrowing crabs on retention and accumulation of soil carbon and nitrogen in an intertidal salt marsh," *J. Sea Res.*, Nov. 2019.
- [56] Islam and T. Uehara, "Feeding habits of the sesarmid crab *Perisesarma bidens* (De Haan) in the mangroves of the Ryukyu Islands, Japan," *Bangladesh J. Fish. Res.*, vol. 12, no. 2, pp. 213–224, 2008, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/1834/34230>.
- [57] S. Ravichandran, A. Anthonisamy, T. Kannupandi, and T. Balasubramanian, "Leaf choice of herbivorous mangrove crabs," *Res. J. Environ. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 26–30, 2007, doi: DOI: 10.3923/rjes.2007.26.30.