

EMISI GAS RUMAH KACA ($\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}$) DAN SERAPAN KARBON VEGETASI MANGROVE DI TELUK BENOA, BALI

I PUTU SUGIANA



PROGRAM MAGISTER ILMU KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂,CH₄,N₂O) dan Serapan Karbon Vegetasi Mangrove di Teluk Benoa, Bali” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2024

I Putu Sugiana
C5501221010

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

I PUTU SUGIANA. Emisi Gas Rumah Kaca ($\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}$) dan Serapan Karbon Vegetasi Mangrove di Teluk Benoa, Bali. Dibimbing oleh TRI PRARTONO, RASTINA dan ALAN FRENDY KOROPITAN.

Ekosistem mangrove memainkan peran penting dalam mitigasi perubahan iklim melalui fungsi penyerap dan penyimpan karbon. Namun, sedimen mangrove juga melepaskan gas rumah kaca (GRK) ke atmosfer melalui hasil metabolisme mikroba, yang membuktikan bahwa mangrove tidak hanya menyerap karbon tetapi juga melepaskannya. Pelepasan GRK ini bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan dan faktor iklim musiman. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur fluks GRK dari sedimen ke atmosfer dan serapan karbon pada vegetasi mangrove, serta menganalisis pengaruh zonasi jenis mangrove terhadap fluks GRK dan serapan karbon di Teluk Benoa, Bali. Penelitian dilakukan dengan metode chamber tertutup untuk mengukur fluks GRK dari sedimen ke atmosfer. Serapan karbon pada vegetasi diukur dengan pendekatan nilai serasah yang dihasilkan. Lokasi pengukuran ditentukan berdasarkan zonasi dari tiga genus mangrove dominan: *Bruguiera*, *Rhizophora*, dan *Sonneratia*. Fluks GRK yang diukur meliputi karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O). Analisis faktor lingkungan meliputi kondisi sedimen berupa pH tanah, persentase kandungan air, *bulk density*, ukuran butir (kerikil, pasir, lanau, dan liat), serta total organic carbon (TOC), total nitrogen Kjeldahl (TKN), dan total fosfor (TP), serta air poros berupa suhu, pH, salinitas, potential redox (ORP), dan oksigen terlarut (DO). Hasil pengukuran menunjukkan fluks CO_2 berkisar antara $322,5-3494,5 \mu\text{molm}^{-2}\text{h}^{-1}$, fluks CH_4 antara $-24,7-60,9 \mu\text{molm}^{-2}\text{h}^{-1}$, dan fluks N_2O antara $-1,2-2,3 \mu\text{molm}^{-2}\text{h}^{-1}$. Fluks GRK tertinggi ditemukan di zona yang didominasi oleh *Sonneratia*, namun secara statistik tidak ada perbedaan signifikan antar zona jenis mangrove. Analisis menunjukkan bahwa fluks GRK berhubungan erat dengan struktur tegakan mangrove seperti kerapatan pancang dan kondisi sedimen (TOC, TKN, kadar air, *bulk density*, dan tipe sedimen), namun faktor zonasi jenis mangrove tidak signifikan dalam mempengaruhi fluks GRK. Serapan karbon pada vegetasi dihitung berdasarkan nilai serasah yang dihasilkan, dengan nilai serapan berkisar antara $26,08-32,65 \text{MgCO}_2 \text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$. *Warming effect* bernilai hanya $0,9-1,8 \text{MgCO}_2 \text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$, yang setara dengan $3-7\%$ dari serapan karbon pada vegetasi. Ini menunjukkan bahwa meskipun ekosistem mangrove mengemis GRK dari sedimen ke atmosfer, jumlah emisi ini sangat rendah dibandingkan dengan laju sekuestrasi karbon pada vegetasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa ekosistem mangrove di Teluk Benoa, Bali cenderung lebih berperan sebagai penyerap dan penyimpan karbon dibandingkan sebagai sumber emisi GRK. Kategori mangrove berdasarkan jenis dominan tidak menyebabkan variasi signifikan pada fluks GRK dari sedimen ke atmosfer, sehingga faktor zonasi jenis mangrove dapat diabaikan dalam perhitungan fluks GRK dan serapan karbon pada vegetasi.

Kata kunci: chamber tertutup, CO_2 , CH_4 , N_2O , *warming effect*



SUMMARY

I PUTU SUGIANA. Greenhouse Gas Emission (CO₂,CH₄,N₂O) and Mangrove Vegetation Carbon Absorption in Benoa Bay, Bali. Supervised by TRI PRARTONO, RASTINA and ALAN FRENDY KOROPITAN.

Mangrove ecosystems play a crucial role in climate change mitigation through their functions as carbon sinks and storage. However, mangrove sediments also release greenhouse gases (GHGs) into the atmosphere due to microbial metabolism, demonstrating that mangroves not only absorb but also emit carbon. The emission of GHGs varies depending on environmental conditions and seasonal climate factors. This study aims to measure GHG fluxes from sediments to the atmosphere and carbon sequestration in mangrove vegetation, as well as to analyze the impact of mangrove zonation on GHG fluxes and carbon sequestration in Teluk Benoa, Bali. The research employs closed-chamber methods to measure GHG fluxes from sediments to the atmosphere. Carbon absorption in vegetation is measured using litterfall values. Measurement locations are determined based on the zonation of three dominant mangrove genera: *Bruguiera*, *Rhizophora*, and *Sonneratia*. Measured GHG fluxes include carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O). Environmental factors analyzed include sediment conditions such as soil pH, moisture content, bulk density, grain size (gravel, sand, silt, and clay), total organic carbon (TOC), total Kjeldahl nitrogen (TKN), and total phosphorus (TP), as well as pore water conditions including temperature, pH, salinity, redox potential (ORP), and dissolved oxygen (DO). The measurements reveal CO₂ fluxes ranging from 322.5 to 3494.5 μmol m⁻² h⁻¹, CH₄ fluxes from -24.7 to 60.9 μmol m⁻² h⁻¹, and N₂O fluxes from -1.2 to 2.3 μmol m⁻² h⁻¹. The highest GHG fluxes are found in zones dominated by *Sonneratia*, though statistically, there are no significant differences between mangrove zones. Analysis indicates that GHG fluxes are closely related to mangrove stand structure, such as tree density and sediment conditions (TOC, TKN, moisture content, bulk density, and sediment type), while mangrove zonation does not significantly influence GHG fluxes. Carbon sequestration in vegetation, based on litterfall values, ranges from 26.08 to 32.65 Mg CO₂ ha⁻¹ yr⁻¹. The warming effect is only 0.9 to 1.8 Mg CO₂ ha⁻¹ yr⁻¹, equivalent to 3-7% of the carbon sequestration in vegetation. This indicates that although mangrove ecosystems emit GHGs from sediments to the atmosphere, these emissions are very low compared to the rate of carbon sequestration in vegetation. The study demonstrates that mangrove ecosystems in Teluk Benoa, Bali, tend to act more as carbon sinks and storage rather than as sources of GHG emissions. The categorization of mangroves based on dominant species does not cause significant variation in GHG fluxes from sediments to the atmosphere, suggesting that mangrove zonation can be disregarded in calculating GHG fluxes and carbon sequestration in vegetation.

Keyword: closed chamber, CO₂, CH₄, N₂O, *warming effect*



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

¹ Pelimpahan hak cipta atas karya tulis dari penelitian kerja sama dengan pihak luar IPB harus didasarkan pada perjanjian kerja sama yang terkait

EMISI GAS RUMAH KACA (CO₂,CH₄,N₂O) DAN SERAPAN KARBON VEGETASI MANGROVE DI TELUK BENOA, BALI

I PUTU SUGIANA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Ilmu Kelautan

**PROGRAM MAGISTER ILMU KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Prof. Dr. Ir. Dietrich Geoffrey Bengen, D.E.A
2. Dr. Ir. Yuli Naulita, M.Si

Judul Tesis : Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂,CH₄,N₂O) dan Serapan Karbon Vegetasi Mangrove di Teluk Benoa, Bali

Nama : I Putu Sugiana

NIM : C5501221010

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Ir. Tri Prartono, M.Sc



Pembimbing 2:
Dr. Rastina, S.T, MT



Pembimbing 3:
Dr. Alan Frendy Koropitan, S.Pi, M.Si



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Yuli Naulita, M.Si
NIP 196607121991032003



Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan:
Prof. Dr. Ir. Fredinan Yulianda, M.Sc
NIP 196307311988031002



Tanggal ujian tesis:
16 Juli 2024

Tanggal lulus:

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PRAKATA

Puji dan syukur Penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga tesis dengan judul “Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂,CH₄,N₂O) dan Serapan Karbon Vegetasi Mangrove di Teluk Benoa, Bali” dapat diselesaikan dengan baik. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi magister di Program Studi Ilmu Kelautan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada keluarga besar yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Penulis mengucapkan terima kasih kepada para pembimbing, Dr. Ir. Tri Prartono, M.Sc., Dr. Rastina, ST., MT., dan Dr. Alan Frendy Koropitan, S.Pi., M.Si, yang telah memberikan bimbingan dan saran. Secara khusus, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah memfasilitasi perkuliahan jenjang Magister untuk penulis melalui beasiswa unggulan dan program pendanaan riset sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ketua Program Studi Ilmu Kelautan, Dr. Ir. Yuli Naulita, M.Si, serta para dosen yang telah melimpahkan ilmu pengetahuannya selama proses belajar mengajar. Di samping itu, secara pribadi penulis juga berterimakasih kepada teman-teman mahasiswa Ilmu Kelautan angkatan 2022 yang telah berjuang bersama selama kegiatan perkuliahan dan penelitian berlangsung. Tidak lupa, penulis juga berterimakasih kepada Putri, Echa, Ilham, Dekjo, Goura dan Wahyu yang telah membantu selama proses pengambilan data di lapangan.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, 2 Agustus 2024

I Putu Sugiana



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup/Batasan Masalah	4
1.6 Hipotesis	4
1.7 Kerangka Pemikiran	4
II METODE	6
2.1 Deskripsi Waktu dan Lokasi Penelitian	6
2.2 Alat dan Bahan	6
2.3 Pengumpulan dan Analisis Data	7
2.3.1 Kondisi umum lokasi penelitian (struktur tegakan mangrove dan kondisi sedimen dan air poros)	7
2.3.2 Pengukuran Fluks Gas Rumah Kaca	8
2.3.3 Perhitungan laju sekestrasi karbon pada tanaman	9
2.3.4 Pengukuran <i>warming effect</i> dan rasionya terhadap serapan CO ₂ vegetasi	10
2.4 Analisis Statistik	10
III HASIL DAN PEMBAHASAN	13
3.1 Kondisi Umum Ekosistem Mangrove di Teluk Benoa	13
3.1.1 Struktur Tegakan Mangrove	13
3.1.2 Kondisi sedimen dan air poros	14
3.2 Fluks GRK antar zona mangrove	17
3.3 Laju sekuestrasi karbon pada tanaman mangrove	19
3.3.1 Laju produksi serasah	19
3.3.2 Produktivitas primer bersih (NPP) dan laju sekuestrasi karbon tanaman	22
3.4 Hubungan fluks GRK dengan kondisi ekologi mangrove	22
3.5 Kontribusi fluks GRK terhadap <i>warming effect</i>	25
IV KESIMPULAN DAN SARAN	28
4.1 Kesimpulan	28
4.2 Saran	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	35
RIWAYAT HIDUP	49

DAFTAR TABEL

1	Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian	8
2	Struktur tegakan mangrove antar zona pengamatan di Teluk Benoa, Bali	13
3	Kondisi sedimen dan air poros antar zona mangrove di Teluk Benoa, Bali	16
4	Perbandingan fluks GRK dari lokasi penelitian dengan beberapa region lainnya di dunia	20
5	Laju produksi serasah pada setiap bagian vegetasi mangrove di Teluk Benoa, Bali	21
6	NPP dan laju serapan karbon tanaman (RCO_2) antar zona jenis mangrove di Teluk Benoa, Bali	22
7	Nilai koefisien korelasi pearson (r) hubungan GRK dengan kondisi struktur tegakan dan kondisi lingkungan	23
8	Nilai warming effect dari fluks GRK pada setiap zona mangrove	26
9	Perbandingan nilai <i>warming effect</i> pada beberapa wilayah di dunia	27

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir permasalahan yang ingin dipecahkan dalam penelitian	5
2	Distribusi plot pengambilan data penelitian di Teluk Benoa, Bali	6
3	Ukuran butiran sedimen menurut/berdasarkan zona mangrove di Teluk Benoa, Bali	14
4	Aliran air sungai yang ditemukan di dua plot <i>Sonneratia</i> pada bagian selatan di Teluk Benoa, Bali	15
5	Fluks GRK antar zona mangrove di Teluk Benoa	17
6	Persentase kontribusi dari masing-masing jenis serasah terhadap total serasah yang dihasilkan dari tiap zona mangrove	21
7	Analisis PCA yang menunjukkan keterkaitan fluks GRK dan berbagai parameter kimiawi sedimen dan air poros mangrove di Teluk Benoa, Bali	25

DAFTAR LAMPIRAN

1	Dokumentasi kegiatan penelitian di Lapangan	36
2	Tabel hasil pengujian gas rumah kaca antar plot pengamatan	37
3	Tren produksi gas rumah kaca antar plot pengamatan	41
4	Olahan data GRK, serasah dan kondisi lingkungan	42
5	Dokumentasi hasil uji Anova dan Tukey	44
6	Informasi hasil uji PCA	48