

Emisi gas rumah kaca (CO₂ dan CH₄) pada kawasan mangrove di Pesisir Desa Poka, Kota Ambon

Greenhouse gases emissions (CO₂ and CH₄) in the mangrove sediment on the coast of Poka Village, Ambon City

Rahman^{1*}, Irma Kesaulya¹, La Ikbali¹,

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

Abstrak.

Input bahan organik yang masuk ke perairan Teluk Ambon tersebar ke kawasan ekosistem mangrove dan sebagian terendapkan pada sedimen, termasuk kawasan mangrove Desa Poka. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis emisi gas rumah kaca (CO₂ dan CH₄) pada sedimen mangrove di kawasan Desa Poka. Pengambilan gas dilakukan dengan metode sungkup silinder yang diletakkan pada tiga tipe sedimen yaitu lumpur berpasir (LPs), pasir berlumpur (PsL), dan pasir (Ps). Analisa konsentrasi gas mengacu pada metode kromatografi gas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi gas CO₂ terbesar ditemukan pada sedimen LPs yaitu 138,94 mg/m²/jam. Sedangkan emisi terendah terdapat pada sedimen PsL yaitu 20,69 mg/m²/jam. Selain itu, emisi gas CH₄ terbesar juga ditemukan pada tipe sedimen LPs yaitu 0,2154 mg/m²/jam. Sementara itu, emisi gas CH₄ terendah ditemukan pada tipe sedimen Ps yaitu 0,0447 mg/m²/jam. Emisi gas rumah kaca khususnya CO₂ dan CH₄ pada sedimen mangrove di Pantai Poka Teluk Ambon Dalam masih relatif rendah bila dibandingkan dengan rata-rata emisi dari ekosistem mangrove lainnya di Indonesia. Tipe sedimen lumpur berpasir memiliki emisi yang lebih besar dibandingkan tipe sedimen pasir berlumpur dan pasir yang dipengaruhi oleh ketersediaan total karbon organik pada masing – masing sedimen mangrove.

Kata kunci: gas rumah kaca, perubahan iklim, sedimen mangrove, lumpur berpasir

Abstract.

The organic material input that enters the waters of Ambon Bay spreads to the mangrove ecosystem area and is partially deposited in sediments, including the mangrove area of Poka Village. This study aims to analyze greenhouse gas emissions (CO₂ and CH₄) in mangrove sediments in the Poka Village area. The gas collection was carried out using a cylindrical cap method placed on three types of sediment, namely sandy silt (LPs), muddy sand (PsL), and sand (Ps). Gas concentration analysis refers to the gas chromatography method. The results showed that the largest CO₂ emissions were found in LPs sediments, 138.94 mg/m²/hour. Meanwhile, the lowest emission was found in PsL sediment, which was 20.69 mg/m²/hour. In addition, the largest CH₄ emission was also found in the LPs sediment type, 0.2154 mg/m²/hour. Meanwhile, the lowest CH₄ emission was found in the Ps sediment type, 0.0447 mg/m²/hour. Greenhouse gas emissions (CO₂ and CH₄) in mangrove sediments on the Coast of Poka, Ambon Bay, are still relatively low compared to Indonesia's average emissions from other mangrove ecosystems. The sandy-mud sediment type has greater emissions than the silty-sand and sand sediment types which are influenced by the availability of total organic carbon in each mangrove sediment.

Keywords: greenhouse gases, climate change, mangrove sediments, sandy mud.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan gas rumah kaca di atmosfer dapat memicu pemanasan global dan perubahan iklim. Perubahan iklim dapat mempengaruhi berbagai aspek kehidupan masyarakat, seperti pertanian, kesehatan dan perikanan (Badjeck *et al.* 2010; Shawket *et al.* 2019). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perubahan iklim mempengaruhi kenaikan suhu air, gelombang, kenaikan permukaan laut, curah hujan, kecepatan angin, pH dan oksigen (Cheung *et al.* 2009; Drinkwater *et al.* 2010; Jones 2013).

* Korespondensi Penulis
Email : rahmanrajaali@gmail.com

Perubahan ini terus mengurangi fungsi jasa ekosistem pesisir, laut, dan air tawar (Brander 2010; Wang *et al.* 2016). Sedangkan Coulthard (2008), Ohwayo *et al.* (2016) dan Asch *et al.* (2018) melaporkan bahwa rusaknya ekologi pesisir dan laut akibat perubahan iklim menyebabkan penurunan produksi perikanan dan hilangnya mata pencaharian masyarakat. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2001), karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄) adalah konsentrasi gas rumah kaca terbesar di atmosfer yang menyebabkan pemanasan global. Gas ini dihasilkan oleh berbagai aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, kendaraan bermotor dan pabrik industri, yang menyebabkan akumulasi karbon dioksida (IPCC 2001; Lang *et al.* 2011; Oertel *et al.* 2016).

Menurut Rahman *et al.* (2018), akumulasi karbon dioksida di atmosfer juga terjadi secara alami melalui proses dekomposisi bahan organik yang terjadi pada vegetasi atau ekosistem, termasuk ekosistem mangrove. Lebih lanjut, Rahman *et al.* (2017) melaporkan bahwa ekosistem mangrove dapat menyimpan hingga 295 tonC/ha. Pada saat yang sama, Donato *et al.* (2012); Alongi (2014); Adame *et al.* (2015); Rahman *et al.* (2024) menyatakan bahwa pada ekosistem mangrove total stok karbon berkisar 548,48 - 1200 MgC/ha, yang empat kali lebih tinggi daripada ekosistem lainnya.

Ekosistem mangrove tidak hanya menyimpan dan menyerap karbon, tetapi juga menghasilkan emisi karbon dioksida melalui dekomposisi serasah (Rahman *et al.* 2020c). Serasah mangrove dapat berasal dari daun-daun yang gugur atau mangrove yang mati secara alami (Rahman *et al.* 2020b). Selain itu, hamparan mangrove mati (nekromassa) juga dapat dihasilkan dari aktivitas deforestasi dan konversi lahan.

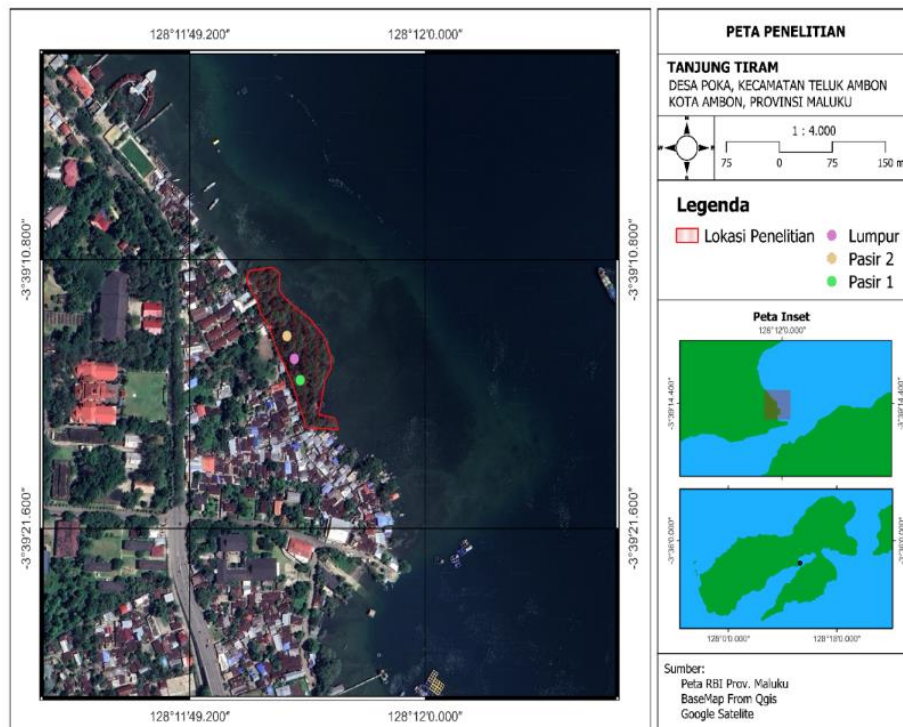
Umumnya, konversi mangrove terjadi akibat pembangunan berbagai infrastruktur seperti pemukiman, tambak dan dermaga (Ilman *et al.* 2016; Rahman *et al.* 2020a). Serasah mangrove bercampur dengan limbah organik yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dan terurai di sedimen mangrove. Rahman *et al.* (2020d) dan Bengen *et al.* (2022) melaporkan bahwa sedimen ekosistem mangrove terdiri dari pasir, pasir berlumpur, lumpur berpasir, dan lumpur. Setiap jenis substrat dapat memiliki satu atau dua spesies dominan yang berbeda dengan substrat lainnya.

Penelitian terkait emisi gas rumah kaca pada kawasan mangrove masih sangat terbatas di Indonesia, khususnya di ekosistem mangrove Teluk Ambon Dalam. Suyadi (2009; 2012) melaporkan bahwa Teluk Ambon Dalam memiliki potensi ekosistem mangrove yang cukup besar dan meluas ke beberapa tempat seperti pantai Passo, Negeri Lama, Nania, Waiheru, dan Poka. Input bahan organik dari buangan limbah domestik yang terakumulasi pada kawasan teluk dan tersebar ke beberapa daerah pesisir termasuk kawasan ekosistem mangrove Poka. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian tentang emisi gas rumah kaca (CO₂ dan CH₄) pada kawasan ekosistem mangrove perlu untuk dilakukan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli - Agustus 2022 di kawasan ekosistem mangrove pesisir Desa Poka, Teluk Ambon. Titik pengambilan gas dilakukan pada tiga titik berdasarkan tipe sedimen yaitu (1) lumpur berpasir (03°39'15,5"LS dan 128°11'54,6"BT), pasir berlumpur (03°39'14,8"LS dan 128°11'54,1"BT), dan pasir (03°39'13,9"LS dan 128°11'53,8"BT) (**Gambar 1**). Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada **Tabel 1**.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

Tabel 1. Alat dan bahan.

No.	Alat	Kegunaan
1	Sungkup	Untuk perangkap gas pada sedimen
2	<i>Syringe</i>	Untuk mengambil gas dari dalam sungkup
3	Spoit 50 ml	Untuk mengambil gas melalui <i>syringe</i>
4	Botol vial 10 ml	Untuk menyimpan sampel gas
5	Penjepit selang	Untuk menutup sirkulasi udara dari selang ke sungkup
6	GC-MS	Untuk menganalisis konsentrasi gas
7	GPS	Untuk menentukan titik koordinat
8	Reagen analisa gas	Untuk memudahkan analisa gas karbon

2.2. Metode pengumpulan data

Pengambilan sampel gas dilakukan dengan meletakkan sungkup di bawah kanopi mangrove berdasarkan karakter substrat yaitu lumpur berpasir, pasir berlumpur, dan pasir. Sungkup volume 17 liter (luas alas = $0,0615 \text{ m}^2$) diletakkan pada masing – masing sedimen untuk mengambil gas yang merupakan hasil dari dekomposisi bahan organik yang telah berlangsung pada masing – masing sedimen mangrove (Nazareth dan Gonsalves 2022) (**Gambar 2**). Sungkup yang diletakkan ditancapkan pada sedimen sedalam 5 cm untuk menghindari potensi sirkulasi gas dari dalam atau luar sungkup. Gas diambil melalui *syringe* menggunakan spoit lalu dimasukkan dalam botol vial 10 ml. Pengambilan sampel gas dilakukan dengan interval masing – masing 30 detik dengan 5 kali ulangan yaitu 0 s, 30 s, 60 s, 90 s, dan 120 s (s = sekon) (Nazareth dan Gonsalves 2022). Pada tiap jenis substrat dilakukan pengambilan gas sebanyak 10 sampel sehingga total sampel yang diperoleh pada tiga jenis sedimen yang diamati adalah 30 sampel.

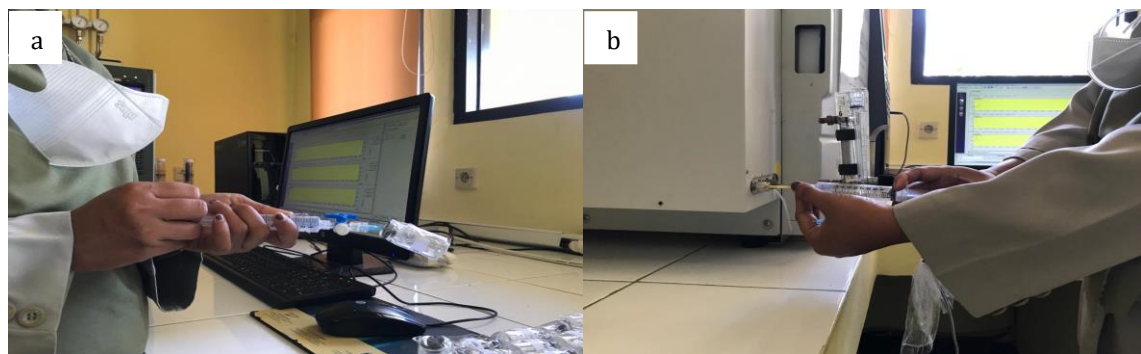


Gambar 2. Pengambilan gas pada sedimen mangrove: sedimen lumpur (kiri); sedimen pasir berlumpur (tengah); sedimen pasir (kanan).

2.3. Prosedur analisis data

2.3.1. Konsentrasi gas rumah kaca

Konsentrasi GRK (CO₂ dan CH₄) dianalisis dengan metode kromatografi gas. Pada analisis konsentrasi gas CO₂, sebanyak 2 ml gas dialirkan melalui *thermal conductivity detector* (TCD) selama 5 menit dengan 3 kali pengulangan. Sedangkan pada analisis gas CH₄, sebanyak 3 ml gas dialirkan melalui *flame ionization detector* (FID) selama 2 menit dengan 3 kali pengulangan. Pengukuran konsentrasi gas karbon dilakukan di Laboratorium Balai Penelitian Lingkungan Pertanian Kabupaten Pati – Jawa Tengah (**Gambar 3**).



Gambar 3. Analisis konsentrasi gas karbon dengan metode kromatografi gas (GC); a) pengambilan 2-3 ml gas dari botol sampel menggunakan spuit; b) proses analisis gas karbon dengan metode kromatografi gas.

2.3.2. Emisi gas karbon

Nilai emisi karbon dianalisis dengan menggunakan **Persamaan 1** dari Rahman *et al.* (2020c); Rahman *et al.* (2023). Nilai tersebut diperoleh berdasarkan nilai konsentrasi gas karbon dari hasil analisis GC-MS.

$$F = \left| \frac{S * V * t * mW}{(RT * A)} \right| \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

F = Fluks gas karbon (µg/m²/jam atau mg/m²/jam)

S = Slope regresi dari konsentrasi gas karbon yang diukur setiap 30 detik (ppm/detik)

V = Volume sungkup (L)

A = Luas area yang tertutup oleh sungkup (m²)

R = Tetapan gas ideal (0,082 L.atm/K/mol)

T = Temperature dalam sungkup atau suhu udara (K)

t = Tetapan transformasi waktu (1 jam/interval waktu pengambilan sampel gas)

mW = massa atom relatif C (CO₂ = 44 g/mol dan CH₄ = 16 g/mol)

2.3.3. Analisis statistik

Untuk melihat ada tidaknya perbedaan nilai rata – rata konsentrasi gas karbon (ppm) dan emisi karbon (mg/m²/jam) pada masing – masing sedimen mangrove maka dilakukan uji *Anova Single Factor* dengan perangkat statistik dalam *Microsoft Excel*.

2.3.4. Potensi pemanasan global gas karbon

Global *Warming Potential* (GWP) gas rumah kaca merupakan nilai ekuivalensi terhadap radiasi dari konsentrasi gas CO₂ di atmosfer. GWP yang dihitung merupakan ekuivalensi radiasi GRK untuk 100 tahun (IPCC 2001). Analisis nilai GWP dari gas karbon dilakukan mengacu pada **Persamaan 2** IPCC (2001) yaitu sebagai berikut:

$$F_e = F_m \times GWP \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

F_e = nilai fluks CO₂-ekuivalen (mg/m²/jam) sebagai pendekatan dari nilai potensi pemanasan global

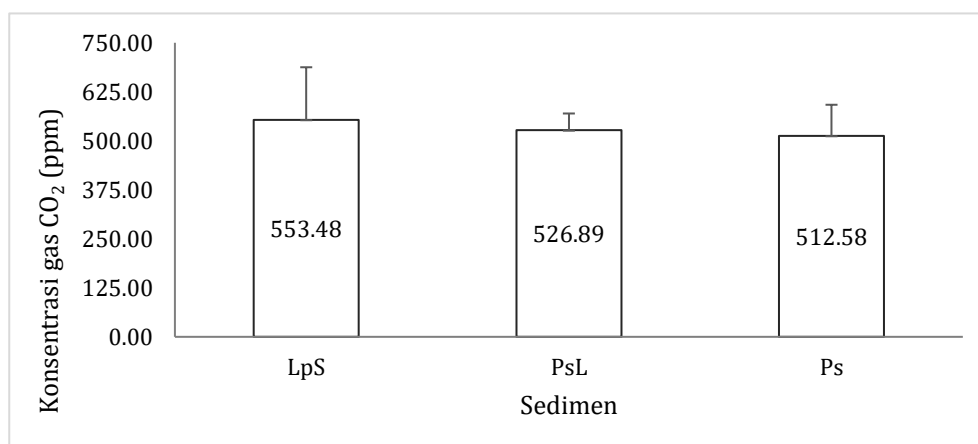
F_m = fluks gas karbon (mg/m²/jam)

GWP = nilai potensi pemanasan global gas karbon yaitu konversi nilai emisi per mol gas CH₄ setara dengan 25 kali emisi CO₂-eq pada rentang waktu 100 tahun

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

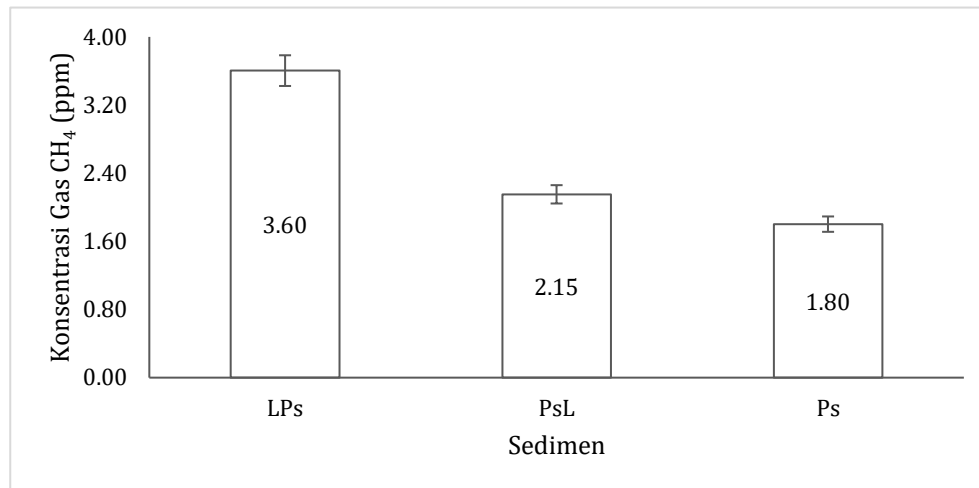
3.1. Konsentrasi gas

Konsentrasi gas CO₂ yang dihasilkan dari aktivitas degradasi bahan organik pada sedimen mangrove menunjukkan hasil yang berbeda antara yang terdapat pada substrat lumpur berpasir (LpS), pasir berlumpur (PsL), dan pasir (Ps). Rata – rata konsentrasi gas CO₂ yaitu 553,48 ppm pada sedimen lumpur berpasir, 526,89 ppm pada sedimen pasir berlumpur, dan 512,58 ppm pada sedimen pasir (**Gambar 4**).



Gambar 4. Konsentrasi das CO₂ pada berbagai tipe sedimen mangrove di pesisir Desa Poka, Teluk Ambon Dalam.

Tidak berbeda dengan gas CO_2 , konsentrasi gas CH_4 yang terbesar dan terkecil masing – masing terdapat pada sedimen pasir berlumpur dan sedimen pasir. Nilai konsentrasi gas CH_4 pada masing – masing sedimen yaitu 3,60 ppm untuk sedimen lumpur berpasir, 2,15 ppm untuk sedimen pasir berlumpur, dan 1,80 ppm untuk sedimen pasir (**Gambar 5**).



Gambar 5. Konsentrasi gas CH_4 pada berbagai tipe sedimen mangrove di pesisir Desa Poka, Teluk Ambon Dalam.

Perbedaan konsentrasi gas CO_2 dan CH_4 pada sedimen mangrove menunjukkan adanya perbedaan kandungan bahan organik pada masing – masing sedimen mangrove (Rahman *et al.* 2018). Kandungan bahan organik yang tinggi membutuhkan proses penguraian yang lebih lama, sehingga ketersediaan oksigen tidak akan cukup untuk proses dekomposisi. Akibatnya, proses dekomposisi berjalan secara anaerob dan memicu peningkatan konsentrasi CO_2 dari reduksi asam asetat, propionat, dan asam laktat yang terdapat pada serasah mangrove (Rahman *et al.* 2020d).

Hasil analisis uji varians (*Anova Single Factor*) menunjukkan bahwa rata – rata konsentrasi gas CO_2 pada ketiga sedimen berbeda nyata dengan *F-value* (4.2479) yang lebih besar dari *F critical* (3.8853). Hal tersebut menunjukkan bahwa rata – rata konsentrasi gas CO_2 yang dihasilkan dari degradasi bahan organik pada masing – masing sedimen adalah berbeda. Perbedaan nyata rata – rata konsentrasi gas CO_2 juga terlihat pada uji varians antara LPs dan Ps (*F-value* > *F critical* = 5.3451 > 5.3176), antara sedimen PsL dan Ps (*F-value* > *F critical* = 5.3763 > 5.3451). Sedangkan pada rata – rata konsentrasi gas CO_2 antara sedimen LPs dan PsL tidak berbeda nyata atau sama (*F-value* < *F critical* = 0.1787 < 5.3763) (**Tabel 2**).

Berbeda dengan gas CO₂, rata – rata konsentrasi gas CH₄ tidak berbeda nyata pada semua tipe sedimen. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses pembentukan gas CH₄ pada semua tipe sedimen berlangsung melalui proses reduksi etanol bukan semata – mata melalui proses metanogenik (Rahman *et al.* 2020d). Nilai *F* dari uji *Anova* antara rata – rata konsentrasi gas CH₄ sedimen LPs dan PsL lebih rendah dari *F critical* ($F\text{-value} < F\text{ critical} = 3.3726 < 5.3763$); demikian juga halnya pada uji *Anova* antara rata – rata konsentrasi gas CH₄ sedimen LPs dan Ps ($F\text{-value} < F\text{ critical} = 1.2085 < 5.3763$) dan antara PsL dan Ps ($F\text{-value} < F\text{ critical} = 1.7298 < 5.3763$) (**Tabel 2**).

Tabel 2. Analisis varians konsentrasi gas CO₂ dan CH₄ pada beberapa tipe sedimen mangrove di Pesisir Desa Poka , Teluk Ambon Dalam – Ambon.

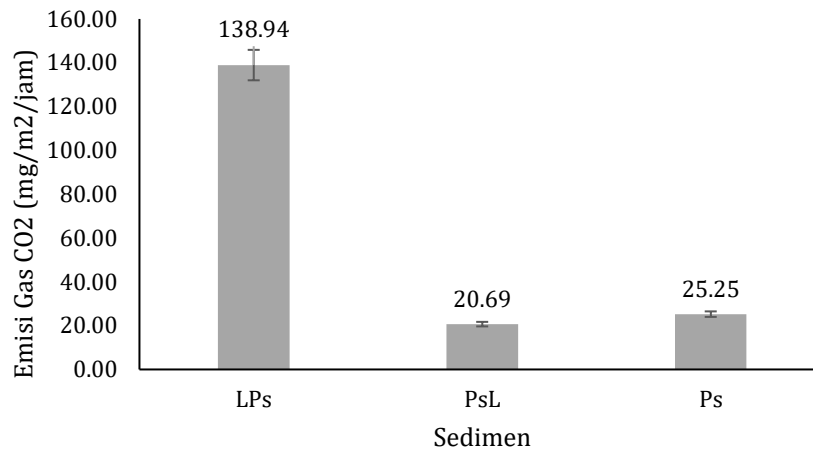
Gas	Sedimen	<i>F-value</i>	<i>F-critical</i>	<i>P-values</i>
CO ₂ (n=10 - 30)	LPs : PsL : Ps	4.2479 ^a	3.8853	>0.05
	LPs : PsL	0.1787 ^b	5.3176	<0.05
	LPs : Ps	5.3451 ^a	5.3176	>0.05
	PsL : Ps	5.3763 ^a	5.3176	>0.05
CH ₄ (n=10 - 30)	LPs : PsL : Ps	3.0751 ^a	3.8853	<0.05
	LPs : PsL	3.3726 ^a	5.3176	<0.05
	LPs : Ps	1.2085 ^a	5.3176	<0.05
	PsL : Ps	1.7298 ^a	5.3176	<0.05

Keterangan: a = berbeda nyata, b = tidak berbeda nyata pada tingkat signifikansi $\alpha = 0.05$, LPs = Lumpur berpasir, PsL = Pasir berlumpur, Ps = Pasir

Temuan tersebut sejalan dengan laporan Kesaulya *et al.* (2023) yang menemukan adanya perbedaan nyata nilai rata – rata konsentrasi gas CO₂, dan kesamaan nilai rata – rata konsentrasi gas CH₄ pada sedimen mangrove di kawasan Desa Waiheru, Teluk Ambon Dalam (TAD). Hal tersebut mengindikasikan bahwa sebaran bahan organik yang masuk ke kawasan TAD tersebar ke seluruh kawasan pesisir di sekitarnya.

3.2. Emisi gas CO₂

Sejalan dengan konsentrasi gas CO₂, emisi gas CO₂ terbesar juga ditemukan pada sedimen LPs dengan nilai emisi yaitu 138,94 mg/m²/jam. Emisi gas CO₂ terendah terdapat pada sedimen PsL dan Ps dengan nilai emisi masing – masing 20,69 mg/m²/jam dan 25,25 mg/m²/jam (**Gambar 6**).



Gambar 6. Emisi gas CO_2 pada beberapa tipe sedimen mangrove di Pesisir Desa Poka, Teluk Ambon Dalam – Ambon.

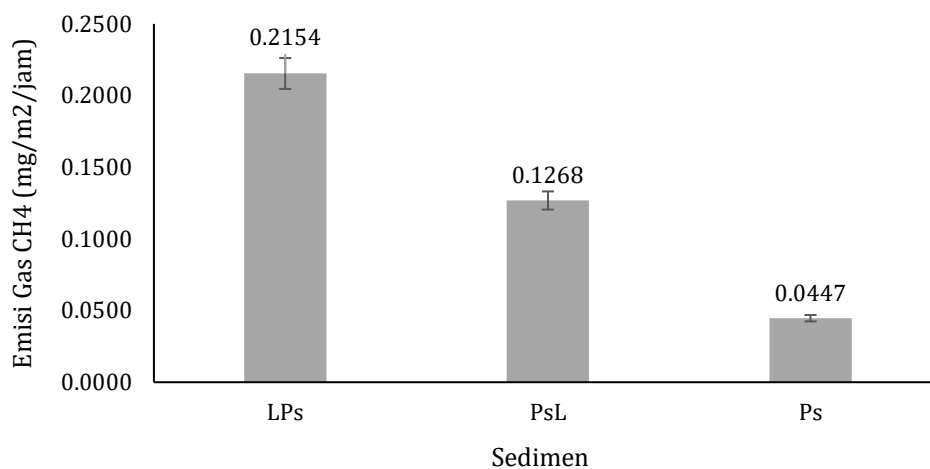
Hal tersebut mengindikasikan bahwa laju pelepasan gas CO_2 pada tipe sedimen LPs lebih banyak dibandingkan tipe sedimen lainnya yang dipengaruhi oleh ketersediaan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* atau DO) sebagai pemicu terjadinya dekomposisi bahan organik secara aerob.

Pada kondisi ketersediaan bahan organik dan DO yang merata pada ketiga tipe sedimen, emisi gas CO_2 terbesar seharusnya ditemukan pada sedimen pasir atau Ps. Hal itu karena tipe sedimen pasir memiliki porositas yang tinggi (Nurwidyanto *et al.* 2006) sehingga memungkinkan gas terlepas dengan cepat ke atmosfer. Pada penelitian ini, ketiga tipe sedimen merupakan sedimen yang mengandung pasir meskipun dengan komposisi yang berbeda. Hal ini semakin memperkuat bahwa perbedaan emisi gas CO_2 yang signifikan antara tipe sedimen LPs dengan PsL dan Ps adalah karena perbedaan total karbon tanah dan parameter lingkungan lainnya yang mempengaruhi laju emisi gas CO_2 (Chen *et al.* 2012).

Chen *et al.* (2010) menyebutkan bahwa emisi gas CO_2 pada ekosistem mangrove juga dipengaruhi oleh musim baik secara spasial maupun temporal. Lama penyinaran matahari pada musim panas menyebabkan kenaikan suhu perairan yang memicu laju aktivitas mikroorganisme dalam reaksi pembentukan gas CO_2 . Selain itu, proses degradasi bahan organik dan serasah mangrove menjadi lebih cepat pada musim hujan karena dapat menurunkan salinitas perairan mangrove pada nilai yang optimal untuk proses degradasi serasah yaitu 25 – 28 ppt (Rahman *et al.* 2020c).

3.3. Emisi gas CH_4

Sejalan dengan emisi gas CO_2 , emisi gas CH_4 terbesar juga ditemukan pada tipe sedimen LPs yaitu $0,2154 \text{ mg/m}^2/\text{jam}$. Sementara itu, emisi gas CH_4 terendah ditemukan pada tipe sedimen Ps dan PsL dengan nilai masing – masing $0,0447 \text{ mg/m}^2/\text{jam}$ dan $0,1268 \text{ mg/m}^2/\text{jam}$ (**Gambar 7**). Nilai emisi tersebut masih relatif lebih rendah bila dibandingkan temuan Rahman *et al.* (2018) di kawasan Sungai Tallo atau Rahman *et al.* (2020c) di pesisir Kabupaten Muna Barat. Nilai tersebut juga mengindikasikan bahwa ketersediaan DO masih cukup untuk proses asidogenik dalam pembentukan gas CH_4 (Rahman *et al.* 2020e). Rendahnya nilai emisi CH_4 berarti tidak terjadi pencemaran limbah, sehingga gas CH_4 tidak diproduksi secara optimal pada proses metanogenik. Pembentukan gas CH_4 paling banyak dihasilkan dari reduksi CO_2 . Akan tetapi, adanya input bahan organik dari aktivitas manusia dapat memicu berkurangnya oksigen untuk penguraian limbah secara aerob sehingga reaksi anaerob secara metanogenik akan berlangsung untuk pembentukan gas CH_4 yang lebih besar (Rahman *et al.* 2020d)



Gambar 7. Emisi gas CH_4 pada beberapa tipe sedimen mangrove di Pesisir Desa Poka, Teluk Ambon Dalam - Ambon.

Emisi gas CH_4 yang lebih besar dari $1 \text{ mg/m}^2/\text{jam}$ umumnya terbentuk melalui reaksi reduksi gas CO_2 secara anaerob (**Persamaan 3**) sehingga menimbulkan bau yang tak sedap (Rahman *et al.* 2020d). Pembentukan gas CH_4 tersebut membutuhkan 4 molekul gas hidrogen (H_2) yang menghasilkan gas 1 molekul gas CH_4 dan 2 molekul air (H_2O).



Keterangan:

- CO₂ = Gas karbondioksida
 H₂ = Gas hidrogen
 CH₄ = Gas metana
 H₂O = Molekul air

3.4. Potensi pemanasan global

Gas karbon merupakan kontributor utama yang dapat memicu terjadinya perubahan iklim (IPCC 2001). Peningkatan konsentrasi gas karbon di atmosfer dipicu oleh berbagai faktor seperti pembakaran fosil, penggunaan bahan bakar, konversi hutan, dan termasuk degradasi limbah organik. Konsentrasi gas karbon juga meningkat karena proses alamiah seperti degradasi serasah yang terjadi pada sedimen mangrove (Zhang *et al.* 2020).

GWP gas karbon merupakan akumulasi potensi radiasi dari emisi gas CO₂ dan CH₄ yang disetarakan menjadi nilai emisi CO₂-ekuivalen. Potensi pemanasan global (GWP) pada sedimen mangrove Desa Poka yaitu 194,55 mg/m²/jam. GWP terbesar dikontribusikan oleh tipe sedimen lumpur berpasir (LPs) dengan nilai GWP total yaitu 144,32 CO₂-eq mg/m²/jam. GWP terendah dikontribusikan oleh sedimen pasir berlumpur (PsL) dengan nilai total GWP yaitu 23,86 CO₂-eq mg/m²/jam (**Tabel 3**)

Tabel 3. Nilai kontribusi GWP gas karbon pada beberapa tipe sedimen ekosistem mangrove Di Desa Poka, Teluk Ambon Dalam - Ambon

Sedimen	Emisi Karbon (mg/m ² /jam)		GWP (mg/m ² /jam CO ₂ -eq)
	CO ₂	CH ₄	CO ₂ -eq
LPs	138,94	0,2154	144,32
PsL	20,69	0.1268	23,86
Ps	25,25	0.0447	26,37
Total	184,88	0.3868	194.55

Keterangan: LPs = Lumpur berpasir, PsL = Pasir berlumpur, Ps = Pasir

Total nilai GWP tersebut lebih rendah dibandingkan nilai GWP mangrove di Teluk Honda – Philipina yaitu 8606,88 CO₂-eq mg/m²/jam (Castillo *et al.* 2017) dan ekosistem mangrove di Teluk Kembar – Belize Pusat dengan nilai GWP berkisar 332,63–1203,84 CO₂-eq mg/m²/jam (Lovelock *et al.* 2011), serta GWP dari mangrove sungai Tallo – Makassar yaitu 346.71 CO₂-eq mg/m²/jam (Rahman *et al.* 2018).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Emisi gas rumah kaca khususnya CO₂ dan CH₄ pada sedimen mangrove di Desa Poka Teluk Ambon Dalam masih relatif rendah bila dibandingkan dengan rata – rata emisi dari ekosistem mangrove lainnya di Indonesia. Tipe sedimen lumpur berpasir memiliki emisi yang lebih besar dibandingkan tipe sedimen pasir berlumpur dan pasir yang dipengaruhi oleh ketersediaan total karbon organik pada masing – masing sedimen mangrove. Berdasarkan hasil temuan dalam penelitian ini, penulis menyarankan perlunya penelitian lanjutan untuk mengkaji emisi gas rumah kaca pada kawasan Teluk Ambon Dalam secara menyeluruh dengan berbagai pendekatan parameter lingkungan. Dengan demikian, kebijakan pengelolaan kawasan teluk berbasis mitigasi gas rumah kaca dapat dirumuskan atau diimplementasikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adame MF, Santini NS, Tovilla C, Lule AV, Castro L and Guevara M. 2015. Carbon stock and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeoscience* 12: 3805-3818.
- Alongi DM. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science* 6:195 – 219.
- Asch RG, Cheung WWL and Reygondeau G. 2018. Future marine ecosystem drivers, biodiversity, and fisheries maximum catch potential in Pacific Island countries and territories under climate change. *Marine Policy* 88:285 - 294
- Badjeck MC, Allison EH, Halls AS and Dulvy NK. 2010. Impacts of climate variability and change on fishery-based livelihoods. *Marine Policy* 34:375 – 83.
- Bengen DG, Yonvitner dan Rahman. 2022. *Pedoman Teknis: Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove*. IPB Press. Bogor
- Brander K. 2010. Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine System* 79(3):389 – 402.
- Castillo JAA, Apan AA, Maraseni TN and Salmo III SG. 2017. Soil greenhouse gas fluxes in tropical mangrove forests and in land use on deforested mangrove lands. *Catena* 159:60 – 69.

- Chen GC, Tam NFY and Ye Y. 2010. Summer fluxes of atmospheric greenhouse gases N₂O, CH₄ and CO₂ from mangrove soil in South China. *Science of the Total Environment* 408:2761 – 2767.
- Chen GC, Tam NFY and Ye Y. 2012. Spatial and seasonal variations of atmospheric N₂O and CO₂ fluxes from a subtropical mangrove swamp and their relationships with soil characteristics. *Soil Biology and Biochemistry* 48:175 – 181.
- Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, Kearney K, Watson R and Pauly D. 2009. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenario. *Fish and Fisheries* 10(3):235 – 251.
- Coulthard S. 2008. Adapting to environmental change in artisanal fisheries-insight from a South Indian Lagoon. *Global Environmental Change* 18(3):479 – 89.
- Donato DC, Kauffman JB, Mackenzie RA, Ainsworth , and Pfleger AZ. 2012. Whole-island carbon stock in tropical pasific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of Environmental Management* 97(30):89-96.
- Drinkwater KF, Beaugrand G, Kaeriyama M, Kid S, Ottersen G, Perry RI, Pörtner HO, Polovina JJ and Takasuka A. 2010. On the processes linking climate to ecosystem changes. *Journal of Marine System* 79(3):374 – 388.
- Ilman M, Dargusch P, Dart P and Onrizal. 2016. A historical analysis of the drivers of loss and degradation Indonesia's mangroves. *Land Use Policy* 54:448-459.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. *Climate Change 2001 : The Scientific Basis*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Jones PD. 2013. Greenhouse effect and climate data. *Reference Module in Earth Sciences and Environment*: 1 – 17.
- Kesaulya I, Rahman, Haumahu S and Krisye. 2023. Global warming potential of carbon dioxide and methane emissions from mangrove sediment in Waiheru Coastal, Ambon Bay [Proceeding]. *Proceeding of ICBSE. IOP Conference Series*.
- Lang M, Cai ZC and Chang SX. 2011. Effects of land use type and incubation temperature on greenhouse gas emissions from Chinese and Canadian Soils. *Journal of Soils and Sediments* 11:15-24.
- Lovelock CE, Ruess RW and Feller IC. 2011. CO₂ efflux from cleared mangrove peat. *PLoS ONE* 6(6):1– 4.

- Nazareth DR and Gonsalves MJ. 2022. Influence of seasonal and environmental variables on the emission of methane from the mangrove sediments of Goa. *Environmental Monitoring and Assessment* 194 (4):235 – 249.
- Nurwidyanto MI, Yustiana M dan Widada S. 2006. Pengaruh ukuran butir terhadap porositas dan permeabilitas batupasir. *Berkala Fisika* 9(4):191 – 195.
- Oertel C, Matschullat J, Zurba K, Zimmermann F and Erasmi S. 2016. Greenhouse gas emissions from soils- a review. *Geochemistry* 76(3):327-352.
- Ohwayo RO, Natugonza V, Musunguzi L, Olokotum M and Naigaga S. 2016. Implications of climate variability and change for African lake ecosystems, fisheries productivity, and livelihoods. *Journal of Great Lakes Research* 42(93):498 – 510.
- Rahman, Effendi H dan Rusmana I. 2017. Estimasi stok dan serapan karbon pada mangrove di Sungai Tallo, Makassar. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 11(1):19-28.
- Rahman R, Wardiatno Y, Yulianda F, Effendi H dan Rusmana I. 2018. Fluks gas rumah kaca CO_2 , CH_4 dan N_2O pada lahan ekosistem mangrove di Sungai Tallo, Makassar. *Jurnal Biologi Tropis* 18(2):149–158.
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F and Rusmana I. 2020a. Socio-ecological system of carbon-based mangrove forests on the coast of West Muna Regency, Southeast Sulawesi, Indonesia. *AAAL Bioflux* 13(2):518-528.
- Rahman, Wardiatno, Y, Yulianda F dan Rusmana I. 2020b. Produksi serasah musiman pada berbagai spesies mangrove di Pesisir Kabupaten Muna Barat, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 25(3):325 – 335.
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F and Rusmana I. 2020c. Seasonal fluxes of CO_2 , CH_4 and N_2O greenhouse gases in various mangrove species on the coast of West Muna Regency, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Plant Archives* 20(2):4301 – 4311.
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F, Rusmana I, dan Bengen DG. 2020d. Metode dan Analisis Studi Ekosistem Mangrove. IPB Press. Bogor.
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F, Lokollo FF and Rusmana I. 2023. Emission and potential of global warming of N_2O gas of mangrove litter degradation on the West Muna Regency Coast. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 17(2):127 – 134.

- Rahman, Ceantury A, Tuahatu JW, Lokollo FF, Supusepa J, Hulopi M, Permatahati YI, Lewerissa A and Wardiatno Y. 2024. Mangrove ecosystem in Southeast Asia region: mangrove extent, blue carbon potential and CO₂ emission in 1996-2020. *Science of the Total Environment* 915(3): 1-12.
- Shawket N, Elmadhi Y, Kharrim KE and Belghyti D. 2019. Impacts of climate change on fish performance. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 7(5):343 – 349.
- Suyadi. 2009. Kondisi hutan mangrove di Teluk Ambon: prospek dan tantangan. *Berita Biologi* 5(9):481 – 490.
- Suyadi. 2012. Satu dekade kondisi hutan mangrove di Teluk Ambon. *Jurnal Biologi Indonesia* 8(1):197 – 203.
- Wang H, Zhou S, Li X, Liu H, Chi D and Xu K. 2016. The influence of climate change and human activities on ecosystem service value. *Ecological Engineering* 87:224 – 239.
- Zhang CJ, Pan J, Liu Y, Duan CH and Li M. 2020. Genomic and transcriptomic insights into methanogenesis potential of novel methanogens from mangrove sediment. *Microbiome* 8(1):94 – 102.