



Potensi pemanasan global emisi gas nitrous oksida (N₂O) pada kawasan mangrove Desa Poka, Kota Ambon

Global warming potential of Nitrous Oxide (N₂O) emissions in mangrove area of Poka Villages, Ambon City

Meisye K Lilitnuhu^{a*}, Irma Kesaulya^a, Rahman Rahman^a

^a Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

Article Info:

Received: 19 – 01 - 2024

in revised form: 29 – 01 - 2024

Accepted: 02 – 02 - 2024

Available Online: 03 – 02 - 2024

Kata kunci:

Emisi gas rumah kaca, nitrous oxyde, potensi pemanasan global, Teluk Ambon Dalam

Keywords:

Global warming potential, greenhouse gas emissions, Inner Ambon Bay, nitrous oxyde

Corresponding Author:

*E-mail:

meislilitnuhu@gmail.com

DOI :

<https://doi.org/10.30598/jlpvol3iss1pp10-18>

Abstrak: Nitrous oksida (N₂O) merupakan salah satu gas rumah kaca (GRK) yang berpotensi menimbulkan pemanasan global (GWP) sebesar 298 kali dibandingkan CO₂. Ekosistem mangrove mempunyai fungsi ganda yaitu dapat menyerap dan menghasilkan GRK. Salah satu wilayah yang merupakan habitat mangrove adalah pesisir pantai Poka yang terletak di Teluk Ambon Dalam. Informasi mengenai emisi dan potensi pemanasan global dari gas N₂O pada sedimen mangrove yang ada di pesisir pantai Poka sampai saat ini belum ada. Penelitian bertujuan untuk mengetahui nilai emisi gas N₂O dan potensi pemanasan global pada sedimen mangrove di pantai Poka, Teluk Ambon. Pengambilan sampel gas dilakukan dengan menggunakan spoit melalui syringe pada sungkup yang diletakkan di bawah kanopi mangrove. Analisis konsentrasi gas N₂O menggunakan metode kromatografi gas dan rata-rata perbedaan konsentrasinya diuji dengan ANOVA *single factor*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi gas N₂O terbesar pada sedimen mangrove di pantai Poka terdapat pada tipe pasir berlumpur, dan terendah terdapat pada pasir. Total GWP pada sedimen mangrove pantai Poka yaitu 13.6 mg/m²/jam yang dikontribusikan oleh tipe substrat lumpur lumpur berpasir sebesar 5.21 CO₂e mg/m²/jam, pasir berlumpur sebesar 6.31 mg/m²/jam, dan pasir sebesar 2.06 CO₂e mg/m²/jam.

Abstract: Nitrous oxide (N₂O) is one of the greenhouse gases GHGs that has the potential to cause global warming (GWP) of 298 times compared to CO₂. Mangrove ecosystems have a dual function, namely being able to absorb and produce GHG. One of the areas that is the habitat of mangrove ecosystems is the Poka coastline located in the Inner Ambon Bay. Information on emissions and potential global warming from N₂O gas in mangrove sediments on the coast of Poka until now does not exist. The study aims to determine the value of N₂O gas emissions and global warming potential in mangrove sediments on the coast of Poka, Ambon Bay. Gas sampling is carried out using a spoit through a syringe on a hood placed under the mangrove canopy. N₂O gas concentration analysis using gas chromatography method and the average concentration difference was tested with ANOVA *single factor*. The results showed that the largest N₂O gas emissions in mangrove sediments on Poka beach were found in muddy sand types, and the lowest in sand. The total GWP in Poka beach mangrove sediments is 13.6 mg/m²/hour contributed by the type of sandy mud substrate of 5.21 CO₂e mg/m²/hour, muddy sand of 6.31 mg/m²/hour, and sand of 2.08 CO₂e mg/m²/hour



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

PENDAHULUAN

Global warming (pemanasan global) merupakan salah satu fenomena alam yang perlu diwaspadai dan harus mendapatkan perhatian serius, bukan hanya di Indonesia, tetapi juga secara global (Riani 2012). Pemanasan global mengakibatkan terjadinya perubahan iklim yang dapat berdampak pada bidang perikanan (Badjeck et al., 2010). Beberapa perubahan yang muncul sebagai dampak dari perubahan iklim misalnya kenaikan suhu perairan, meningkatnya pH, salinitas, kecepatan angin, dan kenaikan muka laut yang secara signifikan berpengaruh terhadap kondisi ekologi atau penurunan jasa layanan ekosistem di laut maupun di perairan tawar (Wang et al., 2016).

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem dan tumbuhan pantai yang berperan penting dalam proses serapan GRK. Ekosistem mangrove merupakan sumberdaya alam tropika yang memiliki banyak manfaat baik aspek ekologi misalnya sebagai tempat mencari makanan, memijah dan pengasuhan bagi biota perairan yang berasosiasi dengan mangrove maupun aspek ekonomi misalnya obat-obatan berbahan dasar mangrove (Rahman et al., 2019; 2020a). Selain fungsi-fungsi tersebut, ekosistem mangrove merupakan tipe ekosistem pesisir yang memiliki kemampuan sangat baik untuk menyimpan karbon dan mereduksi emisi karbon di atmosfer (Alongi 2014; Rahman et al., 2017; 2024a), selain menyerap dan menyimpan karbon, mangrove juga melepaskan karbon melalui produksi serasah berupa dedaunan dan buah yang jatuh, ranting yang patah, kematian alami maupun penebangan mangrove oleh manusia (Chen et al., 2014).

Proses pelepasan karbon tersebut menjadi faktor pengurang sehingga dalam upaya estimasi simpanan dan serapan karbon pada tegakan mangrove dalam suatu ekosistem hal tersebut tidak bisa diabaikan. Produksi serasah mangrove selanjutnya akan mengalami dekomposisi dengan adanya aktivitas bakteri terbentuk proses denitrifikasi dan nitrifikasi yang kemudian menghasilkan fluks GRK seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4) dan nitrous oksida (N_2O) (Chen et al., 2012). Hal ini menunjukkan bahwa proses denitrifikasi dan nitrifikasi tersebut berperan dalam menghasilkan GRK yang juga berperan dalam proses pemanasan global.

Salah satu GRK yang menjadi kontributor pemanasan global adalah gas N_2O yang memiliki umur sangat panjang hingga mencapai 150 tahun. Selain itu N_2O berpotensi menimbulkan pemanasan global sebesar 298 kali dibandingkan CO_2 (IPCC 2001). Oleh karena itu, sekecil apapun konsentrasi N_2O , dapat meningkatkan konsentrasi GRK di atmosfer dengan laju peningkatan sebesar 0,2% per tahun (Abdullah & Khoiruddin 2009). Gas N_2O yang dihasilkan oleh aktivitas mikroba yang terjadi di sedimen atau substrat sebagian besar akan dilepaskan ke atmosfer baik secara difusi melalui tanah maupun dilepaskan oleh tanaman sehingga akan meningkatkan konsentrasi GRK yang berefek pada peningkatan suhu muka bumi (Tullberg et al., 2018). Laju fluks gas N_2O yang berasal dari serasah mangrove secara umum dipengaruhi oleh jenis serasah, laju degradasi serasah, salinitas, suhu, serta input bahan organik yang dihasilkan dari aktivitas antropogenik (Rahman et al., 2018; 2020b; 2023a).

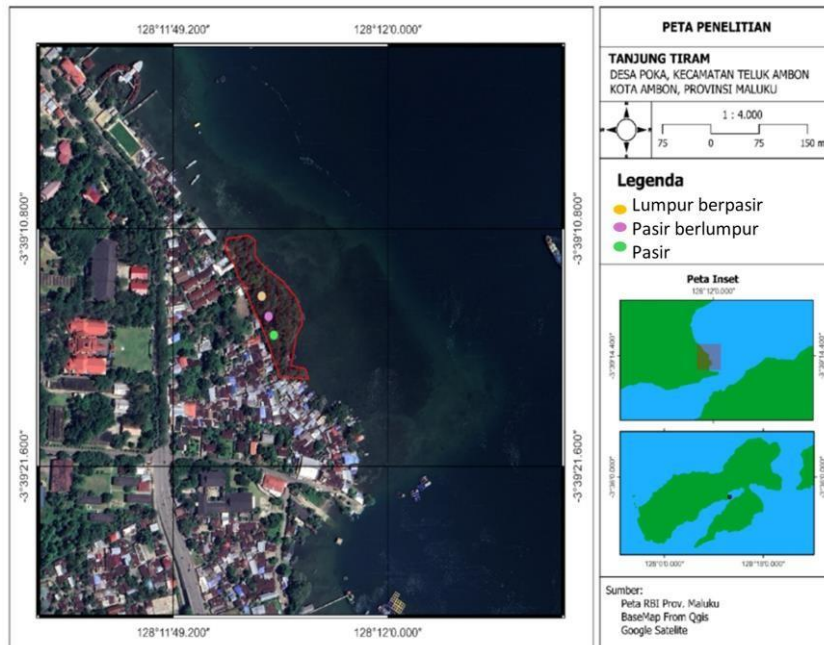
Salah satu wilayah yang merupakan habitat ekosistem mangrove adalah pesisir pantai Poka yang terletak di Teluk Ambon Dalam. Informasi mengenai emisi dan potensi pemanasan global dari gas N_2O pada sedimen mangrove yang ada di pesisir TAD masih terbatas, diantaranya ekosistem mangrove di Desa Waiheru sebagaimana dilaporkan oleh Kesaulya et al. (2023). Sementara itu, untuk Desa Poka belum pernah dilaporkan, sehingga menjadi topik yang menarik untuk diteliti agar dapat menghasilkan informasi dasar yang ilmiah terkait emisi dan potensi pemanasan global gas N_2O yang dihasilkan dari degradasi bahan organik yang terjadi pada sedimen mangrove.

METODE

Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan ekosistem mangrove pesisir Desa Poka, Teluk Ambon Dalam pada bulan Juli - Agustus 2022. Sebanyak tiga titik sampling dipilih 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 perangkat gas pada sedimen
2.	Syringe	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

Metode pengumpulan data

Pengambilan sampel gas dilakukan dengan meletakkan sungkup (Volume 17 L; Luas alas 0,0615 m²) di bawah kanopi mangrove berdasarkan karakter substrat yaitu lumpur berpasir, pasir berlumpur, dan pasir (Kesaulya et al., 2023) (Gambar 2). 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 & Gonsalves, 2022). Sebanyak 10 sampel diambil pada tiap tipe substrat sehingga diperoleh 30 sampel untuk diamati.



Gambar 2. Pengambilan Gas pada Sedimen Mangrove: Sedimen lumpur (kiri); sedimen pasir berlumpur (tengah); sedimen pasir (kanan).

Prosedur analisis data

Konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK)

Analisis konsentrasi gas N₂O dilakukan dengan menggunakan metode kromatografi gas (GC-MS) yang dilakukan di Laboratorium Balai Penelitian Lingkungan Pertanian Kabupaten Pati – Jawa Tengah. Sebanyak 2-3 ml gas diambil dari tiap botol sampel dengan menggunakan spoit selanjutnya gas yang telah diambil dialirkan melalui *thermal conductivity detector* (TCD) selama 5 menit dengan 3 kali pengulangan.

Emisi Gas Karbon

Nilai emisi N₂O dianalisis dengan menggunakan persamaan dari Rahman et al. (2020b; 2023a).

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

Keterangan : F: Fluks gas N₂O (µg.m⁻².h⁻¹), 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), dan mW = massa molekul relatif N₂O = 44 g/mol

Global Warming Potential (GWP)

Analisis nilai GWP dari gas karbon dilakukan mengacu pada persamaan IPCC (2001) yaitu sebagai berikut:

$$F_e = F_m \times GWP$$

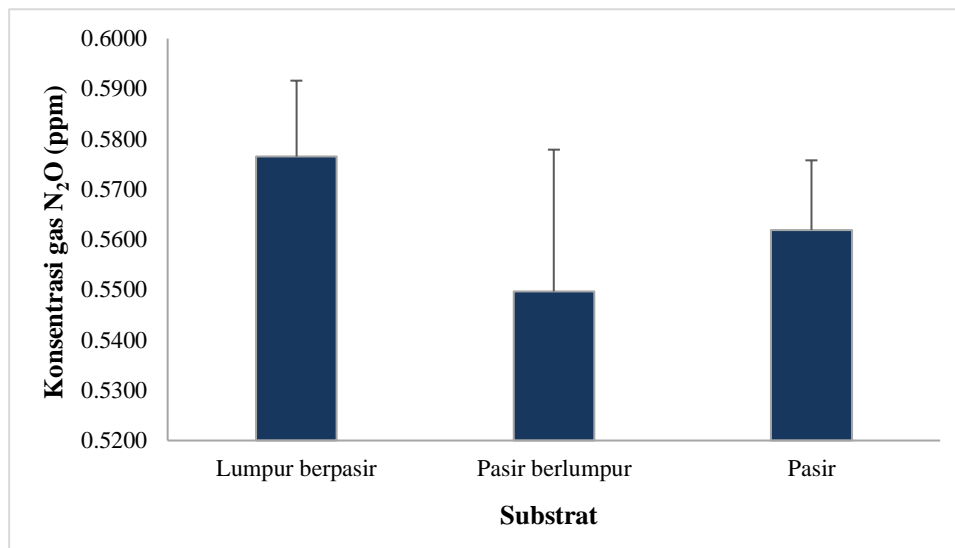
Dimana F_e merupakan nilai fluks CO₂-ekuivalen (mg/m²/jam) sebagai pendekatan dari nilai potensi pemanasan global, F_m merupakan fluks N₂O (mg/m²/jam), GWP merupakan nilai potensi pemanasan global gas karbon yaitu konversi nilai emisi per mol gas CH₄ setara dengan 298 kali emisi CO₂e pada rentang waktu 100 tahun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Gas N₂O

Konsentrasi gas N₂O pada ketiga tipe sedimen menunjukkan perbedaan yang signifikan. Rata – rata konsentrasi N₂O pada masing – masing tipe sedimen yaitu $0,5765 \pm 0,015$ ppm pada lumpur berpasir, $0,5497 \pm 0,0281$ ppm pada pasir berlumpur, dan $0,5619 \pm 0,0139$ ppm pada pasir (Gambar 3). Temuan ini mengindikasikan bahwa konsentrasi N₂O yang dihasilkan dari degradasi bahan organik di sedimen mangrove lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi CH₄ atau CO₂. Laporan Rahman et al. (2024b) di lokasi yang sama menemukan bahwa konsentrasi gas CO₂ dan CH₄ di masing- masing substrat yaitu 553,48 ppm dan 3,60 ppm pada sedimen lumpur berpasir, 526,89 ppm dan 2,15 ppm pada sedimen pasir berlumpur, serta 512,58 ppm dan 1,80 ppm pada sedimen pasir.

Rendahnya konsentrasi N₂O berkaitan erat dengan kandungan protein dalam serasah mangrove yang lebih rendah dibandingkan karbohidrat yang merupakan sumber utama pembentukan gas karbon. Kandungan protein dalam serasah mangrove adalah 9% dimana komposisi penyusun protein tersebut terdiri dari 19,18% unsur nitrogen. Total unsur nitrogen tersebut hanya 1,72% dan lebih rendah dibandingkan karbon yaitu 46,82% dari total biomassa mangrove (Rahman et al., 2023b).



Gambar 3. Konsentrasi Gas N₂O pada Berbagai Tipe Sedimen Mangrove di Pesisir Desa Poka, Teluk Ambon Dalam.

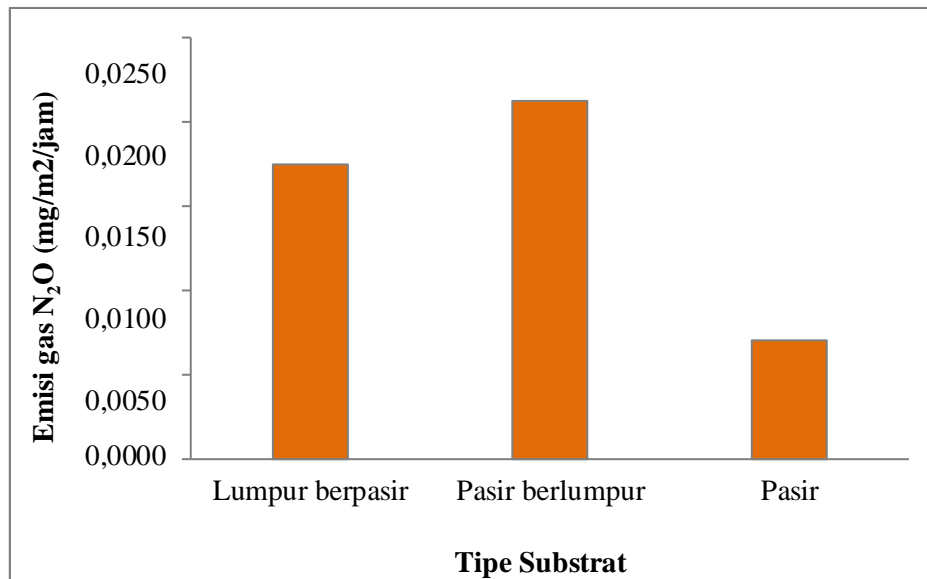
Emisi Gas N₂O

Emisi gas N₂O pada masing – masing sedimen relatif berbeda. Berdasarkan analisis emisi pada substrat lumpur berpasir sebesar $0.0175 \text{ mg/m}^2/\text{jam}$, pada substrat pasir berlumpur sebesar $0.0212 \text{ mg/m}^2/\text{jam}$, dan pada substrat pasir sebesar $0.0070 \text{ mg/m}^2/\text{jam}$ (Gambar 4). Fluktuasi emisi gas N₂O pada masing – masing sedimen berbanding terbalik dengan konsentrasi gas N₂O. Hal tersebut terjadi karena perbedaan konsentrasi gas yang dihasilkan pada tiap interval waktu (dc/dt). Semakin besar interval konsentrasi gas antara t_0 ke t_1 hingga ke t_n , maka akan semakin besar pula emisi gas yang dilepaskan ke atmosfer. Sebaliknya, semakin kecil interval konsentrasi gas antara t_0 ke t_1 hingga ke t_n , maka emisi gas N₂O yang dilepaskan ke atmosfer akan semakin kecil. Rata-rata emisi gas N₂O pada sedimen mangrove di pantai Poka sebesar $0.0153 \text{ mg/m}^2/\text{jam}$.

Rata - rata emisi gas N₂O pada sedimen mangrove di pantai Poka sebesar $0,0152 \text{ mg/m}^2/\text{jam}$ emisi tersebut lebih kecil bila dibandingkan dengan emisi gas N₂O pada sedimen mangrove di Sungai Tallo – Makassar (Rahman et al., 2018) mangrove Kabupaten Muna Barat (Rahman et al., 2020b),

mangrove India (Chauhan et al., 2015), Mangrove China Selatan (Chen et al., 2010a) dan mangrove Colombia (Konnerup et al., 2014) dengan nilai masing – masing sebesar 0.286 mg/m²/jam, 3.36 mg/m²/jam, 0.1876 mg/m²/jam, 0.5274 mg/m²/jam, dan 1.1675 mg/m²/jam. Perbedaan nilai emisi gas N₂O disebabkan oleh variasi pasang surut yang terjadi pada ekosistem mangrove (Chauhan et al., 2015).

Selain itu, menurut Pathak (1999); Zheng et al. (2000); dan Huang et al. (2014) menyatakan bahwa emisi N₂O juga dipengaruhi oleh kandungan air dalam sedimen, suhu, kandungan oksigen, ketersediaan amonium (NH₄⁺) dan nitrat (NO₃⁻). Corredor et al. (1999); Kreuzwieser et al. (2003) dan Huang et al. (2014) menyatakan bahwa seluruh komponen tersebut berperan dalam proses nitrifikasi dan denitrifikasi untuk pembentukan gas N₂O dengan tingkat korelasi (*r*) berkisar 0.764 – 0.816.



Gambar 4. Emisi gas N₂O berdasarkan tipe sedimen di ekosistem mangrove Desa Poka

Potensi Pemanasan Global (GWP)

Peningkatan emisi gas N₂O di atmosfer dipicu oleh degradasi limbah organik. Konsentrasi gas karbon juga meningkat karena proses alamiah seperti degradasi serasah yang terjadi pada sedimen mangrove (Konnerup et al. 2014). Potensi pemanasan global (GWP) gas N₂O merupakan akumulasi potensi radiasi dari emisi gas N₂O yang disetarakan menjadi nilai emisi CO₂e. Adapun faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya nilai GWP gas N₂O dari sedimen mangrove adalah adanya kandungan bahan organik dalam sedimen. Kandungan bahan organik dalam sedimen mangrove dapat mempengaruhi produksi gas N₂O, semakin tinggi kandungan bahan organik dalam sedimen, maka semakin tinggi pula produksi gas N₂O (Pathak 1999). Rata – rata GWP dari emisi N₂O pada sedimen mangrove pantai Poka yaitu 4,5395 CO₂e mg/m²/jam.

GWP terbesar dikontribusikan oleh tipe substrat pasir berlumpur dengan nilai GWP yaitu 6.31 CO₂e mg/m²/jam. GWP terendah dikontribusikan oleh substrat pasir dengan nilai GWP yaitu 2.08 CO₂e mg/m²/jam (Tabel 2). Rata – rata nilai GWP dari emisi gas N₂O tersebut lebih rendah dibandingkan nilai GWP dari emisi gas N₂O pada sedimen mangrove sungai Tallo – Makassar yaitu 44.23 mg/m²/jam (Rahman et al., 2020d) dan sedimen mangrove China Selatan 165.02 mg/m²/jam (Chen et al., 2010b). Namun, GWP tersebut lebih tinggi bila dibandingkan dengan GWP pada sedimen mangrove perairan estuary – China dengan nilai GWP sebesar 0.18 mg/m²/jam (Chen et al., 2010a). Kandungan bahan organik dalam sedimen dapat meningkatkan produksi gas N₂O, sehingga

mungkin menjadi faktor yang berkontribusi terhadap nilai GWP yang lebih tinggi di lokasi ini. Selain itu, suhu dan kelembaban yang tinggi di wilayah ini juga dapat mempengaruhi produksi gas N₂O dari sedimen mangrove. Sedimen mangrove China Selatan yang kaya akan bahan organik dan mineral memiliki emisi N₂O yang lebih tinggi, yaitu mencapai 165.02 mg/m²/jam. Kondisi lingkungan di sekitar lokasi ini dapat mempengaruhi produksi gas N₂O dari sedimen mangrove, seperti pH dan ketersediaan nutrisi. Selain itu, perubahan dalam penggunaan lahan dan pola penggunaan tanah di wilayah ini dapat mempengaruhi kualitas air dan substrat yang pada gilirannya dapat mempengaruhi produksi gas N₂O.

Sedimen mangrove perairan estuary - China (0.18 mg/m²/jam), lokasi ini terletak di daerah muara sungai di pantai China Selatan, dan memiliki kondisi lingkungan yang berbeda dari dua lokasi sebelumnya. Estuari memiliki konsentrasi nutrisi dan bahan organik yang lebih rendah dibandingkan dengan perairan pantai terbuka (Rahman et al., 2024a), sehingga produksi gas N₂O dari sedimen mangrove di lokasi ini juga lebih rendah. Selain itu, fluktuasi air laut dan pasang surut di wilayah ini juga dapat mempengaruhi produksi gas N₂O dari sedimen mangrove.

Tabel 2. Potensi pemanasan global (GWP) emisi gas N₂O di kawasan mangrove Desa Poka, Ambon

Tipe sedimen	Emisi (mg/m ² /jam)	GWP (CO ₂ e mg/m ² /jam)
Lumpur berpasir	0,0175	5,2150
Pasir berlumpur	0,0212	6,3176
Pasir	0,0070	2,0860
Rata – rata	0,0152	4,5395

KESIMPULAN

Rata – rata GWP dari emisi gas N₂O ekosistem mangrove di Desa Poka relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan rata – rata emisi global menurut IPCC (2001) yaitu 298 CO₂e mg/m²/jam. GWP terbesar dikontribusikan oleh sedimen lumpur berpasir dan pasir berlumpur.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Khoiruddin. 2009. Efek Rumah Kaca dan Pemanasan Global . *Biocelbes*. 3(1): 15p.
- Alongi DM. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Ann. Rev. of Mar. Sci.* 195 – 219. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>.
- Badjeck MC, Allison EH, Halls AS, Dulvy NK. 2010. Impacts of climate variability and change on fishery-based livelihoods. *Marine Policy*. 34: 375-383.
- Chauhan R, Datta A, Ramanathan AL, Adhya TK. 2015. Factors influencing spatio-temporal variation of methane and nitrous oxide emission from a tropical mangrove of eastern coast of India. *Atmospheric Environment*. 107: 95-106
- Chen GC, Tam NFY, Ye Y. 2010a. 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 J, Wu FH, Xiao Q, Yang ZH, Huang SH, Wang J, Wu YG, Dong XJ, Pei ZM, Zheng HL. 2010b. Diurnal variation of nitrit oxide emission flux from a mangrove wetland in Zhangjiang River Estuary, China. *Estuarine, Coastal, Shelf Science*. 90:212–220.
- Chen GC, Tam NFY, 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.
- Chen GC, Ulumuddin YI, Pramudji S, Chen SY, Chen B, Ye Y, Ou DY, Ma ZY, Huang H, Wang JK. 2014. Rich soil carbon and nitrogen but low atmospheric greenhouse gas fluxes from North Sulawesi mangrove swamps in Indonesia. *Science of the Total Environment*. 487: 91-96.

- Corredor JE, Moorel JM, Bauza J. 1999. Atmospheric Nitrous Oxide fluxes from mangrove sediments. *Marine Pollution Bulletin*. 38 (6): 473-478
- Huang J, Chen Y, Sui P, Nie S, Gao W. 2014. Soil Nitrous Oxide Emissions Under Maize-Legume Intercropping System in the North China Plain. *Journal of Integrative Agriculture*. 13(6): 1363-1372
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. *Climate Change 2001 : The Scientific Basis*. Cambridge (US): Cambridge University Pr. pp 128-134.
- Kesaulya I, Rahman, Haumahu S, Krisye. 2023. Global warming potential of Carbon dioxide and Methane emissions from mangrove sediment in Waiheru Coastal, Ambon Bay. IOP Conf. Ser: Earth Environ. Sci. 1207. 012030.
- Konnerup D, Portela JMB, Villamil C, Parra JP. 2014. Nitrous oxide and methane emissions from the restored mangrove ecosystem of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 30: 1-9.
- Kreuswieser J, Buchholz J, Rennenberg H. 2003. Emission of methane and nitrous oxide by Australian mangrove ecosystems. *Plant Biology*. 5: 423 – 431.
- Nazareth DR, Gonsalves MJ. 2022. Influence of seasonal and environmental variables on the emission of methane from the mangrove sediments of Goa. *Environ Monit Assess*. 194:249. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09734-3>
- Pathak H. 1999. Emission of nitrous oxide from soil. Article Reviews. *Current Science*. 77(3): 359-360.
- Rahman, Efendi H, Rusmana I. 2017. Estimasi stok dan serapan karbon pada mangrove di Sungai Tallo, Makassar. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. (11): 19-28.
- Rahman, Yulianda F, Effendi H, Rusmana I, Wardiatno Y. 2018. Fluks gas rumah kaca CO₂, CH₄, dan N₂O pada lahan ekosistem mangrove di Sungai Tallo Makassar. *Jurnal Biologi Tropis*. 18(2): 149-158.
- Rahman, Yulianda F, Rusmana I, Wardiatno Y. 2019. Production ratio of seedlings and density status of mangrove forests in coastal areas of Indonesia. *Advances in Environmental Biology*, 13(6), 13-20.
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F, Rusmana I, Bengen DG. 2020a. *Metode dan Analisis Studi Ekosistem Mangrove*. IPB Press. 124p.
- Rahman, Wardiatno Y, Yulanda F, Rusmana I. 2020b. Seasonal fluxes of CO₂, CH₄, and N₂O greenhouse gases in various mangrove species on the coast of West Muna Regency, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Plant Archives*. 20, 4301–4311
- Rahman, Effendi H, Rusmana I, Wardiatno Y, Yulianda F. 2020c. Pengelolaan ekosistem mangrove untuk ruang terbuka hijau sebagai mitigasi gas rumah kaca. *JPSL*. 10(2): 320 – 328.
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F, Lokollo FF, Rusmana I. 2023a. Emissions and potential of global warming of N₂O gas of mangrove litter degradation on the West Muna Regency Coast. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 17, 127 – 134.
- Rahman, Maryono, Sigiro ON. 2023b. What is the true carbon fraction of mangrove biomass? *Malaysian Journal of Science*. 42(2): 1 – 6.
- Rahman, Ceanturi A, Tuahatu JW, Lokollo FF, Supusepa J, Hulopi M, Permatahati YI, Lewerissa YA, Wardiatno Y. 2024a. Mangrove ecosystems in Southeast Asia region: Mangrove extent, blue carbon potential, and CO₂ emission in 1996 – 2020. *Science of the Total Environment*. 915: 1 – 12.
- Rahman, Kesaulya I, La Ikkal. 2024b. Greenhouse gases emissions (CO₂ and CH₄) in the mangrove sediment on the coast of Poka Village, Ambon City. *JPLB*. 8(1): 1-10 (*in press*)
- Riani E. 2012. *Perubahan Iklim dan Kehidupan Biota Akuatik*. Bogor (ID): IPB Pr.
- Tullberg J, Antille DL, Bluett C, Eberhard J, Scheer C. 2018. Controlled traffic farming effects on soil emissions of nitrous oxide and methane. *Soil and Tillage Research*. 176: 18-25.

- Wang H, Zhou S, Li X, Liu H, Chi D, Xu K. 2016. The influence of climate change and human activities on ecosystem service value. *Ecological Engineering*. 87: 224-239.
- Zheng XH, Wang MX, Wang YS, Shen RX, Gou J, Li J, Jin JS, Li LT. 2000. Impacts of soil moisture on nitrous oxide emission from croplands: A case study on the rice-based agro-ecosystem in Southeast China. *Chemosphere Global Change Science* 2: 207–224.