

Fluxes of carbon dioxide gases (CO₂) in the mangrove soil of Passo Village, Ambon City

Fluks Gas Karbon Dioksida (CO₂) pada Sedimen Mangrove Negeri Passo, Kota Ambon

Rahman Rahman¹, Eva Susan Ratuluhain^{1*}, Fahrul Rozy Fakaubun¹, Imanuel Villian Trayanta Soukotta¹

*Email corresponding author: evasusanratuluhain@gmail.com

¹Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Maluku 97233, Indonesia

Article Info:

Received : 02/09/2024

Revised : 22/09/2024

Accepted : 17/10/2024

Published : 31/10/2024

Keywords:

carbon dynamic, climate change, CO₂ fluxes, mangrove soil.

Kata Kunci:

dinamika karbon, perubahan iklim, fluks CO₂, sedimen mangrove.

This is an open access article under [CC-BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Copyright © 2024 The Author(s)

Abstract. Mangrove ecosystems play a significant role in carbon absorption. However, the accumulation of organic matter in mangrove sediments undergoes decomposition, which triggers the release of CO₂ gas flux. This study aimed to analyze the CO₂ gas flux in mangrove sediments of Negeri Passo, Ambon City. Gas data collection was performed using cylinder canopies at the three observation stations. Gas was passed through the syringe five times with an interval of 30s. Gas concentration analysis was carried out using the gas chromatography method, while CO₂ flux was analyzed with flux equations referring to slope regression, volume and area of the scope, temperature, molecular weight of the gas, ideal gas settings, and time constants based on gas intake intervals. The results showed that the average CO₂ concentration in St. 1 was 465.14 ± 96.52 ppm, and was the lowest compared to St. 2 and St. 3 with values of 638.60 ± 90.05 ppm and 630.98 ± 54.09 ppm, respectively. Meanwhile, the average CO₂ flux was 50.44 mg/m²/hour. The largest CO₂ gas flux was observed at St. 2 at 103.69 mg/m²/hour. Meanwhile, the lowest flux was found at St. 3, which was 16.24 mg/m²/hour. Based on this, it can be concluded that the mangrove ecosystem in Negeri Passo has a higher concentration of CO₂ gas than the average concentration of climate change stabilization scenarios. However, the CO₂ flux was lower than that at other locations in the Ambon Dalam Bay area. In addition, the potential for significant carbon sequestration based on the Tier 1 model approach indicated that mangrove ecosystems in this location play an important role in climate change mitigation.

Abstrak. Ekosistem mangrove memiliki peran yang signifikan dalam menyerap karbon. Namun, akumulasi bahan organik pada sedimen mangrove mengalami penguraian yang memicu pelepasan fluks gas CO₂. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis fluks gas CO₂ pada sedimen mangrove Negeri Passo, Kota Ambon. Pengambilan data gas dilakukan menggunakan sumpung silinder pada tiga stasiun pengamatan. Gas diambil melalui *syringe* sebanyak 5 kali dengan interval 30s. Analisis konsentrasi gas dilakukan menggunakan metode kromatografi gas, sedangkan fluks CO₂ dianalisis dengan persamaan fluks yang mengacu pada slop regresi, volume dan luas sumpung, temperatur, berat molekul gas, dan tetapan gas ideal, serta konstanta waktu berdasarkan interval pengambilan gas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi CO₂ pada St.1 adalah 465,14 ± 96,52 ppm, dan merupakan yang terendah dibandingkan St. 2 dan St. 3 dengan nilai masing-masing 638,60 ± 90,05 ppm dan 630,98 ± 54,09 ppm. Sedangkan rata-rata fluks CO₂, yaitu 50,44 mg/m²/jam. Fluks gas CO₂ terbesar ditemukan pada St. 2, yaitu 103,69 mg/m²/jam. Sementara itu, fluks terendah terdapat pada St. 3, yaitu 16,24 mg/m²/jam. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa ekosistem mangrove di Negeri Passo memiliki konsentrasi gas CO₂ yang lebih tinggi dari rata-rata konsentrasi skenario stabilisasi perubahan iklim. Meski demikian, fluks CO₂ relatif lebih rendah dibandingkan lokasi lain yang di kawasan Teluk Ambon Dalam. Selain itu, potensi penyerapan karbon yang sangat signifikan berdasarkan pendekatan model Tier 1, mengindikasikan bahwa ekosistem mangrove di lokasi ini berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim.

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan ekosistem dengan biodiversitas flora dan fauna yang sangat tinggi (Rahman et al., 2024a). Ekosistem ini mendapatkan perhatian serius karena peranannya dalam menyerap karbon (Rahman et al.,

2024a) sehingga berpotensi sebagai solusi berbasis alam dalam penanganan dan mitigasi pemanasan global (Huxham et al., 2023). Berbagai penelitian mengindikasikan adanya kontribusi signifikan ekosistem mangrove dalam penyerapan karbon tersebut. Oleh karena itu, pendekatan potensi stok karbon, kini menjadi paradigma baru dalam pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan (Sidik et al., 2023). Namun, selain menyimpan karbon, mangrove juga dapat menjadi sumber emisi gas rumah kaca, termasuk karbon dioksida (CO₂) (Rahman et al., 2018; Kesaulya et al., 2023), terutama melalui proses respirasi mikroorganisme dan dekomposisi bahan organik pada sedimen mangrove (Rahman et al., 2020a).

Fluks gas CO₂ dari sedimen mangrove merupakan indikator penting yang menggambarkan keseimbangan antara proses penyerapan dan pelepasan karbon di dalam ekosistem tersebut. Fluktuasi fluks CO₂ dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, seperti suhu, salinitas, kelembapan, dan komposisi bahan organik (Chauhan et al., 2015). Oleh karena itu, pemahaman mengenai fluks CO₂ dari sedimen mangrove sangat penting dalam upaya pengelolaan dan konservasi ekosistem mangrove, khususnya dalam konteks mitigasi perubahan iklim.

Negeri Passo, yang terletak di Kota Ambon, memiliki kawasan mangrove yang cukup luas dan menjadi salah satu lokasi penting untuk penelitian ekosistem pesisir (Pietersz et al., 2024). Namun hingga saat ini, penelitian terkait fluks gas CO₂ pada sedimen mangrove di kawasan ini masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan menganalisis fluks gas CO₂ dari sedimen mangrove di Negeri Passo.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pemahaman yang lebih mendalam mengenai dinamika karbon di dalam ekosistem mangrove, serta memberikan rekomendasi bagi upaya konservasi dan pengelolaan mangrove yang lebih efektif di Negeri Passo, Kota Ambon. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bermanfaat dari segi ilmiah, tetapi juga memiliki implikasi praktis dalam konteks mitigasi perubahan iklim dan pelestarian lingkungan.

METODE PENELITIAN

Deskripsi Lokasi Penelitian

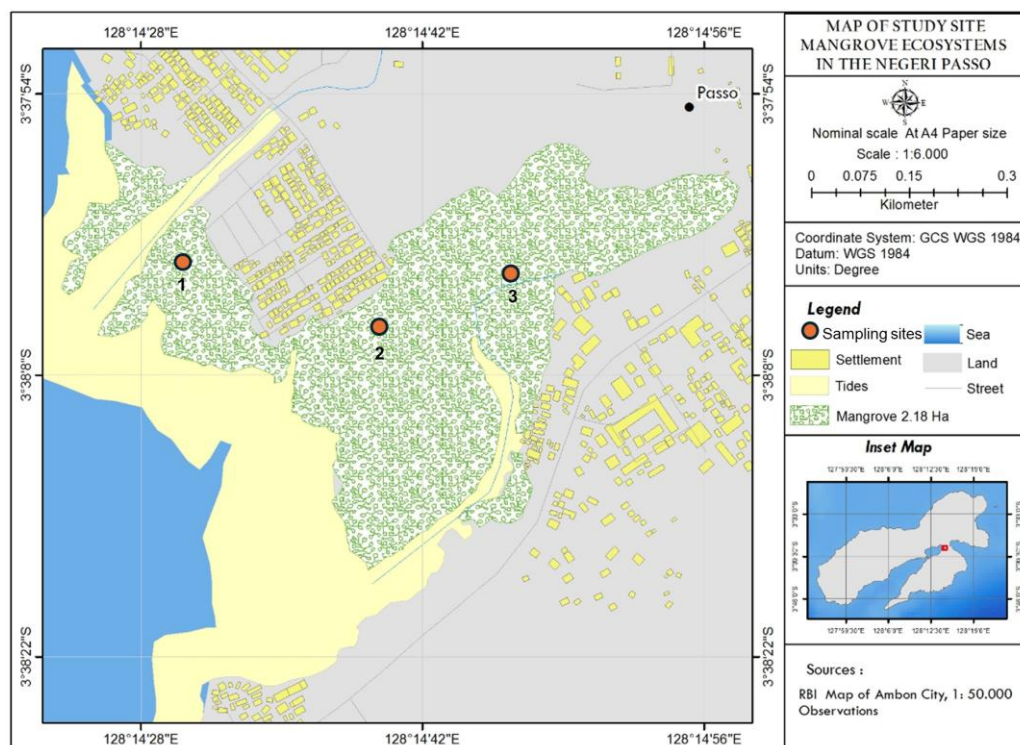
Penelitian dilakukan pada Juli 2022 di kawasan ekosistem mangrove Negeri Passo. Mangrove Negeri Passo memiliki luas 21,66 ha dengan tutupan kanopi kategori sangat padat mencapai 62,70% (Pietersz et al., 2024). Pada sisi barat dan timur ekosistem ini terdapat kawasan pemukiman (Gambar 1), dimana potensi akumulasi bahan organik dari limbah domestik menjadi makin besar (Kesaulya et al., 2023).

Sampling Gas

Sampling gas dilakukan pada tiga stasiun atau titik sedimen mangrove utamanya yang dekat dengan kawasan pemukiman. Titik sampling ini belum

representatif terhadap seluruh kondisi ekosistem, namun sebagai studi pendahuluan untuk mengetahui potensi fluks gas dari sedimen mangrove relatif dapat diterima.

Pada tiap titik sampling (sedimen) diletakkan satu sungkup silinder ($V = 17L$, $A = 0.0616 \text{ m}^2$) (Gambar 2) dengan dua kali pengulangan. Sungkup dibuat dari galon yang bagian bawahnya dipotong sekitar 5 cm sehingga mudah ditancapkan pada sedimen. Pada tiap pengulangan dilakukan pengambilan gas sebanyak 5 kali menggunakan spoit *syringe* dengan interval 30 detik, yaitu 0s, 30s, 60s, 90s, dan 120s, sesuai metode Nazareth & Gonsalves (2022). Gas yang diambil selanjutnya dimasukkan ke dalam botol vial 10 ml (botol kedap udara) untuk selanjutnya dikirim ke laboratorium gas rumah kaca pada Balai Standardisasi Instrumen Pertanian (BSIP) Kabupaten Pati – Jawa Tengah.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian: Ekosistem Mangrove Negeri Passo

Analisis Konsentrasi Gas CO₂

Konsentrasi gas CO₂ dianalisis dengan metode Kromatografi Gas (GC-MS). Pada metode ini, sebanyak 2-3 ml gas diambil dari botol vial menggunakan spoit dan dialirkan pada *Thermal-Conductivity-Detector* (TCD). Hasil analisis konsentrasi gas yang diperoleh disajikan dalam satuan *part per million* atau ppm.

Analisis Fluks Gas CO₂

Fluks gas CO₂ dianalisis berdasarkan persamaan fluks gas rumah kaca yang dikembangkan oleh Rahman et. al. (2020b; 2023) dari modifikasi persamaan *Internasional Atomic Energy Agency* (1992). Secara matematis, persamaan fluks gas rumah kaca tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

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

Keterangan:

F : fluks gas CO₂ (mg/m²/jam)

S : slope regresi konsentrasi CO₂ yang diukur pada tiap interval 30s (ppm/s)

V : volume sungkup silinder (L)

A : luas sungkup (m²)

t_i : tetapan faktor transformasi waktu (1 jam dibagi interval waktu sampling = 3600s/30s atau 120).

R : tetapan gas ideal (0,082 L*atm/K/mol)

T : temperatur dalam sungkup atau suhu udara (K)

mW : massa molekul senyawa CO₂ = 44 gram/mol



Gambar 2. Pengambilan Sampel Gas dengan Sungkup Silinder

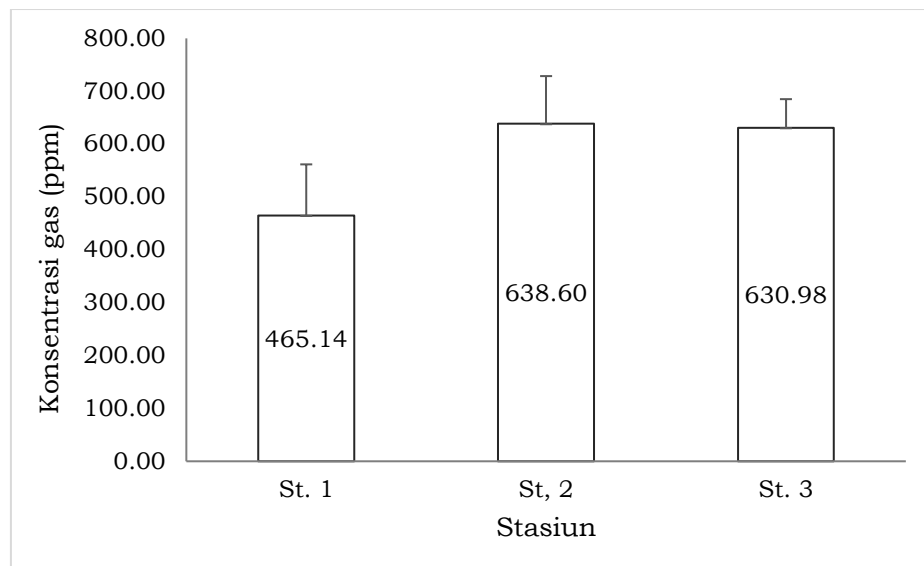
HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Gas CO₂

Rata – rata konsentrasi CO₂ pada St.1 adalah 465,14 ± 96,52 ppm, dan merupakan yang terendah dibandingkan St. 2 dan St. 3 dengan nilai masing – masing 638,60 ± 90,05 ppm dan 630,98 ± 54,09 ppm (Gambar 3). Konsentrasi CO₂ pada ketiga stasiun pengamatan tergolong pada kategori tinggi dan memiliki potensi yang signifikan dalam peningkatan konsentrasi karbon di atmosfer. Hal ini karena nilai 465,14 – 638,60 ppm tersebut lebih besar dibandingkan nilai rata-rata konsentrasi CO₂ pada skenario stabilisasi perubahan iklim menurut Matsuno et. al. (2012), yaitu 450-550 ppm.

Tingginya konsentrasi CO₂ pada seluruh stasiun pengamatan mengindikasikan adanya akumulasi bahan organik pada kawasan sedimen mangrove. Selain itu, akumulasi tersebut tidak diimbangi dengan proses pencucian yang aktif (*flushing time*). Hal ini karena ekosistem mangrove Negeri Passo berada pada kawasan perairan teluk yang semi tertutup, yaitu Teluk Ambon Dalam (TAD). Perairan semi tertutup memiliki pencucian bahan organik yang signifikan lebih lama dibandingkan perairan terbuka. Dalam konteks ini, Salamena et. al. (2022) melaporkan bahwa *flushing time* bahan organik yang masuk ke perairan TAD mencapai 14 hari terutama pada musim hujan. Sementara itu, pada perairan Teluk Ambon Luar (TAL) yang relatif terbuka *flushing time* bahan organik lebih rendah, yaitu 1,5 minggu atau 9-10 hari (Salamena et al., 2023).

Selain karena faktor kondisi perairan yang semi tertutup, akumulasi bahan organik pada sedimen mangrove juga dipengaruhi oleh kerapatan mangrove Negeri Passo yang sangat tinggi. Menurut Pietersz et. al. (2024), ekosistem mangrove pada lokasi ini memiliki kepadatan antara padat dan sangat padat.

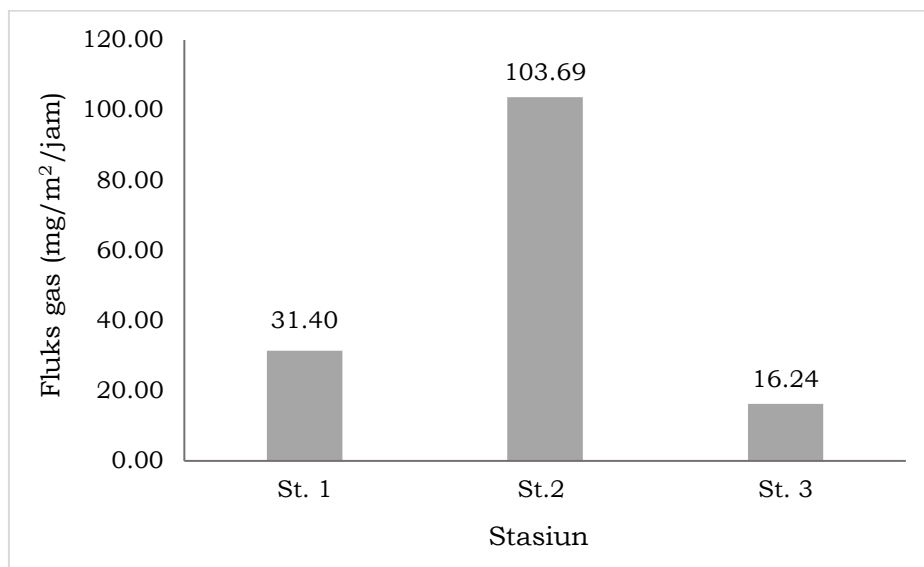


Gambar 3. Konsentrasi Gas CO₂ pada Sedimen Mangrove Negeri Passo, Ambon

Fluks Gas CO₂

Rata – rata fluks CO₂, yaitu 50,44 mg/m²/jam. Fluks gas CO₂ terbesar ditemukan pada St. 2, yaitu 103,69 mg/m²/jam (Gambar 4). Sementara itu, fluks terendah terdapat pada St. 3, yaitu 16,24 mg/m²/jam. Temuan ini relatif rendah bila dibandingkan dengan temuan Rahman et. al. (2024c) di Pesisir Desa Poka, yaitu 61,63 mg/m²/jam. Perbedaan fluks gas CO₂ pada masing – masing stasiun dapat disebabkan oleh karakteristik sedimen. Sedimen berpasir cenderung memiliki porositas yang tinggi sehingga memungkinkan pelepasan CO₂ dari sedimen ke atmosfer menjadi lebih cepat. Hal ini didukung oleh laporan Dhandi et. al. (2024) yang menemukan perbedaan signifikan fluks CO₂ antara sedimen berlumpur dan berpasir di kawasan ekosistem mangrove Negeri Lama.

Meski demikian, diperlukan studi lebih lanjut untuk mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi perbedaan konsentrasi atau pun fluks gas CO₂ pada masing – masing stasiun pengamatan. Meskipun banyak studi menunjukkan bahwa parameter perairan seperti suhu, salinitas, dan DO berpengaruh secara signifikan terhadap pembentukan dan pelepasan gas rumah kaca. Namun, kisaran nilai parameter perairan yang sempit menyebabkan sulitnya dilakukan analisis pengaruh parameter tersebut di dalam menentukan perbedaan nilai konsentrasi atau fluks di antara titik pengamatan (Rahman et al., 2020a). Oleh karena itu, dalam temuan ini, hal perlu ditekankan untuk dipelajari lebih lanjut adalah bagaimana karakteristik sedimen pada St. 1, St. 2, dan St. 3.



Gambar 4. Fluks Gas CO₂ pada Sedimen Mangrove Negeri Passo, Ambon

Diskusi Umum

Kondisi ekosistem mangrove Negeri Passo yang sangat padat tidak memungkinkan untuk dilakukan pengamatan potensi stok karbon dengan pendekatan model Tier 3 atau pengamatan secara langsung. Oleh karena itu, pada kondisi ini, estimasi karbon dapat dilakukan dengan model Tier 1, yaitu estimasi dengan pendekatan luas mangrove dan rata – rata stok karbon global (IPCC, 2001). Rata – rata stok karbon global menurut Alongi (2014) adalah 956 tonC/ha atau setara dengan 3505,33 ton CO₂e/ha. Berdasarkan hal tersebut, maka potensi serapan karbon ekosistem mangrove Negeri Passo adalah 75.925,52 ton CO₂e. Jika rata-rata usia mangrove adalah 20 tahun, maka serapan CO₂ rata-rata berdasarkan ekuivalensi massa molekulnya adalah 642,66 ton CO₂-e/ha/tahun.

Di sisi lain, rata – rata fluks CO₂ sebesar 50,44 mg/m²/jam setara dengan emisi karbon sebesar 4,42 ton/ha/tahun. Mengacu pada kedua nilai tersebut, maka ekosistem mangrove Negeri Passo masih memiliki peran yang signifikan dalam mereduksi emisi gas karbon termasuk memitigasi perubahan iklim. Surplus penyerapan karbon relatif sangat besar, yaitu 626,45 ton CO₂e/ha/tahun. Pendekatan ini tentu tidak sepenuhnya akurat, dalam konsep

estimasi dinamika karbon pada kerangka pendekatan Tier 1 menjadi sangat ilmiah dan dapat diterima. Namun jika ingin dilakukan estimasi yang lebih akurat dari pendekatan ini, maka penilaian dinamika karbon dapat dilakukan secara kompherensif dengan pendekatan model Tier 1 dan emisi gas rumah kaca utama seperti CO₂, CH₄, dan N₂O.

KESIMPULAN

Ekosistem mangrove di Negeri Passo memiliki konsentrasi gas CO₂ yang lebih tinggi dari rata – rata konsentrasi skenario stabilisasi perubahan iklim. Meski demikian, fluks CO₂ relatif lebih rendah dibandingkan lokasi lain yang di kawasan Teluk Ambon Dalam. Selain itu, potensi penyerapan karbon yang sangat signifikan berdasarkan pendekatan model Tier 1, mengindikasikan bahwa ekosistem mangrove di lokasi ini berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa La Iqbal dan Meisye K. Lilitnuhu yang membantu dalam pengambilan data pada penelitian ini.

PERNYATAAN KONTRIBUSI PENULIS

Dengan ini penulis menyatakan bahwa kontribusi setiap penulis terhadap pembuatan karya tulis ini adalah Rahman sebagai kontributor utama. Eva Susan Ratuluhain sebagai korespondensi, dan Fahrul Rozy Fakaubun serta Imanuel Villian Trayata Soukotta sebagai penulis anggota. Penulis telah melampirkan surat pernyataan deklarasi penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M. (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual review of marine science*, 6(1), 195-219. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- Chauhan, R., Datta, A., Ramanathan, A. L., & Adhya, T. K. (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. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.02.006>
- Dhandi., Tuahatu, J.W., Pasanea, K., & Rahman. (2024). Concentration and emission of carbon dioxide (CO₂) gas in mangrove sediments of Nania Village, Ambon City. *Coastal and Ocean Journal*, 8(1), 32-40. <https://doi.org/10.29244/coj.v8i1.55723>
- Huxham, M., Kairu, A., Lang'at, J.A., Kivugo, R., Mwafrika, M., Huff, A., & Shilland, R. (2023). Rawls in the mangrove: Perceptions of justice in nature-based solutions projects. *People and Nature*. 1-16. <https://doi.org/10.1002/pan3.10498>

- International Atomic Energy Agency. (1992). *Manual on Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emission from Agricultural*. Vienna (AT), IAEA. pp 52-55.
- 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 Emission from Mangrove Sediment in Waiheru Coastal, Ambon Bay. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1207, No. 1, p. 012030). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1207/1/012030>
- Matsuno, T., Maruyama, K., & Tsutsui, J. (2012). Stabilization of atmospheric carbon dioxide via zero emissions—An alternative way to a stable global environment. Part 1: Examination of the traditional stabilization concept. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 88(7), 368-384. <https://doi.org/10.2183/pjab.88.368>
- Nazareth, D.R., & Gonsalves, M.J. (2022). Influence of seasonal and environmental variables on the emission of methane from the mangrove sediments of Goa. *Environmental Monitoring Assessment*, 194(4), 249. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09734-3>
- Pietersz, J. H., Pribadi, R., Pentury, R., & Ario, R. (2024). Estimasi Tutupan Kanopi Berdasarkan NDVI dan Kondisi Tutupan Tajuk Pada Ekosistem Mangrove Negeri Passo, Teluk Ambon Dalam. *Jurnal Kelautan Tropis*, 27(2), 197-208. <https://doi.org/10.14710/jkt.v27i2.22090>
- Rahman, R., Wardiatno, Y., Yulianda, F., Effendi, H., & Rusmana, I. (2018). Fluxes of greenhouse gases CO₂, CH₄ and N₂O from mangrove soil in Tallo River, Makassar. *Jurnal Biologi Tropis*, 18(2), 149–158. <https://doi.org/10.29303/jbt.v18i2.755>
- Rahman., Wardiatno, Y., Yulianda, F., Rusmana, I., & Bengen, D.G. (2020a). *Metode dan Analisis Studi Ekosistem Mangrove*. Bogor (ID): IPB Press. 124p.
- Rahman., Wardiatno, Y., Yulianda, 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(2), 4301 – 4311.
- Rahman, R., Wardiatno, Y., Yulianda, F., Lokollo, F. F., & Rusmana, I. (2023). Emissions and potential of global warming of N₂O gas of mangrove litter degradation on the West Muna Regency Coast. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 17(2), 127-134. <https://doi.org/10.22146/jik.v17i2.7009>
- Rahman., Lokollo, F.F., Manuputty, G.D., Hukubun, R.D., Krisye., Maryono., Wawo, M., & Wardiatno, Y. (2024a). A review on the biodiversity and conservation of mangrove ecosystems in Indonesia. *Biodiversity and Conservation*, 33(3), 875-903. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02767-9>
- Rahman., Ceantury, A., Tuahatu, J.W., Lokollo, F.F., Supusepa, J., Hulopi, M., Permatahati, Y.I., Lewerissa, A., & Wardiatno Y. (2024b). 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170052>
- Rahman, R., Kesaulya, I., & Ikbal, L. (2024c). Emisi gas rumah kaca (CO₂ dan CH₄) pada kawasan mangrove Desa Poka, Kota Ambon. *Journal of Environmental Sustainability Management*, 8(2), 38-52. <http://dx.doi.org/10.36813/jplb.8.1.38-52>
- Salamena, G. G., Whinney, J. C., Heron, S. F., & Ridd, P. V. (2022). Frontogenesis and estuarine circulation at the shallow sill of a tropical fjord: Insights from Ambon Bay, eastern Indonesia. *Regional Studies in Marine Science*, 56, 102696. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102696>
- Salamena, G. G., Heron, S. F., Ridd, P. V., & Whinney, J. C. (2023). A risk assessment of marine plastics in coastal waters of a small island: Lessons from Ambon Island, eastern Indonesia. *Regional Studies in Marine Science*, 65, 103086. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103086>
- Sidik, F., Lawrence, A., Wagey, T., Zamzani, F., & Lovelock, C. E. (2023). Blue carbon: A new paradigm of mangrove conservation and management in Indonesia. *Marine Policy*, 147, 105388. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105388>