

Fluks Gas Rumah Kaca CO₂, CH₄ dan N₂O pada Lahan Ekosistem Mangrove di Sungai Tallo, Makassar (Fluxes of greenhouse gases CO₂, CH₄ and N₂O from mangrove soil in Tallo River, Makassar)

Rahman^{1*}, Fredinan Yulianda², Hefni Effendi^{2,4}, Iman Rusmana³, Yusli Wardiatno^{2,4}

¹Program Doktor Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Sekolah Pasca Sarjana, IPB

²Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB

³Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB

⁴Pusat Penelitian Lingkungan Hidup IPB

Article history

Received: 24 Juli 2018

Revised: 8 September 2018

Accepted: 4 November 2018

Published: 21 November 2018

*Corresponding Author:

Rahman,

Program Doktor

Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor, Indonesia

Email:

rahmanrajaali@gmail.com

Abstract : Studies on the fluxes of greenhouse gases in mangrove ecosystems especially during tides are relatively scarce. The research was conducted in Tallo River Makassar which is a mangrove ecosystem habitat. Gas sampling was done by utilising size 0,5x0,5x1 m³ chamber through a syringe during the tidal periods. Gas analysis was done using gas chromatography methods. The research shows that the flux of CO₂ gas during high tide was 204,84 mg m⁻² hr⁻¹ or 1,79 kg m⁻² year⁻¹ and 183,81 mg m⁻² hr⁻¹ or 1,61 kg m⁻² year⁻¹ during low tide, while the flux of CH₄ gas was 0,75 mg m⁻² hr⁻¹ or 0,007 kg m⁻² year⁻¹ during high tide and 0,62 mg m⁻² hr⁻¹ or 0,005 kg m⁻² year⁻¹ during low tide, and the flux of N₂O gas was 0,141 mg m⁻² hr⁻¹ or 0,0012 kg m⁻² year⁻¹ during high tide and 0,145 mg m⁻² hr⁻¹ or 0,0013 kg m⁻² year⁻¹ during low tide.

Keywords : fluxes of greenhouse gases, mangrove ecosystem, Tallo River

Abstrak : Penelitian tentang fluks gas rumah kaca masih sedikit yang dilakukan di lahan ekosistem mangrove terutama pada saat pasang surut. Penelitian dilakukan di Sungai Tallo kota Makassar yang merupakan salah satu habitat ekosistem mangrove. Pengambilan gas dilakukan menggunakan sungkup berukuran 0,5x 0,5x1 m³ melalui syringe selama periode pasang surut. Analisis gas dilakukan dengan metode kromatografi gas. Penelitian menunjukkan bahwa fluks gas CO₂ saat pasang sebesar 204,84 mg/m²/jam atau 1,79 kg/m²/thn dan 183,81 mg/m²/jam atau 1,61 kg/m²/thn saat surut, fluks gas CH₄ sebesar 0,75 mg/m²/jam atau 0,007 kg/m²/thn saat pasang dan 0,62 mg/m²/jam atau 0,005 kg/m²/thn saat surut, fluks gas N₂O sebesar 0,141 mg/m²/jam atau 0,0012 kg/m²/thn saat pasang dan 0,145 mg/m²/jam atau kg/m²/thn saat surut.

Kata kunci : Fluks gas rumah kaca, ekosistem mangrove, sungai Tallo

Pendahuluan

Adanya berbagai aktivitas manusia, khususnya sejak era pra-industri emisi gas rumah kaca ke atmosfer mengalami peningkatan yang sangat tinggi sehingga meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Hal ini menyebabkan timbulnya masalah pemanasan global dan perubahan iklim (KLH 2012). Pemanasan global merupakan salah satu fenomena alam yang perlu diwaspadai dan harus mendapatkan perhatian serius, bukan hanya di Indonesia, tetapi berkembang menjadi isu global (Riani 2012). Pemanasan global atau biasa dikenal dengan istilah

perubahan iklim (*climate change*) dapat berdampak pada aspek perikanan (Badeck *et al.* 2010). Beberapa perubahan yang muncul sebagai dampak dari *climate change* misalnya kenaikan suhu perairan, meningkatnya pengendapan, pH, salinitas, oksigen, kecepatan angin, gelombang dan kenaikan muka laut yang secara signifikan berpengaruh terhadap kondisi ekologi atau penurunan jasa layanan ekosistem di laut maupun di perairan tawar (Brander 2010; Cheung *et al.* 2009; Drinkwater *et al.* 2009; Jones 2013; Wang *et al.* 2016), dan berdampak pada penurunan produksi

perikanan dan mata pencaharian masyarakat (Asch *et al.* 2017; Belhabib *et al.* 2016; Coulthard 2008; Ohwayo *et al.* 2016; Rosegrant *et al.* 2016; Shaffril *et al.* 2017a; Valmonte-Santos *et al.* 2016) serta dapat mempengaruhi keamanan pangan (*food security*) berdasarkan tingkat kerentanan (*vulnerability*) terhadap perubahan iklim (Ding *et al.* 2017), sehingga harus dilakukan proses adaptasi secara sosial dan kebijakan baik secara spasial maupun temporal (de Salamanca *et al.* 2017; Shaffril *et al.* 2017b; Singh *et al.* 2017).

Kontributor terbesar pemanasan global saat ini adalah karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄) yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, kendaraan bermotor dan mesin industri yang menyebabkan gas karbon terakumulasi (IPCC 200; Lang *et al.* 2011; Oertel *et al.* 2016). Menurut Adi *et al.* (2009) ada tiga gas rumah kaca utama yang teridentifikasi di atmosfer yaitu CO₂, CH₄, dan N₂O. Gas N₂O memberikan pengaruh yang besar terhadap gas rumah kaca. Saat ini menurut IPCC (2007), persentase peningkatan emisi gas rumah kaca antara tahun 1970 hingga 2004 telah mencapai 70%.

Ekosistem mangrove merupakan ekosistem yang bersifat khas karena adanya pelumpuran yang mengakibatkan salinitas substrat menjadi tinggi, serta mengalami penggenangan oleh pasang surut air laut. Ekosistem mangrove memiliki kandungan bahan organik tinggi yang berasal dari daun, bunga, cabang, ranting, dan sejumlah bagian pohon lain yang biasa disebut serasah. Selain serasah dari mangrove, input bahan organik dari luar juga menjadi bahan yang akan diolah oleh berbagai organisme dekomposer. Dekomposisi serasah dan bahan organik serta berbagai reaksi lainnya seperti metagenik, nitrifikasi, dan denitrifikasi yang terjadi di substrat mangrove menghasilkan gas-gas utama

dalam peningkatan emisi gas rumah kaca dalam hal ini adalah CO₂, CH₄, dan N₂O (Chen *et al.* 2012; Hincapie *et al.* 2002; Konnerup *et al.* 2014; Nobrega *et al.* 2016).

Salah satu kawasan yang merupakan habitat ekosistem mangrove adalah sungai Tallo. Sungai Tallo merupakan sungai yang membelah kota Makassar, bermuara di dua kabupaten/kota antara Kota Makassar dan Kabupaten Gowa, dan bermuara di Selat Makassar dengan panjang 10 km yang sepanjang bantarnya ditumbuhi oleh vegetasi mangrove (Beddu 2011).

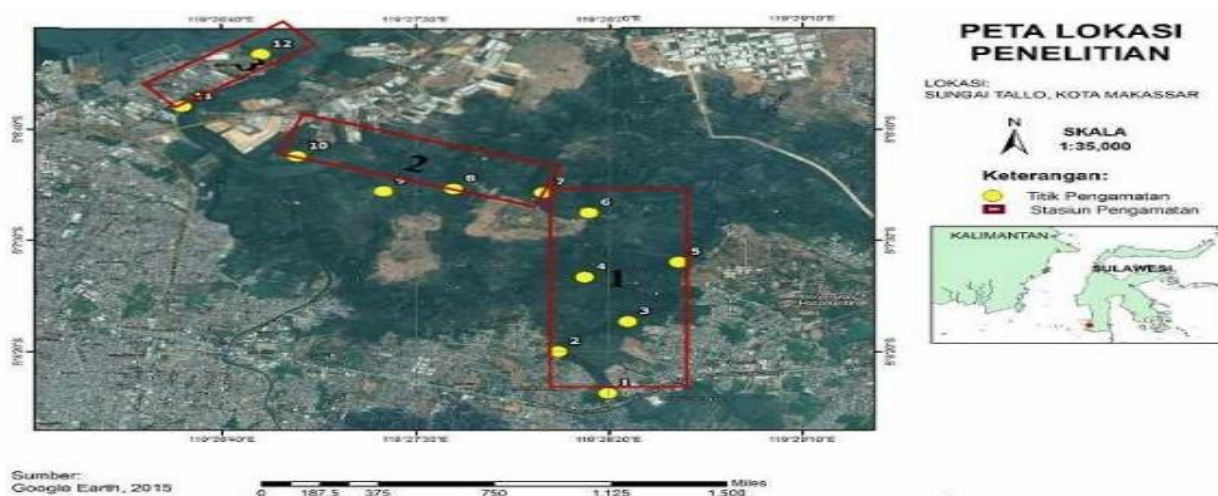
Penelitian tentang gas rumah kaca masih sangat minim yang dilakukan pada lahan ekosistem mangrove yang kehidupannya dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Berdasarkan uraian-uraian di atas maka dirasa perlu untuk melakukan penelitian tentang fluks gas rumah kaca yang terjadi pada kawasan ekosistem mangrove, khususnya yang terdapat di sungai Tallo kota Makassar.

Bahan dan Metode

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada September-Desember 2015 di kawasan ekosistem mangrove sungai Tallo kota Makassar. Lokasi penelitian terletak pada koordinat 5° 07' 3,05" LS dan 119° 25' 19,86" BT dan dibagi 3 stasiun serta 12 titik pengamatan (Gambar 1).

1. Stasiun I (satu) : jembatan sungai Tallo - pulau Lakkang (titik pengamatan 1-6)
2. Stasiun II (dua) : pulau Lakkang - jembatan tol (titik pengamatan 7-10)
3. Stasiun III (tiga) : jembatan tol - muara sungai Tallo (titik pengamatan 11-12).



Gambar 1. Lokasi penelitian dan titik pengamatan (Sumber: Google Earth 2015)

Pengukuran Kerapatan Mangrove

Pengukuran kerapatan mangrove dilakukan dengan meletakkan plot berukuran 10 x 10 m² sebanyak 60 plot di 3 stasiun pengamatan. Sebanyak 5 plot diletakkan searah lajur sungai pada masing-masing sisi sungai di 12 titik pengamatan. Selanjutnya dilakukan pendataan terhadap jumlah dan jenis spesies mangrove yang ditemukan.

Pengukuran Parameter Suhu dan Salinitas

Pengukuran suhu dan salinitas di tiga stasiun pengamatan terutama pada tiap sungkup dilakukan dengan menggunakan termometer batang, dan *handrefractometer*. Pengukuran suhu dan salinitas dilakukan selama frekuensi pasang surut hingga 6 kali dengan ulangan masing-masing 3 kali.

Pengambilan Sampel Gas

Pengambilan sampel gas dilakukan dengan cara menutup petak contoh (substrat) di lahan ekosistem mangrove dengan sungkup berukuran 0,5x0,5x1m³ (Ye *et al.* 2000). Sungkup diletakkan pada masing-masing stasiun mangrove secara acak (*purposive sampling*) dengan jumlah 24 sungkup. Sampel gas diambil dari dalam sungkup menggunakan *syringe*. Pengambilan gas dilakukan selama frekuensi pasang surut dengan 2 kali pengulangan pada tiap sungkupnya dengan total 144 sampel. Selanjutnya sampel gas disimpan dalam botol kaca vakum.

Analisis Data

Analisis Kerapatan Mangrove

Kerapatan mangrove dihitung dengan rumus:

Tabel 1. Spesies dan kerapatan mangrove yang ditemukan di sungai Tallo, kota Makassar

Stasiun	<i>Nypa fruticans</i>		<i>Rhizophora mucronata</i>		<i>Avicennia alba</i>		Σ (ΣNi)
	ΣNi (ind)	Ki (ind/ha)	ΣNi (ind)	Ki (ind/ha)	ΣNi (ind)	Ki (ind/ha)	
I	16537	6300	15	15	3	3	16555
II	1898	1100	4072	2400	3	3	5970
III	0	0	4405	2300	2415	2415	6810
Total	18435	4256	8492	2352	2421	2421	29335

Keterangan: ΣNi = jumlah individu spesies ke-i, Σ (ΣNi) = jumlah total spesies, Ki = kerapatan spesies.

Suhu dan Salinitas

Hasil pengukuran terhadap suhu menunjukkan bahwa suhu rata-rata di lokasi penempatan sungkup saat pasang yaitu 27,5 °C di stasiun 1, 28 °C di stasiun 2, dan 29,5 °C di stasiun

$$\text{Kerapatan (ind/ha)} = \frac{JIM \text{ (Ind)}}{LA \text{ (ha)}} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :
 JIM = Jumlah Individu Mangrove (Ind)
 LA = Luas Area (ha)

Analisis Fluks Gas

Sebelum dilakukan analisis fluks, terlebih dahulu dianalisis konsentrasi gas CH₄, CO₂, dan N₂O dengan metode kromatografi gas (Chen *et al.* 2010). Fluks gas rumah kaca akan dihitung dengan persamaan (IAEA 1992) sebagai berikut:

$$F = \frac{dc}{dt} \times \frac{Vch}{Ach} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273,2}{273,2+T} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :
 F = Fluks gas (mg/m²/jam),
 dc/dt = Perbedaan konsentrasi gas persatuan waktu (ppm/jam),
 Vch = Volume sungkup (m³),
 Ach = luas sungkup (m²),
 mW = berat molekul gas (g/mol),
 mV = tetapan volume molekul gas (22,4 L),
 T = suhu rata-rata selama pengambilan gas (°C),
 273,2 = tetapan suhu Kelvin.

Hasil dan Pembahasan

Kondisi Ekosistem Mangrove

Berdasarkan hasil pengamatan ditemukan bahwa sepanjang bantaran sungai Tallo ditumbuhi oleh ekosistem mangrove yang didominasi spesies *Nypa fruticans* di stasiun 1, *Rhizophora mucronata* di stasiun 2, dan *Avicennia alba* di stasiun 3 (Tabel 1).

3. Suhu rata-rata saat surut yaitu 28,9 °C di stasiun 1, 29,5 °C di stasiun 2, dan 31 °C di stasiun 3. Adapun hasil pengukuran salinitas saat pasang yaitu 20 psu di stasiun 1, 25,5 psu di stasiun 2, dan 32 psu di stasiun 3. Salinitas pada saat surut di

masing-masing stasiun berturut-turut yaitu 19,6 psu, 25 psu, dan 31 psu (Tabel 2).

Tabel 2. Rata-rata suhu dan salinitas di sungai Tallo kota Makassar

Stasiun	Suhu ($^{\circ}$ C)	Salinitas (psu)
I	Pasang	27,5
	Surut	28,9
II	Pasang	28
	Surut	29,5
III	Pasang	29,5
	Surut	31

Fluks Gas CO₂

Gas CO₂ merupakan gas rumah kaca yang mengalami peningkatan cukup tinggi di atmosfer dan berperan dalam peningkatan suhu udara sehingga menyebabkan pemanasan global. Gambar 2. menunjukkan fluks rata-rata gas CO₂ berdasarkan pasang surut. Pada ketiga stasiun pengamatan terlihat bahwa laju fluks gas saat pasang lebih tinggi dibandingkan dengan fluks gas disaat surut. Fluks gas CO₂ saat pasang pada ketiga stasiun masing-masing sebesar 208,85 mg/m²/jam pada stasiun 1, 200,22 mg/m²/jam pada stasiun 2, dan 205,46 mg/m²/jam pada stasiun 3. Fluks gas CO₂ saat surut pada ketiga stasiun yaitu sebesar 198,26 mg/m²/jam pada stasiun 1, 176,17 mg/m²/jam pada stasiun 2, dan 177,00 mg/m²/jam pada stasiun 3. Fluks gas saat pasang lebih tinggi dibandingkan saat surut karena pada saat pasang konsentrasi oksigen di dasar substrat berkurang akibat terhambatnya difusi dari atmosfer, sebaliknya konsentrasi CO₂ menjadi meningkat. Fluks gas CO₂ pada stasiun 1 lebih tinggi dibandingkan stasiun 2 dan 3 meskipun suhunya rendah. Hal inikarena salinitas di stasiun 1 relatif lebih rendah (payau) dibandingkan dengan stasiun 2 dan 3. Salinitas yang rendah menyebabkan tekanan osmotik menurun, akibatnya aktifitas organisme dalam proses dekomposisi atau degradasi serasah menjadi meningkat dan memicu laju produksi gas CO₂. Hal ini didukung oleh Yunasfi (2006) yang menemukan bahwa dekomposisi serasah dan laju degradasi daun mangrove terjadi lebih aktif pada salinitas 10-20 ppt dibandingkan dengan salinitas di atas 30 ppt. Lebih lanjut Afdal *et al.* (2012) menyatakan bahwa salinitas yang tinggi meningkatkan tekanan osmotik dan tekanan parsial

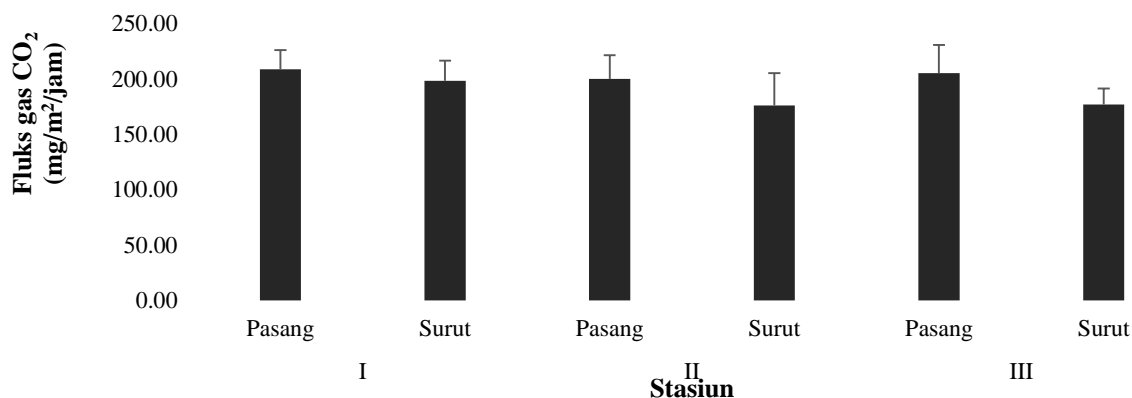
yang menyebabkan terjadinya penurunan fluks CO₂ dari laut ke atmosfer.

Tingginya fluks CO₂ pada suatu ekosistem disebabkan oleh perbedaan vegetasi, laju produksi serasah dan jumlah individu mangrove yang tumbuh di area tersebut. Semakin tinggi kerapatan mangrove, maka semakin tinggi pula produksi serasah yang dihasilkan, begitu juga sebaliknya semakin rendah kerapatan mangrove, maka semakin rendah pula produksi serasahnya (Zamroni & Rohyani 2008). Lebih lanjut Zamroni dan Rohyani (2008) mengatakan bahwa laju produksi serasah spesies *Rhizophora mucronata* yaitu 61,67 mg/m²/jam atau 1,48 g/m²/hari, dan laju produksi serasah spesies *Avicennia* yaitu 20 mg/m²/jam atau 0,48 g/m²/hari.

Pada stasiun 1 spesies mangrove yang tumbuh didominasi *Nypa fruticans* dengan jumlah total 16543 individu dan lebih tinggi dibandingkan stasiun 2 dan 3 yang dengan total individu masing-masing 5970 yang didominasi *Rhizophora mucronata* di stasiun 2 dan 6810 individu yang didomiansi *Avicennia alba* di stasiun 3. Hal ini menyebabkan fluks gas CO₂ di stasiun 1 menjadi lebih besar dibandingkan dengan fluks gas di stasiun 2 dan 3.

Meskipun salinitas di stasiun 2 lebih rendah, dan laju produksi serasah serta total individu mangrovenya lebih tinggi dibandingkan stasiun 3, namun suhu dan input bahan organik atau DIC (*Dissolved Inorganic Carbon*) pada stasiun 3 lebih tinggi disebabkan adanya input bahan organik dari luar khususnya aktifitas industri yang ada di kawasan tersebut, sehingga fluks gas CO₂ juga lebih tinggi. Hal ini didukung oleh Afdal *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa fluks CO₂ yang tinggi terjadi pada daerah tropis terutama pada salinitas rendah (payau) dan suhuyang tinggi serta pada daerah dengan tingkat pasokan karbon organik yang tinggi.

Rata-rata fluks gas CO₂ pada saat pasang yaitu 204,84 mg/m²/jam atau 1,79 kg/m²/thn, dan pada saat surut sebesar 183,81 mg/m²/jam atau 1,61 kg/m²/thn. Total fluks gas CO₂ dari ekosistem mangrove di Sungai Tallo kota Makassar adalah 388,65 mg/m²/jam atau 3,40 kg/m²/thn. Fluks tersebut lebih kecil dibandingkan dengan temuan Chen *et al.* (2010) di ekosistem mangrove China Selatan dengan nilai fluks antara 30,36 mg/m²/jam hingga 904,64 mg/m²/jam dengan rata-rata 467,5 mg/m²/jam. Kemungkinan terjadinya perbedaan tersebut adalah karena perbedaan habitat ekosistem mangrove antara daerah tropik dengan daerah temperate.



Gambar 2. Fluks gas CO₂ pada ekosistem mangrove Sungai Tallo, Makassar

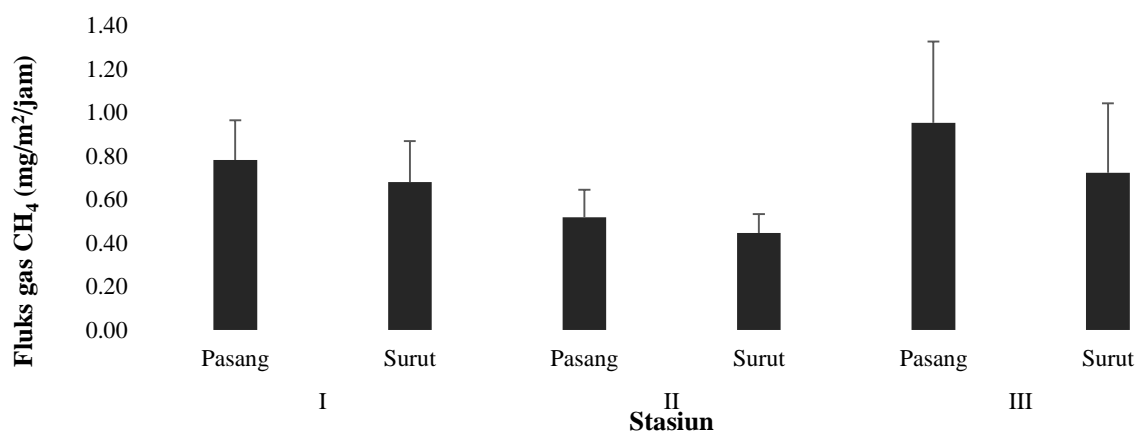
Fluks Gas CH₄

Fluks gas CH₄ pada stasiun 3 yakni 0,95 mg/m²/jam saat pasang dan 0,72 mg/m²/jam saat surut. Fluks tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan fluks pada stasiun 1 dan 2 yakni 0,78 mg/m²/jam dan 0,52 mg/m²/jam saat pasang serta 0,68 mg/m²/jam dan 0,45 mg/m²/jam saat surut (Gambar 3). Hal ini dapat terjadi karena input bahan organik di stasiun 3 lebih besar dibandingkan stasiun 1 dan 2, sedangkan input bahan organik di stasiun 1 lebih besar dari stasiun 2. Fluks gas CH₄ saat pasang lebih tinggi dibandingkan dengan saat surut karena pada saat pasang konsentrasi oksigen rendah sehingga reaksi yang terjadi di dasar sedimen berlangsung secara anaerob, akibatnya produksi gas CH₄ oleh bakteri metanogenik menjadi meningkat. Selain itu, tingginya fluks gas CH₄ di stasiun 3 juga disebabkan oleh suhu substrat yang terdapat dalam sungkup. Suhu yang tinggi menyebabkan metabolisme mikro organisme pada substrat menjadi meningkat sehingga laju fluks CH₄ juga mengalami kenaikan.

Selain faktor input bahan organik dan suhu, fluks gas CH₄ juga dipengaruhi oleh salinitas.

Hal ini sejalan dengan pernyataan Arnold *et al.* (2005), Kone dan Borges (2008), Dutta *et al.* (2013), Chauhan *et al.* (2015) yang menemukan bahwa pada ekosistem mangrove, salinitas yang tinggi mampu meningkatkan laju fluks gas CH₄.

Rata-rata fluks gas CH₄ saat pasang adalah 0,75 mg/m²/jam atau 0,007 kg/m²/thn, dan rata-rata fluks gas CH₄ saat surut adalah 0,62 mg/m²/jam atau 0,005 kg/m²/thn. Total fluks gas CH₄ adalah 1,37 mg/m²/jam atau 0,012 kg/m²/thn. Nilai fluks tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan temuan Chen *et al.* (2010) di mangrove China Selatan dengan nilai fluks CH₄ antara 0,19 mg/m²/jam hingga 82,69 mg/m²/jam dengan rata-rata 41,44 mg/m²/jam, Chauhan *et al.* (2015) di mangrove tropical India dengan nilai fluks CH₄ antara 0,08 mg/m²/jam hingga 2,3 mg/m²/jam dengan rata-rata 1,19 mg/m²/jam, Konnerup *et al.* (2014) di ekosistem mangrove Colombia dengan nilai fluks rata-rata mencapai 31,57 mg/m²/jam. Hal ini disebabkan karena perbedaan habitat ekosistem mangrove antara daerah tropik, khususnya mangrove di sungai Tallo dan mangrove di daerah temperate seperti yang telah dipaparkan sebelumnya.



Gambar 3. Fluks gas CH₄ pada ekosistem mangrove Sungai Tallo, Makassar

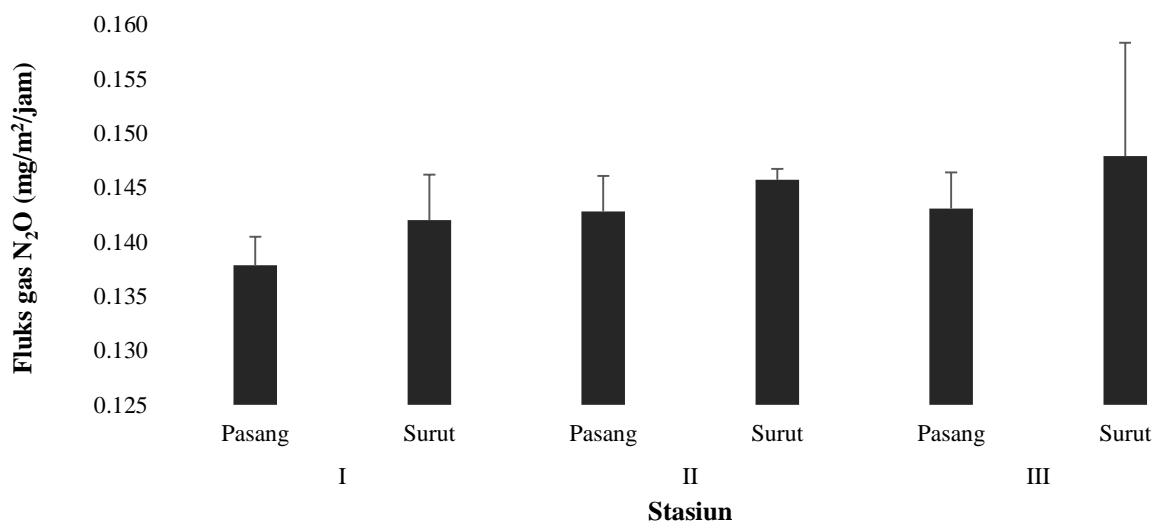
Fluks Gas N₂O

Fluks gas N₂O saat surut sebesar 0,142 mg/m²/jam di stasiun 1, 0,146 mg/m²/jam di stasiun 2, dan 0,148 mg/m²/jam di stasiun 3. Fluks tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan fluks gas saat pasang yakni 0,138 mg/m²/jam di stasiun 1, 0,143 mg/m²/jam di stasiun 2 dan 3 (Gambar 4). Rata-rata fluks saat pasang yaitu 0,141 mg/m²/jam atau 0,0012 kg/m²/thn, dan rata-rata fluks saat surut yaitu 0,145 mg/m²/jam atau 0,0013 kg/m²/thn. Total fluks gas N₂O adalah 0,286 mg/m²/jam atau 0,0025 kg/m²/thn. Fluks N₂O tersebut lebih besar dibandingkan dengan fluks pada mangrove India (Chauhan *et al.* 2015) dengan nilai fluks yakni 0,1876 mg/m²/jam, dan lebih kecil jika dibandingkan dengan fluks pada mangrove di China Selatan (Chen *et al.* 2010) dan mangrove di Colombia (Konnerup *et al.* 2014) dengan rata-rata fluks masing-masing sebesar 0,5274 mg/m²/jam dan 1,1675 mg/m²/jam.

Perbedaan fluks gas N₂O saat pasang dan surut dapat terjadi karena saat surut konsentrasi oksigen yang berasal dari difusi atmosfer ataupun dari sedimen itu sendiri lebih besar

dibandingkan saat pasang, sehingga aktivitas mikroba dalam proses dekomposisi serasah dan reaksi nitrifikasi maupun denitrifikasi sebagai proses pembentuk gas N₂O juga lebih besar.

Pada perairan estuari, pembentukan N₂O melalui proses reaksi nitrifikasi dan denitrifikasi bahkan mencapai hingga 100% yang diproduksi oleh bakteri *Shewanella putrefaciens* melalui reduksi senyawa nitrat (Rusmana 2006). Chauhan *et al.* (2015) menyatakan bahwa pada variasi pasang surut yang terjadi di ekosistem mangrove memberikan pengaruh terhadap emisi gas N₂O. Selain itu, menurut Pathak (1999), Zheng *et al.* (2000), Dalal *et al.* (2003), Zhang *et al.* (2013) dan Huang *et al.* (2014) menyatakan bahwa emisi N₂O juga dipengaruhi oleh kandungan air dalam tanah, suhu tanah, kandungan oksigen, ketersediaan amonium (NH₄⁺) dan nitrat (NO₃⁻). Lebih lanjut Huang *et al.* (2014) mengatakan bahwa seluruh komponen tersebut berperan sangat signifikan dengan tingkat korelasi (R) mencapai 0,764. Semua komponen-komponen tersebut berperan dalam terjadinya proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang merupakan reaksi utama pembentukan gas N₂O.



Gambar 4. Fluks gas N₂O pada ekosistem mangrove Sungai Tallo, Makassar

Kesimpulan

Fluks gas rumah kaca pada ekosistem mangrove di sungai Tallo kota Makassar yakni CO₂ sebesar 388,65 mg/m²/jam atau 3,40 kg/m²/thn, fluks

gas CH₄ sebesar 1,37 mg/m²/jam atau 0,012 kg/m²/thn, dan fluks gas N₂O sebesar 0,286 mg/m²/jam atau 0,0025 kg/m²/thn.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah membiayai penelitian ini sehingga dapat berjalan dengan baik dan lancar.

Daftar Pustaka

- Adi S, Salim F, Suryati T, Handayani T, Hartini, Sudiana N. 2009. Emisi karbon lahan basah, pertanian dan kehutanan di Indonesia. *J Teknik Lingkungan*, [Edisi Khusus]: 1-12.
- Afdal, Richardus F, Kaswadji, Alan FK. 2012. Pertukaran gas CO₂ udara-laut di perairan selat nasik, Belitung. *J Segara*. 8(1): 9-17.
- Arnold KV, Weslien P, Nillson M, Svensson BH, Klemedtsson L. 2005. Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from drained coniferous forests on organic soils. *Forest Ecology and Management*. 210: 239–254
- Asch RG, Cheung WWL, Reygondeau G. 2017. Future marine ecosystem drivers, biodiversity, and fisheries maximum catchpotential in Pacific Island countries and territories under climate change. *Marine Policy*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2017.08.015>.
- Badjeck MC, Allison EH, Halls AS, Dulvy NK. 2010. Impacts of climate variability and change on fishery-based livelihoods. *Marine Policy*. 34: 375-383.
- Beddu S. 2011. Bantaran sungai sebagai konservasi lansekap alami (studi kasus: bantaran sungai Tallo Makassar). *Jurnal Teknik Lingkungan*, (5): 1-7.
- Belhabib D, Lam VWY, Cheung WWL. 2016. Overview of West African fisheries under climate change: impacts, vulnerability and adaptif responses of the artisanal and industrial sectors. *Marine Policy*. 71: 15-18
- Brander K. 2010. Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems*. 79: 389-402.
- 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. 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, 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, Pauly D. 2009. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenario. *Fish and Fisheries*. DOI 10.1111/j.1467-2979.2008.00315.x.
- Coulthard S. 2008. Adapting to environmental change in artisanal fisheries-insight from a South Indian Lagoon. *Global Environmental Change*. 18(3): 479-489.
- Dalal RC, Wang WJ, Robertson G, Philip, Parton WJ. 2003. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: A review. *Aust. J Soil Res*. 4: 165–195.
- De Salamanca ÁE, Díaz-Sierra R, Martín-Aranda RM, Santos MJ. 2017. Environmental impacts of climate change adaptation. *Environmental Impact Assessment Review*. 64: 87-96.
- Ding Q, Chen X, Hilborn R, Chen Y. 2017. Vulnerability to impacts of climate change on marine fisheries and food security. *Marine Policy*. 83: 55-61.
- Drinkwater KF, Beaugrand G, Kaeriyama M, Kid S, Ottersen G, Perry RI, Pörtner HO, Polovina JJ, Takasuka A. 2010. On the processes linking climate to ecosystem changes. *Journal of Marine Systems*. 79(3): 374-388.
- Dutta MK, Chowdhury C, Jana TK, Mukhopadhyay SK. 2013. Dynamics and exchange fluxes of methane in the estuarine mangrove environment of the Sundarbans, NE coast of

- India. *Atmospheric Environment*. 77: 631-639.
- Hincapie MM, Morell JM, Corredor JE. Increase of nitrous oxide flux to the atmosphere upon nitrogen addition to red mangroves sediments. *Marine Pollution Bulletin*. 44: 992-996
- 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. *J of Integrative Agriculture*. 13(6): 1363-1372.
- [IAEA] International Atomic Energy Agency. 1992. *Manual on Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emission from Agricultural*. IAEA, Vienna. p 57.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. *Climate Change 2001 : The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge. 881 p.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. 578 p.
- Jones PD. Green house effect and climate data. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. 1-17 pp. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.05365-3>
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional* [Buku I Pedoman Umum]. KLH, Jakarta. 79 p.
- Kone YJM, Borges AV. 2008. Dissolved inorganic carbon dynamics in the waters surrounding forested mangroves of the Ca Mau Province (Vietnam). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 77: 409-421.
- 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.
- Lang M, Cai ZC, Chang SX. 2011. Effects of land use type and incubation temperature on greenhouse gas emissions from Chinese and Canadian Soils. *Journal of Soils Sediments*. 11: 15-24.
- Nobrega GN, Ferreira TO, Neto MS, Queiroz HM, Artur AG, Mendonca EDS, Silva EDO, Otero XL. 2016. Edaphic factors controlling summer (rainy season) greenhouse gas emissions (CO₂ and CH₄) from semiarid mangrove soils (NE-Brazil). *Science of the Total Environment*. 542: 685-693.
- Ohwayo RO, Natugonza V, Musunguzi L, Olokotum M, Naigaga S. 2016. Implications of climate variability and change for African lake ecosystems, fisheries productivity, and livelihoods. *Journal of Great Lakes Research*. 42(3): 498-510.
- Pathak H. 1999. Emission of nitrous oxide from soil. Article Reviews, *Current Science*. 77(3): 359-360.
- Riani E. 2012. *Perubahan Iklim dan Kehidupan Biota Akuatik*. Bogor (ID): IPB Pr. pp 10-12.
- Rosegrant MW, Dey MM, Valmonte-Santos R, Chen OL. 2016. Economic impacts of climate change and climate change adaptation strategies in Vanuatu and Timor Leste. *Marine Policy*. 67: 179-188.
- Rusmana I. 2006. Gaseous end products of nitrate and nitrite reduction by denitrifying pseudomonads isolated from estuarine sediment. *J Microbiol Indones*, 11(2): 279-291.
- Shaffril HAM, Samah AA, D'Silva JL. 2017a. Adapting towards climate change impacts: Strategies for small-scale fishermen in Malaysia. *Marine Policy*. 81: 196-201.
- Shaffril HAM, Samah AA, D'Silva JL. 2017b. Climate change: social adaptation strategies for fisherman. *Marine Policy*. 81: 256-261.
- Singh AS, Zwickle A, Bruskotter JT, Wilson R. 2017. The perceived psychological distance of climate change impacts and its influence on support for adaptation policy. *Environmental Science and Policy*. 73: 93-99.
- Valmonte-Santos R, Rosegrant MW, Dey MM. 2016. Fisheries sector under climate change in the coral triangle countries of Pacific Islands: Current status and policy issues. *Marine Policy*. 67: 148-155.

- 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.
- Ye Y, Lu C, Yin P, Tan F, Wong Y. 2000. Diurnal charge of CH₄ fluxes from estuarine mangrove wetland. *Acta oceanol Sin*. 22: 103-109.
- Yunasfi. 2006. Dekomposisi serasah daun mangrove *Avicennia marina* pada berbagai tingkat salinitas [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor. 243 p.
- Zamroni Y, Rohyani IS. 2008. Produksi serasah hutan mangrove di perairan pantai teluk Sepi, Lombok Barat. *Biodiversitas*. 9 (4): 284-287.
- Zhang L, Song L, Zhang L, Shao H, Chen X, Yan K. 2013. Seasonal dynamics in nitrous oxide emissions under different types of vegetation in saline-alkaline soils of the Yellow River Delta, China and implications for eco-restoring coastal wetland. *Ecological Engineering*. 61: 82–89.
- 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-Glob. Change Sci*. 2: 207–224.