

PENGARUH PENGELOLAAN AIR TERHADAP FLUKS METANA DAN SIFAT KIMIA TANAH SULFAT MASAM

(Effect of Water Management on Methane Flux and Chemical Properties of Acid Sulfate Soil)

Nukhak Nufita Sari^{1*}, Nurlaila¹, Muhammad Fauzan Azhari², Jumar¹

¹Jurusan Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

²Mahasiswa Jurusan Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

*Corresponding email: nukhak.sari@ulm.ac.id

Doi: 10.20956/ecosolum.v10i2.18293

ABSTRACT

One of the main factors that play an essential role in controlling CH₄ flux in wetlands is water management through the formation of aerobic and anaerobic soil conditions. Rice plants act as an intermediary medium for the CH₄ flux release from the soil to the atmosphere through aerenchyma and trigger CH₄ production. Therefore, this study had designed to study the effect of inundation and rice planting on CH₄ emissions and the chemical properties of acid sulfate soil. The study had arranged by a randomized block design with two factors, i.e., inundation (not flooded/ponding water layer of 0.5 cm and flooded/ponding water layer of 5 cm) and rice planting (not planted and planted with rice). The CH₄ flux in the flooded treatment was greater than that of the not flooded. Consumption of CH₄ occurs in a not flooded condition which had indicated by a negative flux value. Rice cultivation triggered a large CH₄ flux. Soil pH and soluble Fe were higher in flooded conditions, while soil Eh had lower.

Keywords: emission, tidal land, paddy field, soil, inundation

PENDAHULUAN

Gas metana (CH₄) berkontribusi sekitar 15% dan memiliki potensi 25 kali lebih besar daripada gas CO₂ dalam menyebabkan efek rumah kaca. Hal ini berdampak pada kerusakan lapisan ozon dan kenaikan suhu di bumi (FAO, 2019). Emisi CH₄ di lahan basah merupakan sumber alami terbesar yang menyumbang gas CH₄ global. Emisi yang dikontribusikan sekitar sepertiga dari total emisi alami dan antropogenik (Zhang *et al.*, 2017).

Fluks CH₄ di lahan basah, termasuk tanah sulfat masam, dipengaruhi oleh berbagai macam faktor. Salah satu faktor utama yang memainkan peranan penting dalam mengendalikan fluks CH₄ adalah pengelolaan air, melalui pembentukan kondisi aerobik dan anaerobik tanah (Gruca-Rokosz, 2020). Kondisi tanah anaerobik memicu aktivitas bakteri metanogen dalam menghasilkan CH₄ pada proses metabolismenya. Gas CH₄ yang dihasilkan akan dikonsumsi atau dioksidasi oleh bakteri metanotrof. Namun, jika keberadaan CH₄ berlebih maka gas ini akan keluar dari tanah melalui difusi, gelembung-gelembung, dan juga jaringan tanaman (Komiya *et al.*, 2015; Malyan *et al.*, 2016).

Tanaman padi memiliki peran sebagai media perantara keluarnya fluks CH_4 dari dalam tanah ke atmosfer melalui aerenkhima (Abduh *et al.*, 2020). Tanaman padi juga memicu pembentukan CH_4 , terutama di zona perakaran. Eksudat akar yang dihasilkan mempengaruhi aktivitas dan metabolisme mikroorganisme tanah, termasuk bakteri metanogen (Malyan *et al.*, 2016).

Selain mempengaruhi fluks CH_4 , pengelolaan air juga mempengaruhi sifat kimia tanah, terlebih tanah sulfat masam yang fluktuatif kondisi aerobik dan anaerobiknya (Hairani dan Susilawati, 2013). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dipelajari tentang pengaruh genangan dan tanaman padi terhadap fluks CH_4 dan sifat kimia tanah sulfat masam.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di rumah kaca Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat pada bulan Maret sampai dengan September 2021. Penelitian disusun secara Rancangan Acak Kelompok (RAK) 2 faktor, yaitu penggenangan dan penanaman. Faktor penggenangan meliputi tidak digenangi dan digenangi air, sedangkan faktor penanaman meliputi tidak ditanami dan ditanami padi. Setiap satuan percobaan diulang sebanyak tiga kali ulangan.

Sebanyak 120 kg tanah dengan tipologi lahan pasang surut tipe B diambil pada kedalaman 0-30 cm. Tanah dipisahkan antara lapisan atas (0-15 cm) dan bawah (16-30 cm) untuk mengkondisikan susunan tanah di rumah kaca seperti kondisi di lapangan. Kemudian, ember dengan perlakuan penggenangan digenangi setinggi 5 cm dari permukaan tanah. Sedangkan ember tanpa penggenangan dipertahankan kelembaban tanahnya sesuai kapasitas lapangan. Karakteristik tanah pada penelitian ini bertekstur liat dengan komposisi fraksi pasir 4%, debu 38%, dan klei 58%, pH tanah 3,9, kandungan C-organik 8,2%, N total 0,32%, Fe-larut 135,82 ppm, dan bobot volume 0,86 g/cm³.

Benih padi varietas Ciherang disemai selama 20 hari. Bibit yang tumbuh dengan baik dipilih dan ditanam sebanyak 3 bibit per lubang tanam. Pemupukan sesuai dengan Permentan No. 40/Permentan/OT.140/04/2007 yaitu sebesar 250 kg/ha urea, 75 kg/ha SP-36, dan 50 kg/ha KCl. Pemupukan dibagi menjadi tiga tahapan yaitu pada saat tanaman padi berumur 14, 28, dan 35 hari setelah tanam (HST). Penyiraman dilakukan sesuai dengan perlakuan penggenangan.

Pengambilan sampel gas CH_4 dilakukan pada fase vegetatif maksimum. Pengambilan sampel gas dengan metode *closed chamber* dilakukan dengan memasang *chamber* menutupi

tanaman padi dengan interval waktu 0, 10, dan 20 menit. Sampel gas diambil dengan menggunakan spuit/syringe 10 ml yang dibungkus dengan *aluminium oil* dan disumbat dengan *septum* (Balington, 2007). Sampel gas dianalisa dengan menggunakan *Gas Chromatography*. Perhitungan fluks GRK didasarkan pada Toma *et al.*, (2011) dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$F = \rho \times V/A \times \Delta c/\Delta t \times 273/(273+T) \times \alpha$$

Keterangan:

- F : fluks (mg/m²/jam)
 P : kerapatan gas (0,717 x 106 mg/m³ untuk CH₄; dan 1,978 x 106 mg/m³ untuk N₂O)
 V : Volume chamber (m³)
 A : Luas boks (m²)
 Δc/Δt : perbandingan perubahan konsentrasi gas di dalam chamber per waktu selama pengambilan sampel (m³/m³/jam)
 T : Temperatur rata-rata selama pengambilan sampel (°C)
 α : faktor konversi untuk CH₄ ke C (12/16)

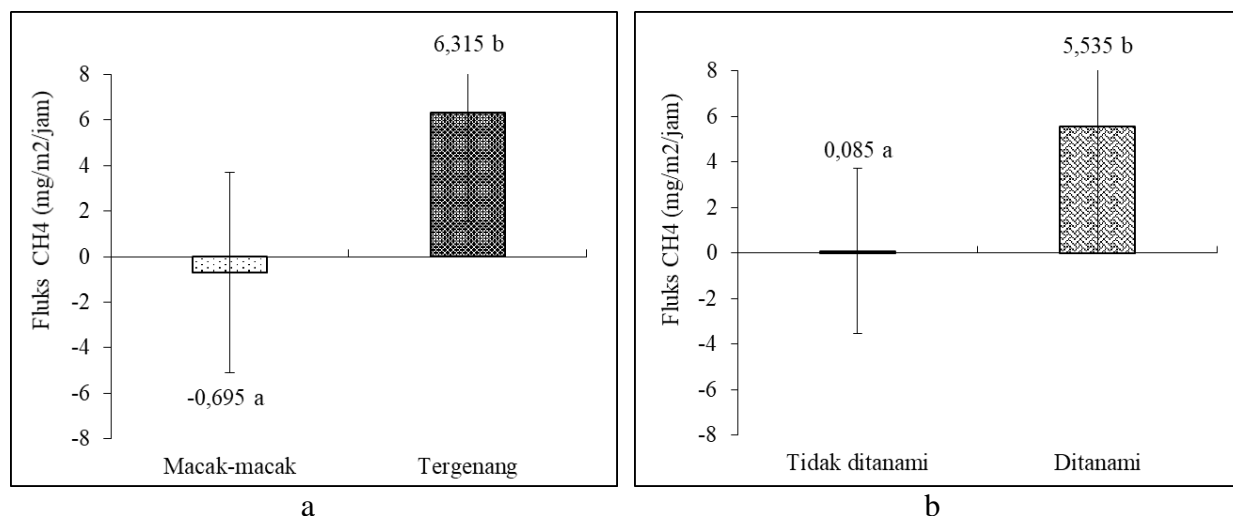
Analisis Data

Uji ANOVA dan uji beda nyata terkecil (BNT) pada taraf kepercayaan 95 % dilakukan dengan *software* Genstat 11th.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fluks CH₄

Fluks CH₄ menunjukkan beda nyata baik pada perlakuan penggenangan maupun penanaman. Penggenangan akan menciptakan suasana reduktif yang dicirikan dengan rendahnya nilai potensial redoks tanah. Pada kondisi tergenang, nilai potensial redoks tanah berkisar antara -100 sampai – 300 mV (Situmorang dan Sudadi, 2001). Pada kisaran nilai redoks tersebut akan memicu aktifitas bakteri metanogen dalam memproduksi CH₄. Produksi CH₄ oleh bakteri metanogen akan terjadi jika nilai Eh tanah pada kisaran < -150 mV (Hue *et al.*, 2000). Metana umumnya diproduksi oleh transmetilasi asam asetat dengan pengurangan karbon dioksida. Pada tanah masam, CH₄ hanya akan terbentuk setelah digenangi selama lima minggu atau lebih (Neue, 1993).



Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada grafik yang sama tidak menunjukkan beda nyata menurut uji BNT pada tingkat kepercayaan 95%. *Error bar* menunjukkan standar deviasi.

Gambar 1. Pengaruh penggenangan (a) dan penanaman (b) terhadap fluks CH₄ di tanah sulfat masam

Fluks negatif CH₄ pada kondisi macak-macak menunjukkan adanya konsumsi CH₄ oleh metanotrof. Pada ekosistem basah, bakteri metanogen dan metatotrof beraktivitas secara simultan. Emisi CH₄ terjadi jika aktivitas metanogen lebih dominan dibandingkan metanotrof. Sedangkan konsumsi metana terjadi jika aktivitas metanotrof lebih mendominasi (Topp dan Pattey, 1997). Metana diproduksi di dalam tanah sebagai hasil akhir dari dekomposisi bahan organik secara anaerobik. Tetapi, jika kondisi berubah menjadi aerobik maka CH₄ akan dimineralisasi menjadi CO₂ oleh bakteri metanotrof. Kondisi macak-macak pada penelitian ini lebih menguntungkan bagi bakteri metanotrof sehingga lebih banyak CH₄ yang dikonsumsi.

Pada perlakuan penanaman, fluks CH₄ lebih tinggi pada saat tanah ditanami padi dibandingkan yang tidak ditanami. Produksi CH₄ umumnya meningkat saat musim tanam, meskipun kepadatan populasi bakteri metanogen cukup stabil (Neue, 1993). Sisa-sisa tanaman dan gulma yang mudah terdekomposisi, serta bahan organik tanah merupakan sumber utama awal produksi CH₄ (Toma *et. al.*, 2019). Adanya tanaman akan memicu produksi CH₄ yang lebih besar, terutama pada area rizosfer. Produksi metana meningkat pada daerah sekitar perakaran (Neue, 1993). Produksi CH₄ berhubungan erat dengan eksudat C akar. Proporsi eksudat C yang diubah menjadi CH₄ berkisar antara 61-83%, tetapi tidak terpengaruh oleh kultivar dan fase pertumbuhan tanaman padi. Hal ini mencerminkan bahwa eksudat C berperan sebagai substrat bakteri metanogen pada tanah sawah (Aulakh *et al.*, 2001).

Selain itu, adanya tanaman padi memberikan fasilitas keluarnya CH_4 dari dalam tanah melalui aerenkhima. Besarnya CH_4 yang keluar melalui aerenkhima sebesar 90%. Perpindahan CH_4 dari tanah ke atmosfer berdasar pada karakteristik tanaman padi itu sendiri. Fluks CH_4 pada aerenkhima tergantung pada koefisien permeabilitas, gradien konsentrasi akar dan struktur internal aerenkhima. Faktor lain seperti jumlah anakan, massa akar, pola perakaran, biomassa total, dan aktivitas metabolik juga mempengaruhi fluks CH_4 (Das dan Baruah, 2008). Varietas padi yang memiliki area perakaran yang luas juga mempengaruhi luasan aerenkhima, yang nantinya berperan sebagai saluran keluarnya gas CH_4 dan mempengaruhi peningkatan emisi CH_4 (Kim *et al.*, 2018).

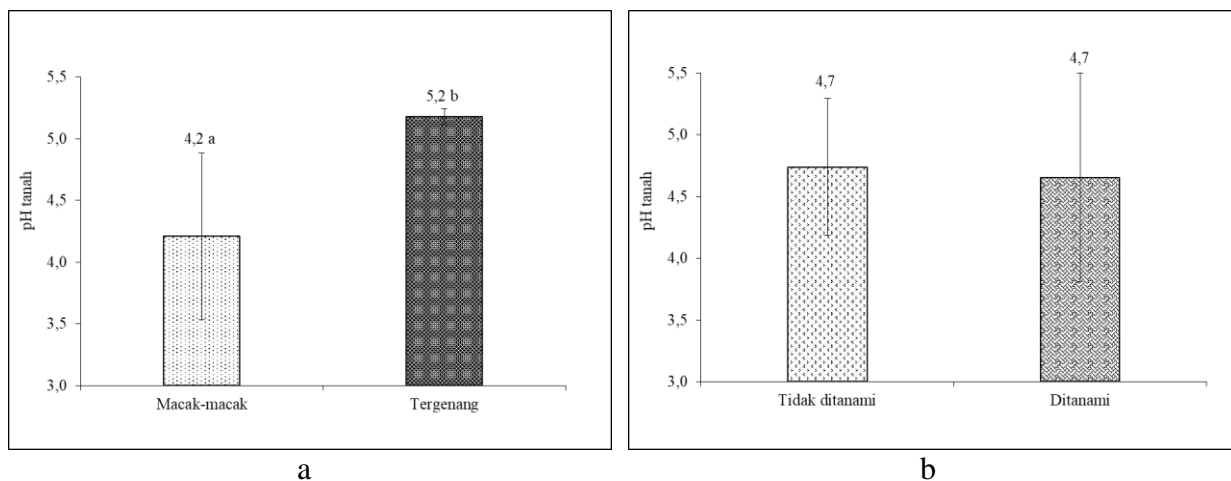
pH Tanah

Hasil uji statistik menunjukkan tidak ada pengaruh perlakuan penanaman pada nilai pH tanah. Tetapi, faktor tunggal perlakuan penggenangan memberikan pengaruh nyata terhadap nilai pH tanah (Gambar 2). Penggenangan secara terus menerus dapat meningkatkan pH tanah (Sun *et al.*, 2007). Peningkatan pH akibat penggenangan yang dilakukan pada tanah masam, sering terjadi akibat dari perubahan besi ferri Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} yang menghasilkan produk sampingan berupa ion OH^- (Abduh dan Annisa, 2016). Berbeda dengan kondisi tanah macak-macak yang menunjukkan nilai pH tanah lebih rendah (masam). Menurunnya pH tanah disebabkan oleh bahan organik yang ada di dalam tanah lebih banyak terdekomposisi sehingga memicu penurunan pH. Bahan organik pada tanah tidak tergenang akan diurai oleh berbagai organisme aerobik (termasuk bakteri, jamur, dan fauna tanah) yang akan menghasilkan grup karboksil, dan asam organik yang dapat menurunkan pH tanah (Rukshana *et al.*, 2014). Penurunan nilai pH ini bisa juga disebabkan oleh terakumulasinya CO_2 akibat mineralisasi bahan organik yang berhubungan dengan proses nitrifikasi (Ding *et al.*, 2019). Pada proses nitrifikasi akan memberikan produk sampingan berupa ion H^+ yang dapat menurunkan pH tanah (Ward, 2008).

Potensial Redoks (Eh) Tanah

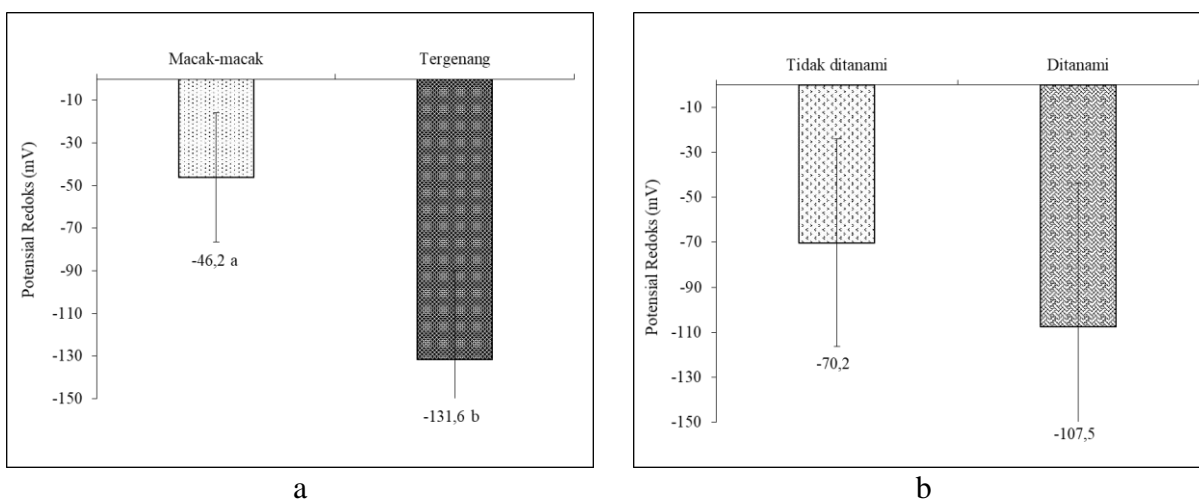
Penggenangan secara terus-menerus menyebabkan nilai Eh tanah menjadi semakin rendah. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa faktor tunggal perlakuan penggenangan memberikan pengaruh nyata terhadap Eh tanah (Gambar 3). Nilai Eh tanah pada kondisi macak-macak menunjukkan angka yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi tergenang. Perubahan nilai Eh terjadi karena perbedaan pasokan oksigen dan adanya bahan organik pada saat tanah tergenang. Penggenangan menyebabkan terjadinya deplesi oksigen, dimana semakin tinggi dan lama genangan maka

semakin besar deplesi oksigen yang menyebabkan menurunnya nilai Eh tanah, bahkan bisa sampai pada nilai -350 mV (Cyio, 2008).



Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada grafik yang sama tidak menunjukkan beda nyata menurut uji BNT pada tingkat kepercayaan 95%. *Error bar* menunjukkan standar deviasi.

Gambar 2. Pengaruh penggenangan (a) dan penanaman (b) terhadap pH tanah di tanah sulfat masam



Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada grafik yang sama tidak menunjukkan beda nyata menurut uji BNT pada tingkat kepercayaan 95%. *Error bar* menunjukkan standar deviasi.

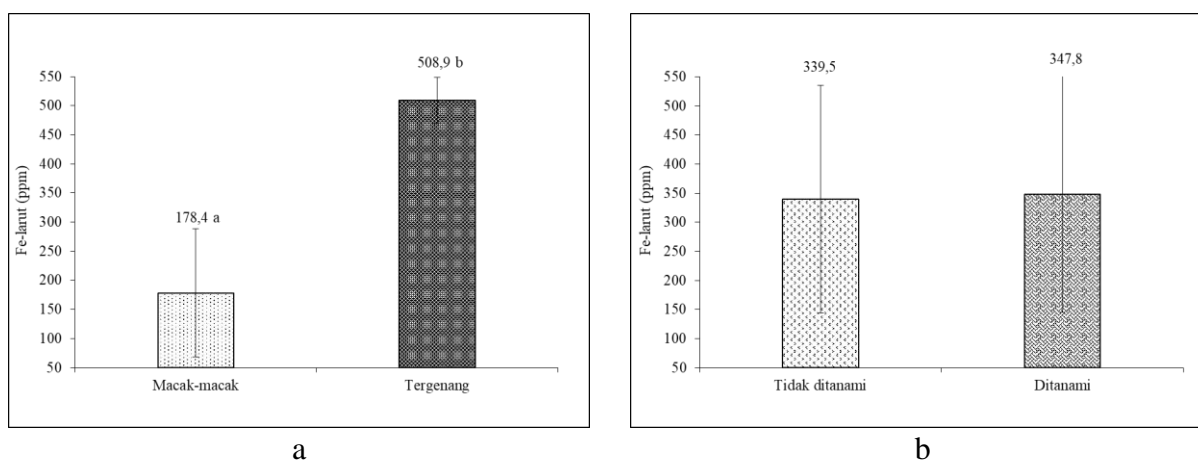
Gambar 3. Pengaruh penggenangan (a) dan penanaman (b) terhadap Eh tanah di tanah sulfat masam

Faktor lain seperti bahan organik pada kondisi lahan yang tergenang berperan sebagai donor elektron utama untuk setengah reaksi oksidasi, sehingga mikroorganisme perombak bahan organik akan semakin cepat mengkonsumsi oksigen akibat dari proses respirasi yang menyebabkan Eh tanah turun secara drastis (Gardiner dan James, 2012). Berbanding terbalik dengan penggenangan,

pada kondisi macak-macak, oksigen lebih banyak tersedia sehingga proses oksidasi pada tanah lebih dominan berlangsung dibandingkan dengan proses reduksi (Pezeshki dan DeLaune, 2012).

Fe-larut Tanah

Hasil uji statistik menunjukkan perlakuan penanaman tidak memberikan pengaruh pada nilai Fe larut. Tetapi, faktor tunggal perlakuan penggenangan memberikan pengaruh nyata terhadap nilai Fe larut (Gambar 4). Nilai Fe larut pada kondisi tergenang lebih besar dibandingkan dengan kondisi macak-macak. Besi ferri (Fe^{3+}) yang tereduksi pada kondisi tergenang akan melepaskan besi ferro (Fe^{2+}) yang larut air. Adanya penggenangan dapat menurunkan nilai Eh tanah. Menurunnya nilai Eh tanah ini menyebabkan proses reduksi menjadi semakin dominan di dalam tanah, sehingga Fe^{3+} yang berjumlah banyak pada tanah sulfat masam akan mengalami reduksi menjadi Fe^{2+} sehingga menjadi lebih larut di dalam tanah dan tersedia melimpah (Susilawati dan Fahmi, 2013).



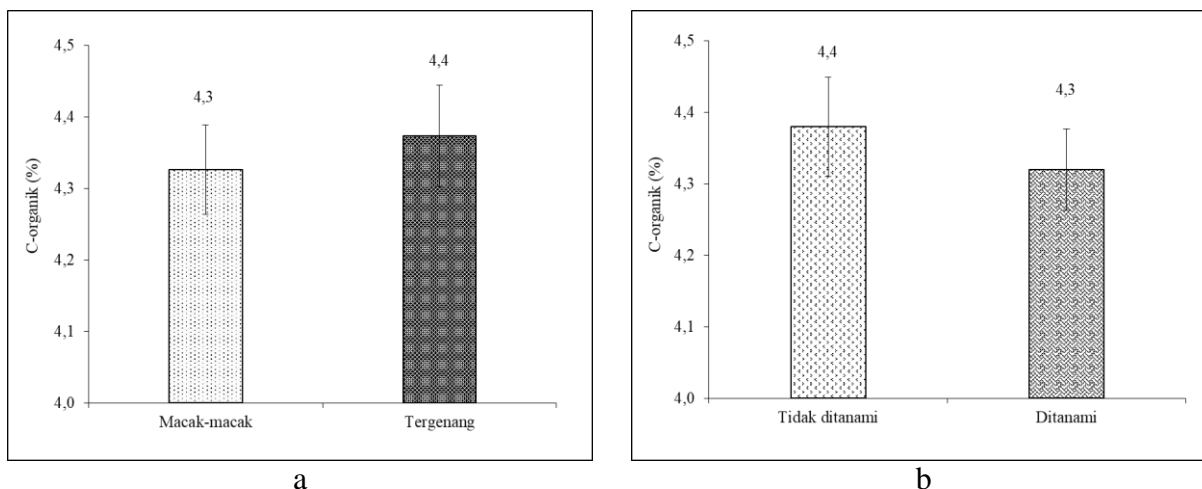
Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada grafik yang sama tidak menunjukkan beda nyata menurut uji BNT pada tingkat kepercayaan 95%. *Error bar* menunjukkan standar deviasi.

Gambar 4. Pengaruh penggenangan (a) dan penanaman (b) terhadap Fe-larut di tanah sulfat masam

Kandungan C-organik Tanah

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa faktor perlakuan penggenangan dan penanaman tidak memberikan pengaruh terhadap kandungan C-organik tanah. Tanah di lokasi penelitian dibudidayakan dengan cara membenamkan jerami sisa panen ke dalam tanah. Hal ini sudah dilakukan selama bertahun-tahun. Pemberian bahan organik secara konsisten dalam jangka waktu yang lama akan mempertahankan kandungan C-organik tanah. Hal ini terjadi sebagai hasil dari pergerakan dan transformasi senyawa organik yang berlangsung secara terus-menerus di seluruh

matriks tanah (Dynarski *et al.*, 2020). Perubahan lingkungan dalam jangka waktu singkat belum memberikan pengaruh yang nyata terhadap kandungan C-organik tanah (Hong *et al.*, 2013).



Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada grafik yang sama tidak menunjukkan beda nyata menurut uji BNT pada tingkat kepercayaan 95%. *Error bar* menunjukkan standar deviasi.

Gambar 5. Pengaruh penggenangan (a) dan penanaman (b) terhadap C-organik di tanah sulfat masam

KESIMPULAN

Fluks CH₄ pada kondisi tergenang di tanah sulfat masam sebesar 6,315 mg/m²/jam dan sebesar – 0,695 mg/m²/jam pada kondisi macak-macak, sedangkan pada tanah yang tidak ditanami sebesar 0,085 mg/m²/jam dan sebesar 5,535 mg/m²/jam apabila ditanami. Sifat kimia tanah seperti pH tanah, Fe-larut, dan Eh tanah hanya dipengaruhi oleh perlakuan penggenangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh DIPA Universitas Lambung Mangkurat Tahun Anggaran 2021 Nomor: SP DIPA-023.17.2.6777518 tanggal 23 November 2020 Universitas Lambung Mangkurat Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi sesuai dengan SK Rektor Universitas Lambung Mangkurat Nomor: 697/UN8/PG/2021 tanggal 22 Maret 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, A.M., E. Hanudin, B.H. Purwanto, and S.N.H. Utami. (2020). Effect of plant spacing and organic fertilizer doses on methane emission in organic rice fields. *Environ. Natl. Resour. J.*, 18(1), 66-74.
- Abduh, A.M., and W. Annisa. (2016). Interaction of paddy varieties and compost with flux of methane in tidal swampland. *J Trop Soils*, 21(3), 179-186.

- Aulakh, M.S., R. Wassmann, C. Bueno, and H. Renneberg. (2001). Impact of root exudates of different cultivars and plant development stages of rice (*Oryza sativa* L.) on methane production in a paddy soil. *Plant and Soil*, 230, 77-86.
- Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. (2007). N₂O investigation and analysis. Agricultural Environment Research Institute. Pati.
- Cyio, M.B. (2008). Efektivitas bahan organik dan tinggi genangan terhadap perubahan Eh, pH, dan status Fe, P, Al terlarut pada tanah Ultisol. *Jurnal Agroland*, 15(4), 257-263.
- Das, K., and K.K. Baruah. (2008). Methane emission associated with anatomical and morphophysiological characteristics of rice (*Oryza sativa*) plant. *Physiol. Plant*, 134, 303-312.
- Ding, C., S. Dua, Y. Ma, X. Li, T. Zhang, and X. Wang. (2019). Changes in the pH of paddy soils after flooding and drainage: Modeling and validation. *Geoderma*, 337, 511-513.
- Dynarski, K.A., D.A. Bossio, and K.M. Scow. (2020). Dynamic stability of soil carbon: Reassessing the “permanence” of soil carbon sequestration. *Front. Environ. Sci*, 8, 514701.
- FAO. (2019). Climate change and the global dairy cattle sector: The role of the dairy sector in a low-carbon future. The Food and Agriculture Organization of the United Nations and Global Dairy Platform Inc. Rome.
- Gardiner, D.T., and S. James. (2012). Wet soil redox chemistry as affected by organic matter and nitrate. *American Journal of Climate Change*, 1, 205-209.
- Gruca-Rokosz, R. (2020). Quantitative fluxes of the greenhouse gases CH₄ and CO₂ from the surfaces of selected polish reservoirs. *Atmosphere*, 11, 286.
- Hairani, A., and A. Susilawati. (2013). Changes of soil chemical properties during rice straw decomposition in different types of acid sulphate soils. *J Tropics Soils*, 18(2), 99-103.
- Hong, C.O., J.S. Kang, H.M. Shin, J.H. Cho, and J.M. Suh. (2013). Effect of compost and tillage on soil carbon sequestration and stability in paddy soil. *Journal of Environmental Science International*, 22(11), 1509-1517.
- Hue, A.X., G.X. Chen, Z.P. Wang, V. Cleemput, and W.H. Patrick. (2000). Methane and nitrous oxide emissions from a rice field in relation to soil redox and microbiological processes. *Soil Sci.Soc. Am. J*, 64, 2180-2186.
- Kim, W.J., L.T. Bui, J.B. Chun, A.M. McClung, and J.Y. Barnaby. (2018). Correlation between methane (CH₄) emissions and root aerenchyma of rice varieties. *Plant. Breed. Biotech*, 6(4), 381-390.
- Komiya, S., K. Noborio, K. Katano, T. Pakoktom, M. Siangliw, and T. Toojinda. (2015). Contribution of ebullition to methane and carbon dioxide emission from water between plant rows in a tropical rice paddy field. *International Scholarly Research Notices*, 623901.

- Malyan, S.K., A. Bhatia, A. Kumar, D.K. Gupta, R. Singh, S.S. Kumar, R. Tomer, O. Kumar, and N. Jain. (2016). Methane production, oxidation and mitigation: a mechanistic understanding and comprehensive evaluation of influencing factors. *Science of the Total Environment*, 572, 874-896.
- Neue, H. (1993). Methane emission from rice fields: Wetland rice fields may make a major contribution to global warming. *BioScience*, 43(7), 466-73.
- Pezeshki, S.R., and R.D. DeLaune. (2012). Soil oxidation-reduction in wetlands and its impact on plant functioning. *Biology*, 1, 196-221.
- Rukshana, F., C.R. Butterly, and J.M. Xu. (2014). Organic anion-to-acid ratio influences pH change of soils differing in initial pH. *J Soils Sediments*, 14, 407-414.
- Situmorang, R., and U. Sudadi. (2001). *Tanah sawah*. Bogor: Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Sun, L., S. Chen, L. Chao, and T. Sun. (2007). Effects of flooding on changes in Eh, pH and speciation of cadmium and lead in contaminated soil. *Bull Environ Contam Toxicol*, 79, 514-518.
- Susilawati, A., and A. Fahmi. (2013). Dinamika besi pada tanah sulfat masam yang ditanami padi. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 7(2), 67-75.
- Toma Y., F.G. Fernandez, S. Sato, M. Izumi, R. Hatano, T. Yamada, A. Nishikawi, G. Bollero, and J.R. Stewart. (2011). Carbon budget and methane and nitrous oxide emissions over the growing season in a *Miscanthus sinensis* grassland in Tomakomai, Hokkaido, Japan. *GCB Bioenergy*, 3, 116-134.
- Toma Y., N.N. Sari, K. Akamatsu, S. Oomori, O. Nagata, S. Nishimura, B.H. Purwanto, and H. Ueno. (2019). Effects of green manure application and prolonging mid-season drainage on greenhouse gas emission from paddy fields in Ehime, Southwestern Japan. *Agriculture*, 9 (29), 1-17.
- Topp, E., and E. Pattey. (1997). Soils as sources and sinks for atmospheric methane. *Can. J. Soil. Sci*, 77, 167-178.
- Ward, B.B. (2008). *Nitrification*. Encyclopedia of Ecology, 2511-2518.
- Zhang, Z., N.E. Zimmermann, A. Stenke, X. Li, E.L. Hodson, G. Zhu, C. Huang, and B. Poulter. (2017). Emerging role of wetland methane emissions in driving 21st-century climate change. *PNAS*, 114(36), 9647-9652.