

Emisi Metana (CH₄) pada Beberapa Metode Pengelolaan Limbah Sawah di Kecamatan Anjir Pasar Kabupaten Barito Kuala

Mariatul Asyiah*, Abdul Hadi, Meldia Septiana

Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat, Jalan Jenderal A. Yani KM 36 Simpang Empat, Banjarbaru 70714, Indonesia

*Email penulis korespondensi: 1810513320004@mhs.ulm.ac.id

Informasi Artikel

Received 04 April 2024
Accepted 29 Juli 2024
Published 30 Juli 2024
Online 30 Juli 2024

Keywords:

CH₄ emissions;
Methanogenic
microorganisms; Rice
plants; Rice field waste;
Wetland;

Abstract

Paddy fields for all of Indonesia are 8.1 million ha, about 43% are in Java and about 57% are outside Java. Paddy fields are part of the wetlands. Paddy fields control the global climate through the gases they produce and have a greenhouse effect. One of the greenhouse gases is methane, therefore the purpose of this study was to determine the effect of rice field waste management on methane emissions and the population of methanogenic microorganisms. The research method used is one-factor Completely Randomized Design (RAL). The factor tested was the method of managing rice waste before planting rice with five treatments namely: A = Rice field waste was slashed and then lifted into the mound after a few days of being returned to the field; B = Rice field waste is carried out management slashed, rolled up, reversed, and stretched; C = Rice field waste is slashed, planted with traces and then slashed again after the trace is transferred to land outside the research plot; D = Rice field waste sprayed with herbicide 2 times; E = Ricefield waste sprayed with herbicide 1 time and then soil in the tractor. Each treatment was repeated four times so 20 units of the experimental. CH₄ gas retrieval used the hood method while the microorganism population used the MPN (most probable Number) method. The results showed that the rice field waste management method had an effect on methane emissions and populations of methanogen microorganisms in the planting and vegetative phases, while the generative phase had no effect.

1. Pendahuluan

Padi merupakan komoditas tanaman pangan penghasil beras yang memegang peranan penting dalam budaya dan ekonomi Indonesia, termasuk di era krisis ekonomi global ini. Beras sebagai makanan pokok sangat sulit digantikan dengan makanan pokok lainnya, seperti jagung, umbi-umbian, dan sagu. Malahan terjadi sebaliknya masyarakat yang biasa mengkonsumsi jagung, umbi, atau sagu beralih mengkonsumsi beras saat perekonomian membaik. Boleh dikatakan bahwa keberadaan beras menjadi prioritas utama masyarakat dalam memenuhi kebutuhan asupan karbohidrat yang dapat menyenangkan dan merupakan sumber karbohidrat utama yang mudah diubah menjadi energi. Saat ini, beras dikonsumsi kurang lebih 97% dari keseluruhan penduduk Indonesia untuk makanan pokok sehari-hari (Hafizah et al., 2023).

Tanah sawah adalah tanah yang digunakan untuk bertanam padi sawah, baik terus menerus sepanjang tahun maupun bergiliran dengan tanaman palawija. Istilah tanah sawah bukan merupakan istilah taksonomi, tetapi merupakan istilah umum seperti halnya tanah hutan, tanah perkebunan, tanah pertanian dan sebagainya (Syahputra et al., 2021). Sawah merupakan bagian dari lahan basah. Lahan basah memiliki peranan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Fungsi lahan basah tidak saja dipahami sebagai pendukung kehidupan secara langsung seperti sumber air minum dan habitat beraneka ragam makhluk, tapi juga memiliki berbagai fungsi ekologis seperti pengendali banjir, pencegah intrusi air laut, erosi, pencemaran dan pengendali iklim global (Talbot et al., 2018).

Lahan basah mengendalikan iklim global melalui gas-gas yang dihasilkan dan memiliki efek rumah kaca. Gas-gas tersebut meliputi *karbondioksida* (CO₂), *metana* (CH₄), *dinitrogen oksida* (N₂O) dan *chlorofluorocarbons* (CFC) (Yin et al., 2023). Metana berpotensi 21 kali lebih besar mengakibatkan pemanasan global dibanding gas CO₂ (Mar et al., 2022). Faktor antropogenik (aktivitas manusia), diketahui dapat

menyumbangkan 70% dari emisi gas CH₄ global. Sisanya, 30% emisi gas CH₄ berasal dari sumber alami (Yue dan Gao, 2018).

Tanah sawah yang tergenang merupakan kondisi ideal bagi terbentuknya CH₄ (Abduh dan Annisa, 2016). Metana merupakan gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik dengan bantuan bakteri pembentuk metana (Abduh et al., 2019). Pelepasan CH₄ ke atmosfer dari tanah sawah (emisi) melibatkan tanaman padi. Sekelompok mikroba metanogen, misalnya *Methanosarcina* berperan dalam degradasi senyawa organik kompleks. Selain itu, terutama di zona perakaran tanaman padi terdapat sekelompok mikroba lain yang berperan sebagai metanotrof, misalnya *Methylomonas*, *Methylobacter*, dan *Methylococcus*. Metanotrof merupakan bakteri gram negatif yang bersifat aerobik yang mampu mengoksidasi CH₄ menjadi CO₂ dan bakteri tersebut menggunakan CH₄ sebagai sumber karbon dan energinya (Kumar et al., 2021).

Ada beberapa metode pengelolaan limbah sawah. Dalam tradisi masyarakat Banjar, limbah panen dan gulma ditebas pada musim kemarau, lalu dipuntal (digulung membentuk bola) pada awal musim hujan, dan ditebar kembali saat menjelang saat tanam padi. Jika terlambat mempersiapkan lahan, biasa juga petani menebas limbah lalu mengumpulkan di tengah sawah membentuk guludan (Masganti et al., 2021). Teknik pengelolaan berkembang seiring dengan ketersediaan herbisida dan alat mesin pertanian. Pengelolaan dengan penyemprotan herbisida yang diiringi dengan pembenaman limbah merupakan cara yang umum dilakukan petani padi di Kabupaten Barito Kuala saat ini. Berdasarkan latar belakang tersebut belum terdapat informasi mengenai emisi CH₄ dari sawah yang menerapkan beberapa teknik pengelolaan limbah sawah. Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengukur emisi CH₄ pada beberapa metode pengelolaan limbah sawah di Kecamatan Anjir Pasar Kabupaten Barito Kuala.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lahan sawah petani, Desa Banyuur, Kecamatan Anjir Pasar, Kabupaten Barito Kuala, Provinsi Kalimantan Selatan dan dilanjutkan uji sampel gas di Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. Analisis sampel tanah di Laboratorium Kimia dan Fisika Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat. Penelitian ini dilakukan mulai bulan September 2022 sampai dengan Januari 2023.

2.2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK). Adapun perlakuan yang diujikan adalah metode pengelolaan limbah sawah sebelum penanaman padi. sebanyak lima perlakuan, yaitu limbah sawah (rumput, semak dan sisa tanaman padi) yang A = ditebas lalu diangkat ke guludan setelah beberapa hari dikembalikan ke lahan; B = dilakukan pengelolaan Tepulikampar (Tebas, Puntal, Balik dan Ampar); C = ditebas, ditanami lacak kemudian ditebas kembali setelah lacaknya dipindahkan ke lahan di luar plot penelitian; D = disemprot herbisida sebanyak 2 kali; E = disemprot herbisida 1 kali lalu tanah di traktor (limbah dicampur dengan tanah).

2.3. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian terdiri dari persiapan, survei dan observasi lokasi, penetapan plot, pengambilan sampel, analisis laboratorium. Penentuan plot dilakukan dengan membuat 20 plot masing-masing berukuran 3m x 4m (masing-masing plot ditandai dengan menancapkan pipa paralon di keempat sudutnya). Perlakuan diberikan pada masing-masing plot, mengikuti rancangan lingkungan yang telah direncanakan. Pupuk dasar N, P dan K diberikan sesuai dosis rekomendasi Masganti et al. (2022) masing-masing yaitu pupuk Urea sebanyak 300 kg ha⁻¹, pupuk SP-36 100 kg ha⁻¹ dan KCl 100 kg ha⁻¹. Varietas padi (*Oryza sativa* L.) yang ditanam adalah varietas siam aman (varietas yang umumnya ditanam petani setempat). Sub-sub-plot berukuran 1m x 1m ditandai di tengah-tengah setiap perlakuan.

Pengamatan dilakukan terhadap parameter emisi CH₄, mikroorganisme metanogen, dan berat jerami kering panen. Pengambilan sampel gas menggunakan sungkup dilakukan sebanyak tiga kali (saat tanam bulan Mei, fase vegetatif bulan Juni dan fase generatif bulan Juli). Sampel gas diambil menggunakan jarum suntik yang dihubungkan dengan sungkup melalui pipa kapiler. Gas diambil pada 2 dan 12 menit setelah sungkup dipasang menutupi tanaman padi yang berada di pusat sub-plot. Sampel tanah diambil di tengah sub-plot setelah pengambilan sampel gas. Sampel tanah ini diambil saat tanam, vegetatif padi dan generatif padi. Setiap pengambilan sampel terdapat 20 sampel tanah dan 42 sampel gas. Sampel tanah yang didapatkan di lapangan segera dianalisis di laboratorium atau disimpan pada suhu ≤4°C untuk pengamatan populasi mikroba pada fase tanam dan vegetatif. Sampel gas dikirim ke Balai Penelitian Lingkungan Pertanian di Jawa Tengah untuk penetapan konsentrasi CH₄.

Analisis data yang digunakan yaitu *Analysis of Variance* (Anova) untuk mengetahui pengaruh perlakuan yang diberikan, Sebelum dilakukan anova, data terlebih dahulu diuji kehomogenannya melalui uji Bartlett.

Apabila keragaman yang ditimbulkan oleh perlakuan berpengaruh pada uji Anova, maka dilakukan uji beda nilai tengah menggunakan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) guna melihat perlakuan mana yang berpengaruh. Analisis data menggunakan aplikasi Excel.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Keadaan Umum Lahan Penelitian

Lahan penelitian yang digunakan merupakan lahan pasang surut tipe B yang berlokasi di Kecamatan Anjir Pasar Kabupaten Barito Kuala Provinsi Kalimantan Selatan. Daerah penelitian memiliki tipe iklim basah menurut klasifikasi Schmidt-Ferguson, dengan delapan bulan basah (Oktober-Mei) empat bulan kering (Juni-Agustus) (Badan Pusat Statistik Barito Kuala, 2023). Menurut Irawan (2021), hasil analisis menunjukkan bahwa pH tanah di Kecamatan Anjir Pasar berkisar 3,84 (sangat masam) dan kandungan C-organik tanah berkisar 1,52% (rendah).

3.2. Emisi CH₄

Laju CH₄ pada berbagai metode pengolahan tanah pada fase tanam, vegetatif dan generatif diperlihatkan pada Tabel 1. Hasil CH₄ yang diperoleh selama 3 kali pengambilan memiliki nilai yang beragam, dengan emisi besar pada saat tanam dan kecil (kurang dari 1 mg CH₄-N m⁻² jam⁻¹) pada fase vegetatif dan generatif tanaman padi (Tabel 1). Kedalaman genangan mungkin membentuk pola emisi seperti ini, emisi tinggi saat genangan tinggi dan mendekati nol ketika menuju fase generatif padi (Juni-Juli). Pada saat tanah tergenang menyebabkan kondisi lahan lebih reduktif yang meningkatkan aktivitas bakteri metanogen, sehingga meningkatkan emisi CH₄ (Abduh dan Annisa, 2016). Selain itu fase pertumbuhan tanaman juga dapat mempengaruhi pembentukan CH₄. Dilaporkan Abduh et al. (2019) bahwa pembentukan CH₄ tertinggi terdapat pada fase vegetatif maksimum, dikarenakan aktivitas mikroorganisme di daerah perakaran akan meningkat. Tingkat emisi yang rendah juga telah dilaporkan pada saat lahan tidak tergenang sehingga aktivitas bakteri metanotrof lebih banyak yang dapat mengkonsumsi CH₄ (Davamani et al., 2020).

Tabel 1. Emisi CH₄ pada beberapa pengelolaan limbah sawah di Kecamatan Anjir Pasar Kabupaten Barito Kuala

Perlakuan	mg CH ₄ -N m ⁻² jam ⁻¹		
	Tanam	Vegetatif	Generatif
A	6.853	0.292	-0.740
B	8.535	0.531	0.915
C	30.171	0.066	0.000
D	14.882	0.120	-0.020
E	-4.586	-0.076	-0.684

Keterangan: A = limbah sawah ditebas lalu diangkat ke guludan setelah beberapa hari dikembalikan lagi ke lahan; B = Limbah sawah dilakukan pengelolaan Tepulikampar (Tebas, Puntal, Balik dan Ampar); C = Limbah sawah ditanami lacak kemudian ditebas kembali setelah lacaknya dipindahkan ke lahan diluar plot penelitian; D = Limbah disemprot herbisida 2 kali; E = Limbah disemprot herbisida 1 kali lalu tanah ditraktor (dicampur dengan tanah).

Emisi CH₄ saat tanam terbesar terdapat pada perlakuan C sebesar 30.171 mg CH₄-N m⁻² jam⁻¹, diikuti oleh perlakuan D, B, dan A. Emisi CH₄ terendah (emisi negatif) terdapat pada pengelolaan limbah sawah E -4.586 mg CH₄-N m⁻² jam⁻¹ (Tabel 1). Perlakuan A (limbah sawah ditebas lalu diangkat ke guludan setelah beberapa hari dikembalikan lagi ke lahan) menghasilkan emisi yang lebih rendah dari cara pengelolaan C, D, dan B. Pengelolaan yang melibatkan traktor menghasilkan emisi negatif (terjadi penangkapan CH₄ oleh tanah), mungkin menunjukkan efek aktivasi organisme penangkap CH₄ (metanotrof) dari pengemburan tanah oleh traktor. Mikroorganisme metanotropik mengoksidasi metana untuk memanfaatkan energi dalam kondisi oksik dan anoksik menggunakan berbagai akseptor elektron yang beragam. Oksidasi metana aerobik dikatalisis oleh monooksigenase metana partikulat dan terlarut. Enzim-enzim ini mengoksidasi metana menjadi metanol, dan selanjutnya, dehidrogenase metanol (MDH) selanjutnya mengoksidasi metanol menjadi formaldehida. Setelah formaldehida, dua langkah oksidasi lagi terlibat dan digunakan untuk asimilasi karbon (Guerrero-Cruz et al., 2021).

3.3. Mikroorganisme Metanogen

Hasil pengamatan di laboratorium menunjukkan bahwa pengelolaan limbah sawah tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan mikroorganisme khususnya mikroorganisme metanogen. Mikroorganisme metanogen mengalami penambahan jumlah pada setiap perubahan fase pertumbuhan tanaman padi dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada pengamatan pertama di fase tanam tanaman padi, jumlah mikroorganisme metanogen tertinggi terhadap pada pengelolaan C, D, E dengan nilai $1,9 \times 10^8$ CFU gr^{-1} , adapun nilai terendah terdapat pada pengelolaan limbah sawah B dengan nilai $0,0 \times 10^5$ CFU gr^{-1} . Pengamatan kedua dilakukan pada fase vegetatif tanaman padi menunjukkan bahwa pengelolaan limbah sawah A, C, D, E memiliki jumlah mikroorganisme metanogen tertinggi sebanyak $1,9 \times 10^8$ CFU gr^{-1} , adapun nilai terendah terdapat pada pengelolaan limbah sawah B sebesar $0,3 \times 10^7$ CFU gr^{-1} . Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi keragaman mikroba Metanogen, salah satunya adalah kandungan bahan organik (Zhang et al., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan B dapat memberikan pengelolaan bahan organik yang tetap bisa mempertahankan agar tanah tidak tereduksi hingga mencapai range tumbuh optimalnya metanogen (-200 mV) melalui Tepulikampar, sehingga populasi metanogen dapat ditekan. Bahan organik dalam keadaan mentah bisa mengakibatkan populasi metanogen meningkat akibat tereduksinya tanah (Scott et al., 2022).

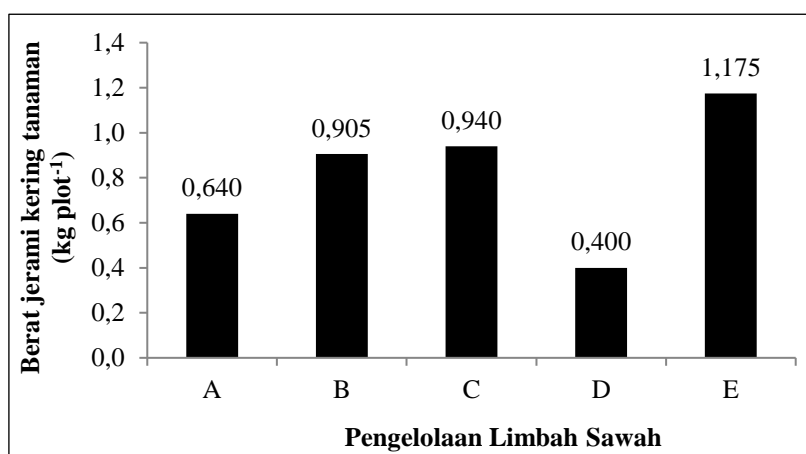
Tabel 2. Populasi mikroorganisme metanogen pada beberapa pengelolaan limbah sawah di Kecamatan Anjir Pasar Kabupaten Barito Kuala

Perlakuan	CFU gr^{-1} tanah	
	Tanam	Vegetatif
A	$1,2 \times 10^6$ CFU gr^{-1}	$1,9 \times 10^8$ CFU gr^{-1}
B	$0,0 \times 10^5$ CFU gr^{-1}	$0,3 \times 10^7$ CFU gr^{-1}
C	$1,9 \times 10^8$ CFU gr^{-1}	$1,9 \times 10^8$ CFU gr^{-1}
D	$1,9 \times 10^8$ CFU gr^{-1}	$1,9 \times 10^8$ CFU gr^{-1}
E	$1,9 \times 10^8$ CFU gr^{-1}	$1,9 \times 10^8$ CFU gr^{-1}

Keterangan: A = limbah sawah ditebas lalu diangkat ke guludan setelah beberapa hari dikembalikan lagi ke lahan; B = Limbah sawah dilakukan pengelolaan Tepulikampar (Tebas, Puntal, Balik dan Ampar); C = Limbah sawah ditanami lacak kemudian ditebas kembali setelah lacaknya dipindahkan ke lahan diluar plot penelitian; D = Limbah disemprot herbisida 2 kali; E = Limbah disemprot herbisida 1 kali lalu tanah ditraktor (dicampur dengan tanah).

3.4. Berat Jerami Kering Panen

Pada hasil tanaman padi yang dilakukan beberapa pengelolaan limbah sawah yang berbeda sebanyak 5 pengelolaan, didapatkan berat jerami kering panen yang dapat dilihat pada Gambar 1. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa berat jerami kering panen tidak berpengaruh nyata.



Gambar 1. Berat jerami kering tanaman. A = limbah sawah ditebas lalu diangkat ke guludan setelah beberapa hari dikembalikan lagi ke lahan; B = Limbah sawah dilakukan pengelolaan Tepulikampar (Tebas, Puntal, Balik dan Ampar); C = Limbah sawah ditanami lacak kemudian ditebas kembali setelah lacaknya dipindahkan ke lahan diluar plot penelitian; D = Limbah disemprot herbisida 2 kali; E = Limbah disemprot herbisida 1 kali lalu tanah ditraktor (dicampur dengan tanah)

Pengelolaan limbah sawah E mempunyai nilai terbesar yaitu 1,175 kg plot⁻¹. Adapun pada pengelolaan lainnya mempunyai nilai jerami kering panen yang bervariasi. Pada pengelolaan limbah sawah A, berat jerami kering panen yang dihasilkan sebesar 0,640 kg plot⁻¹, pengelolaan limbah sawah B sebesar 0,905 kg plot⁻¹ dan pengelolaan limbah sawah C sebesar 0,940 kg plot⁻¹. Berat jerami kering panen terendah D sebesar 0,400 kg plot⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa berbagai pengelolaan bahan organik tidak mampu meningkatkan kemampuan tanaman dalam mengambil hara dan menghasilkan fotosintat (Zulkifli et al., 2022).

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan beberapa metode pengelolaan limbah sawah yang dilakukan berpengaruh nyata terhadap emisi CH₄ saat fase tanam dan fase vegetatif tanaman padi, tidak berpengaruh pada fase generatif tanaman padi dan populasi mikroorganisme metanogen. Pengolahan yang melibatkan traktor menghasilkan emisi CH₄ terendah sehingga dapat diterapkan dalam rangka menekan emisi CH₄ dari sawah.

Daftar Pustaka

- Abduh, A.M., Annisa, W. 2016. Interaction of paddy varieties and compost with flux of methane in tidal swampland. *Journal of Tropical Soils* 21(3), 179-186. <http://dx.doi.org/10.5400/jts.2016.v2i3.179-186>
- Abduh, A.M., Hanudin, E., Purwanto, B.H., Utami, S.N.H. 2019. Effect of plant spacing and organic fertilizer doses on methane emission in organic rice fields. *Environment and Natural Resources Journal* 18(1), 66–74. <http://dx.doi.org/10.32526/enrj.18.1.2020.07>
- Badan Pusat Statistik Barito Kuala. 2023. Barito Kuala dalam Angka 2022. Badan Pusat Statistik Barito Kuala, Marabahan.
- Davamani, V., Parameswari, E., Arulmani, S. 2020. Mitigation of methane gas emissions in flooded paddy soil through the utilization of methanotrophs. *Science of The Total Environment* 726, 138570. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138570>
- Guerrero-Cruz, S., Vaksmaa, A., Horn, M.A., Niemann, H., Pijuan, M., Ho, A. 2021. Methanotrophs: Discoveries, environmental relevance, and a perspective on current and future applications. *Front. Microbiol.* 12, 678057. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.678057>
- Hafizah, D., Hakim, D.B., Harianto, Nurmalina, R. 2020. The role of rice's price in the household consumption in Indonesia. *Agriekonomika* 9(1), 38-47. <https://doi.org/10.21107/agriekonomika.v9i1.6962>
- Irawan, M.A.R. 2021. Emisi Gas Metana dari Sawah di Kecamatan Anjir Pasar yang Ditanami Padi Unggul Hasil Radiasi dan Padi Lokal. Skripsi, Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Kumar, M., Yadav, A.N., Saxena, R., Rai, P.K., Paul, D., Tomar, R.S. 2021. Novel methanotrophic and methanogenic bacterial communities from diverse ecosystems and their impact on environment. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 33, 102005. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102005>
- Mar, K.A., Unger, C., Walderdorff, L., Butler, T. 2022. Beyond CO₂ equivalence: The impacts of methane on climate, ecosystems, and health. *Environmental Science & Policy* 134, 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.03.027>
- Masganti, Simatupang, R.S., Alwi, M., Khairullah, I., Nurzakiah, S. 2022. Pengelolaan Hara dan Tanaman di Lahan Rawa Pasang Surut. *Rajawali Pers, Depok*.
- Masganti, Simatupang, R.S., Noor, M., Mukhlis, Maftuah, E., Alwi, M., Hasbianto, A. 2021. Pertanian Rawa Pasang Surut Sulfat Masam. *Rajawali Pers, Depok*.
- Sass, R.L., Cicerone, R.J. 1999. Photosynthate allocations in rice plants: food production or atmospheric methane. <http://www.pnas.org/cgi/content/99/19/11993>.
- Scott, B., Baldwin, A.H., Yarwood, S.A. 2022. Quantification of potential methane emissions associated with organic matter amendments following oxic-soil inundation. *Biogeosciences* 19(4), 1151-1164. <https://doi.org/10.5194/bg-19-1151-2022>
- Syahputra, M., Supriadi, Marpaung, P. 2021. The mapping of irrigated paddy fields which were polluted by detergent waste in Kolam Village, Percut Sei Tuan Sub-district, Deli Serdang District. *Jurnal Pertanian Tropik* 8(2), 144-149. <https://doi.org/10.32734/jpt.v8i2.8078>

- Talbot, C.J., Bennett, E.M., Cassell, K., Hanes, D.M., Minor, E.C., Paerl, H., Raymond, P.A., Vargas, R., Vidon, P.G., Wollheim, W., Xenopoulos, M.A. 2018. The impact of flooding on aquatic ecosystem services. *Biogeochemistry* 141, 439–461. <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0449-7>
- Yin, X., Jiang, C., Xu, S., Yu, X., Yin, X., Wang, J., Maihaiti, M., Wang, C., Zheng, X., Zhuang, X. 2023. Greenhouse gases emissions of constructed wetlands: Mechanisms and affecting factors. *Water* 15, 2871. <https://doi.org/10.3390/w15162871>
- Yue, X.L., Gao, Q.X. 2018. Contributions of natural systems and human activity to greenhouse gas emissions. *Advances in Climate Change Research* 9(4), 243-252. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2018.12.003>
- Zhang, H., Gao, Z., Shi, M., Fang, S. 2020. Soil bacterial diversity and its relationship with soil CO₂ and mineral composition: A case study of the Laiwu experimental site. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 5699. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165699>
- Zulkifli, Mulyani, S., Syahputra, R., Pulungan, L.A.B.R. 2022. Hubungan antara panjang dan lebar daun nenas terhadap kualitas serat daun nenas berdasarkan letak daun dan lama perendaman daun. *Jurnal Agrotek Tropika* 10(2), 247-254. <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v10i2.5461>