

Potensi Bakteri Metanotrof sebagai Pereduksi Emisi Metan pada Lahan Pertanian

Febrianti Rosalina^{1*}, Sukmawati Sukmawati², Ponisri Ponisri³, Anif Farida⁴, Budi Satria⁵, Ayu Diah Syafaati⁶, Nuryanto⁷

¹Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Sorong, Sorong

²Pengolahan Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan, Universitas Muhammadiyah Sorong, Sorong

³Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Sorong, Sorong

⁴Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sorong, Sorong

^{5,6,7}Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Kota Sorong

*Correspondence author : febriantirosalina@um-sorong.ac.id

ABSTRACT. Greenhouse Gas (GHG) concentrations increase along with human activities and cause an increase in global warming, one of which comes from the agricultural sector. The high production of GHG emissions in the agricultural sector requires regular monitoring and supervision, so that the quantity can be monitored and suppressed. To measure GHG emissions, innovation is needed, one of which is the application of methanotrophic bacteria which can reduce emissions on agricultural land. The purpose of this study was to determine the potential of methanotrophic bacteria applied to agricultural land in reducing methane emissions. The treatment in this study consisted of 4 treatments including Chamber 1 (bacterial MFb isolate), Chamber 2 (bacterial MFc isolate), Chamber 3 (bacterial MFd isolate), and Chamber 4 (bacterial MFe isolate). Gas sampling was carried out using the closed chamber technique. Methane (CH₄) emissions are analyzed directly in the field using a digital device in the form of a Methane and Propane AZ-7291 Digital Smart Leak Detection Tool to measure CH₄. The results showed that there was an effect of the application of methanotrophic bacteria on the rate of reduction of methane gas emissions. Of all the isolates of methanotrophic bacteria given, the treatment of methanotrophic bacteria with the code MFe was able to reduce the average CH₄ emission by 305.449 mol/hour and it was considered that the isolate was the best isolate among all the treatments.

Keywords: Methanotrophic bacteria, GHG, methane, agricultural land

ABSTRAK. Konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) meningkat seiring dengan aktivitas manusia dan menyebabkan peningkatan pemanasan global, salah satunya berasal dari sektor pertanian. Masih tingginya produksi emisi GRK pada sektor pertanian membutuhkan monitoring dan pengawasan secara berkala, sehingga dapat dipantau dan ditekan kuantitasnya. Untuk mengukur emisi GRK diperlukan inovasi dengan salah satu pengaplikasian bakteri metanotrof yang dapat menekan emisi di lahan pertanian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi bakteri metanotrof yang diaplikasikan pada lahan pertanian dalam mengurangi emisi metan. Perlakuan dalam penelitian terdiri dari 4 perlakuan diantaranya Sungkup 1 (Isolat bakteri MFb), Sungkup 2 (Isolat bakteri MFc), Sungkup 3 (Isolat bakteri MFd), dan Sungkup 4 (Isolat bakteri MFe). Pengambilan contoh gas dilakukan dengan metode sungkup tertutup (close chamber technique). Emisi metan (CH₄) dianalisis secara langsung di lapangan dengan menggunakan alat digital berupa Alat Pintar

Digital deteksi Kebocoran Gas Metana dan Propana AZ-7291 untuk mengukur CH₄. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh aplikasi bakteri metanotrof terhadap laju penurunan emisi gas metan. Dari semua perlakuan isolate bakteri metanotrof yang diberikan, perlakuan bakteri metanotrof dengan kode MFe mampu menurunkan rata-rata emisi CH₄ sebesar 305,449 mol/jam dan dianggap bahwa isolate tersebut adalah isolate yang paling baik diantara semua perlakuan.

Kata kunci: Bakteri metanotrof, GRK, metan, lahan pertanian



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©20..... by author.

1. PENDAHULUAN

Kebocoran emisi gas metan (CH₄) secara umum diketahui dari kegiatan tambang dan diperkirakan bahwa yang mendominasi sumber gas metan termogenik secara global (Kirschke *et al.*, 2013). Schaefer *et al.*, (2016) menyatakan bahwa peningkatan gas metan yang ada di atmosfer telah berganti dari gas metan termogenik menjadi biogenik. Pernyataan ini muncul karena kemungkinan gas metan bersumber atau berasal dari lahan pertanian daripada lahan basah. Tetapi tidak menutup kemungkinan bahwa lahan basah kedepannya dapat pula berkontribusi dalam peningkatan gas metana biogenik (Chambers *et al.*, 2014; Dean *et al.*, 2018; Martins *et al.*, 2016). Konsentrasi GRK meningkat seiring dengan aktivitas manusia dan menyebabkan peningkatan pemanasan global. Sektor pertanian menjadi salah satu penyumbang gas rumah kaca dengan menyumbang sekitar 10% - 20% terhadap emisi GRK secara global (Smith and Olsen, 2010; Tubiello, 2013) dan akan terus meningkat dari tahun ke tahun. Salahsatu contoh dari sumber emisi gas rumah kaca dari lahan pertanian secara umum berasal dari penggunaan pupuk anorganik atau pupuk kimia, atau dapat dikatakan berasal dari pertanian konvensional serta irigasi yang berlebihan. Adapun menurut Flessa *et al.*, (2002) bahwa konversi lahan, cara pengelolaan tanah, dan pengelolaan limbah organik dalam kegiatan pertanian mampu mengemisikan CO₂, N₂O, dan CH₄.

Proses dekomposisi bahan organik dalam kondisi anaerobic dengan bantuan bakteri pembentuk metan (bakteri metanogen) menghasilkan hidrokarbon sederhana yang disebut dengan metan. Menurut Towprayoon *et al.*, (2005); Mohajan (2012); Tian *et al.*, (2012) bahwa gas metan telah meningkat tiga kali lipat konsentrasinya di atmosfer dan apabila dibandingkan dengan emisi CO₂ (gas karbondioksida), metan lebih bersifat destruktif. Hal ini diduga karena metan memiliki indeks potensi pemanasan global sebanyak 25 kali lipat dan diperkirakan mengalami kenaikan sebesar 20% penyumbang gas rumah kaca dibandingkan CO₂. Berdasarkan hal tersebut sehingga yang menjadi salah satu upaya menurunkan emisi GRK khususnya di lahan pertanian adalah dengan melakukan monitoring serta pengawasan berkala sehingga harapan kedepannya emisi yang keluar dapat dipantau serta ditekan kuantitasnya. Untuk mengukur emisi GRK diperlukan inovasi dengan salah satu

pengaplikasian bakteri metanotrof yang dapat menekan emisi di lahan pertanian. Hal tersebut juga menjadi salah satu kontribusi dari sector pertanian dalam memitigasi (menurunkan) emisi gas rumah kaca (GRK). Gas CH₄ yang dihasilkan secara biologis oleh aktivitas mikroorganisme (bakteri metanogen) melalui prose penguraian atau dekomposisi bahan-bahan organik yang terjadi pada lahan basah maupu lahan kering (Septeyadi, 2019). Menurut Theowidavitya (2019), bakteri metanotrof merupakan mikroorganisme aerobik yang mampu tumbuh dan berkembang dengan sumber energi satu-satunya berasal dari metan. Oleh karena itu, oksidasi metan dapat terjadi pada lingkungan mikro yang bersifat aerobik pada zona perakaran dan bahkan pada lapisan tanah yang tinggi toksisitas mineralnya. Proses oksidasi metan diinisiasi oleh enzim metan monooksigenase yang mengubah metan menjadi metanol dan mampu mendegradasi senyawa-senyawa polutan (Graham *et al.* 1992). Hal ini juga sesuai dengan Banerjee *et al.* (2019) bahwa salah satu mekanisme yang digunakan oleh enzim ini untuk aktivasi dan penyisipan O₂ kedalam ikatan metane menjadi lebih stabil.

Telah banyak dilakukan penelitian terkait dengan bakteri metanotrof, salah satunya oleh Nonci *et al.*, (2015); Kim *et al.*, (2019) yang menyatakan bahwa salah satu karakteristik yang paling khas yang ditemukan pada bakteri metanotrof adalah system enzim yang spesifik, yakni enzim MMO (*metan monooksigenase*). Enzim inilah yang digunakan oleh bakteri sebagai pereduksi emisi gas metan (Hanson dan Hanson, 1996) karena bakteri ini mampu memanfaatkan metane sebagai sumber karbon utama dan sumber energi (Khider *et al.*, 2021). Berdasarkan latar belakang tersebut, sehingga tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi bakteri metanotrof sebagai agen pereduksi gas metan yang diaplikasikan pada lahan pertanian, sehingga dampak kedepannya dapat dikembangkan menjadi biofertilizer.

2. METODE

Penelitian ini terdiri dari 4 perlakuan diantaranya Sungkup 1 (Isolat bakteri MFb), Sungkup 2 (Isolat bakteri MFc), Sungkup 3 (Isolat bakteri MFd), Sungkup 4 (Isolat bakteri MFe). Pengambilan contoh gas dilakukan dengan metode sungkup tertutup (*close chamber technique*) yang diadopsi dari IAEA (1993). Pengambilan contoh gas metan (CH₄) dengan metode sungkup tertutup dilakukan 1 minggu setelah pemasangan sungkup (aklimatisasi sungkup) dengan selang waktu 3 hari sekali selama 2 minggu. Pengambilan contoh gas dilakukan di enam titik sampling dengan ukuran sungkup 40x40x50 cm³. Untuk menentukan emisi di setiap ulangan dilakukan pengambilan contoh gas di dalam sungkup dengan selang waktu 10 menit (T₀, T₁₀, T₂₀, T₃₀, dan T₄₀). Pengambilan contoh gas dilakukan secara manual di lapangan pada pukul 08.00-12.00 WIT. Pengukur waktu seperti stopwatch atau jam diperlukan untuk mengetahui keakuratan waktu pengambilan contoh gas. Gas diambil dengan

menggunakan injektor (*syringe*) yang dipasang pada posisi tegak lurus pada karet septum tempat mengambil contoh gas. Injektor ditutup dengan septum secepat mungkin untuk menghindari kebocoran atau kran syringe segera ditutup. Emisi metan (CH_4) dianalisis secara langsung di lapangan dengan menggunakan alat digital berupa Alat Pintar Digital deteksi Kebocoran Gas Metana dan Propana AZ-7291 untuk mengukur CH_4 .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanah berperan sebagai sumber emisi (*source*) dan penyerapan (*sink*) CH_4 . Salah satu hal penting yang dilakukan dalam upaya mitigasi atau penurunan emisi CH_4 di suatu lingkungan adalah mengetahui emisi aktual dua gas tersebut. Perhitungan emisi gas CH_4 di lahan pertanian dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh bakteri metanotrof terhadap emisi gas tersebut (Tabel 1).

Tabel 1. Data laju emisi CH_4 (mol/jam)

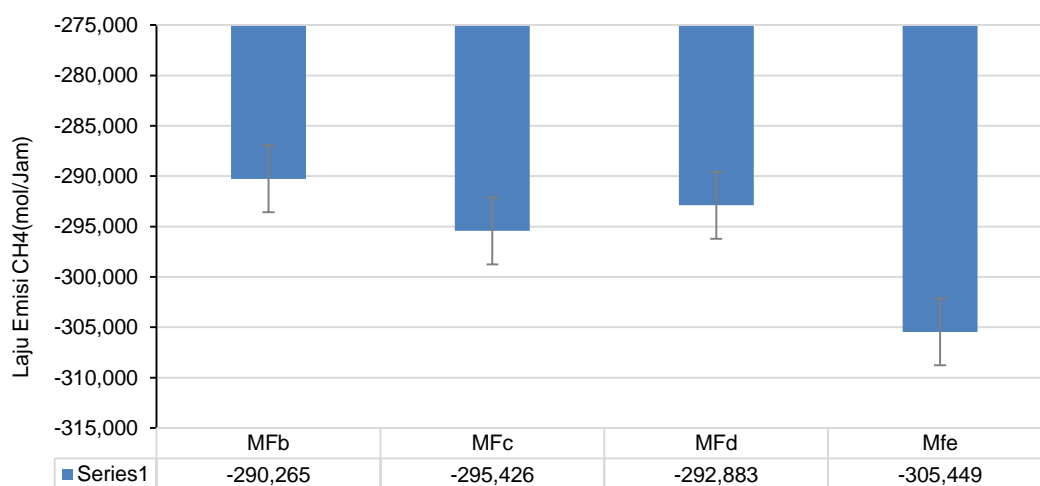
Perlakuan	Waktu Pengambilan (Menit ke-)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Laju emisi CH_4 (mol/jam)
MFb	0	38,4	-283
	10	38,6	-277
	20	40,2	-275
	30	43,6	-313
	40	44,6	-304
MFc	0	40,1	-301
	10	40,4	-281
	20	40,9	-285
	30	41,0	-307
	40	40,8	-303
MFd	0	35,4	-240
	10	35,4	-293
	20	35,3	-311
	30	35,3	-320
	40	35,2	-301
MFe	0	43,1	-277
	10	42,6	-298
	20	41,6	-310
	30	40,6	-329
	40	40,4	-314

Sumber: data primer diolah (2022)

Berdasarkan data pada Tabel 1 menunjukkan adanya penyerapan gas metan oleh bakteri metanotrof. Walaupun hasil analisis statistik menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan antar masing-masing perlakuan, namun hasil analisis gas di lapangan menunjukkan bahwa terdapat perubahan nilai fluks gas CH_4 antar masing-masing perlakuan. Berdasarkan data pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa variasi suhu meningkatkan aktivitas bakteri. Berbagai penelitian yang pernah dilakukan (Datta *et al.*, 2013; Zhang dan Ding, 2011; Lofton *et al.*,

2014; Poffenberger, 2011) telah mengidentifikasi bahwa suhu air dan tanah merupakan faktor pembatas emisi dan produksi gas metana. Hal ini didukung dari hasil penelitian Boon dan Mitchell (1995) yang menemukan bahwa laju metanogenesis yang tertinggi berada pada suhu 30 °C dan yang terendah berada pada pada 5 °C.

Berdasarkan tren pada Gambar 1 terlihat bahwa masing-masing perlakuan menunjukkan nilai fluks yang negative yang menandakan bahwa ada hubungan antara produksi dan konsumsi emisi metan (CH_4) yang terdeteksi pada pemberian isolate bakteri metanotrof. Menurut Sumani *et al.*, (2009) bahwa nilai negative yang ditunjukkan oleh data laju emisi menandakan bahwa konsumsi metan oleh bakteri lebih besar dari emisinya. Adapun hasil rata-rata laju emisi (Gambar 1) menunjukkan bahwa aplikasi bakteri metanotrof dengan kode MFe mampu menurunkan rata-rata emisi CH_4 sebesar 305,449 mol/jam dan dianggap bahwa isolate tersebut adalah isolate yang paling baik diantara semua perlakuan.



Gambar 1. Rata-rata Laju emisi CH_4 (mol/jam)

Emisi gas rumah kaca melibatkan interaksi yang kompleks antara mikrob dengan faktor biotik dan abiotik. Mekanisme mikrob dalam meregulasi emisi gas rumah kaca penting untuk dipahami. Hal ini dilakukan sebagai usaha dalam menurunkan emisi gas rumah kaca melalui rekayasa komunitas mikrob di suatu lingkungan (Singh *et al.* 2010). Penelitian ini dilakukan dengan menginokulasikan bakteri metanotrof, kemudian menganalisis dampaknya terhadap emisi CH_4 .

Bakteri yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas 4 isolat bakteri metanotrof. Empat isolat bakteri metanotrof tersebut diketahui memiliki kemampuan oksidasi CH_4 , serta laju pertumbuhan yang berbeda-beda (Rusmana dan Akhdiya 2009; Sagala 2009; Maisaroh 2009; Bintarti *et al.* 2014). Penggunaan bakteri pada penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan pengaruh yang baik terhadap penurunan emisi CH_4 . Adapun menurut Hahn *et*

al. (2012) melaporkan bahwa penggunaan kombinasi bakteri menunjukkan pengaruh yang lebih baik dibandingkan aplikasi bakteri tunggal.

Berdasarkan rata-rata laju emisi CH₄ yang dihasilkan bahwa terdapat pengaruh penanaman vegetasi terhadap emisi CH₄ yang dihasilkan oleh mikroba dalam tanah yang mendapatkan nutrisi tambahan dari sekresi eksudat akar (Vivanco *et al.*, 2009). Abichou *et al.* (2015) pada penelitiannya menjelaskan bahwa akar tanaman dapat meningkatkan aerasi tanah dengan cara memperbesar makropori akar. Hal ini akan meningkatkan difusi oksigen ke dalam tanah serta pasokan CH₄ ke tumbuhan. Akibatnya, potensi oksidasi metana dari tanah yang ditanami tumbuhan diperkirakan akan mengalami peningkatan dibandingkan dengan media yang tidak memiliki tanaman.

Menurut Ulumuddin (2019) bahwa fluks gas metana tidak hanya melalui permukaan sedimen, tapi mungkin ada jalur-jalur fluks yang lain yang belum terukur. Sementara menurut Arif *et al.* (2015), emisi CH₄ sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan mikro pada tanah seperti kelembaban tanah, suhu tanah, suhu udara, daya hantar listrik (DHL) tanah, pH tanah, dan redoks potensial tanah. Selain kondisi iklim lingkungan atau kondisi lingkungan mikro menurut Abichou *et al.* (2015), tipe tanah juga mempengaruhi muatan atau kandungan gas metana dalam tanah. Pada penelitian Abichou *et al.* (2015), dijelaskan bahwa peningkatan porositas tanah akan diisi oleh udara yang membatu oksigen menyebar lebih dalam ke dalam tanah, perbedaan perubahan porositas tanah ini tergantung juga pada kondisi lingkungan mikro yang akan dibahas lebih pada pembahasan selanjutnya.

Hubungan antara suhu tanah dengan fluks emisi CH₄ yang kecenderungan negatif ini menandakan bahwa semakin tinggi suhu tanah, jumlah emisi gas CH₄ yang teremisi semakin sedikit. Menurut Serranio-Silva *et al.* (2014), aktivitas optimal bakteri methanotrof ditemukan sebagian besar pada suhu berkisar antara ±25°C. Pada kisaran suhu tersebut bakteri methanotrof akan mengkonsumsi CH₄ di permukaan tanah sebagai sumber C dan energi. Pernyataan tersebut mendukung hasil yang di dapatkan pada M1, pada kisaran suhu ±25°C emisi yang terdeteksi semakin menurun akibat dari aktivitas bakteri methanotrof.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh aplikasi bakteri metanotrof terhadap laju penurunan emisi gas metan. Dari semua perlakuan isolate bakteri metanotrof yang diberikan, perlakuan bakteri metanotrof dengan kode MFe mampu menurunkan rata-

rata emisi CH₄ sebesar 305,449 mol/jam dan dianggap bahwa isolate tersebut adalah isolate yang paling baik diantara semua perlakuan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan kerjasama antara Universitas Muhammadiyah Sorong dengan GAW-BMKG Kota Sorong, dan didanai oleh program Matching-Fund (kedaireka), Gelombang V, Tahun Anggaran 2022, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi kepadanya kami mengucapkan terima kasih.

REFERENSI

- Abichou, T., Kormi, T., Yuan, L., Johnson, T., dan Francisco, E. 2015. Modeling the effects of vegetation on methane oxidation and emissions through soil landfill final covers across different climates. *Waste Management Journal* 36: 230-240.
- Arif, C., Setiawan, B. I., Widodo, S., Rudiyanto, -, Hasanah, N. A. I., & Mizoguchi, M. 2015. Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan untuk Menduga Emisi Gas Rumah Kaca dari Lahan Sawah dengan berbagai Rejim Air. *Jurnal Irigasi*, 10(1), 1.
- Banerjee, R., Jones, J.C & Lipscomb, J.D. 2019. Soluble Methane Monooxygenase. *Annual Review of Biochemistry*, 88 (1): 409-431. <https://www.doi.org/10.1146/annurev-biochem-013118-111529>
- Bodelier, P.L., Roslev, P., Henckel, T., Frenzel, P., 2000. Stimulation by ammonium based fertilizers of methane oxidation in soil around roots. *Nature* 403, 421–424.
- Boon, P.I. and A. Mitchell. 1995. Methanogenesis in the sediments of an Australian freshwater wetland: comparison with aerobic decay, and factors controlling methanogenesis, *FEMS Microbiology Ecology*, 18(3): 175–190.
- Chambers, L.G., S.E. Davis, T. Troxler, J.N. Boyer, A. Downey- Wall and L.J. Scinto. 2014. Biogeochemical effects of simulated sea level rise on carbon loss in an Everglades mangrove peat soil, *Hydrobiologia*, 726(1): 195–211.
- Datta, A., J.B. Yeluripati, D.R. Nayak, K.R. Mahata, S.C. Santra and T.K. Adhya. 2013. Seasonal variation of methane flux from coastal saline rice field with the application of different organic manures, *Atmospheric Environment*, 66: 114–122.
- Dean, J.F., J.J. Middelburg, T. Röckmann, R. Aerts, L.G. Blauw, M. Egger, M.S.M. Jetten, A.E.E. de Jong, O.H. Meisel, O. Rasigraf, C.P. Slomp, M.H. in't Zandt and A.J. Dolman. 2018. Methane Feedbacks to the Global Climate System in a Warmer World, *Reviews of Geophysics*, 56(1): 207–250.
- Graham DW, Korich DG, Leblanc RP, Sinclair NA, Arnold RG. 1992. Applications of a colorimetric plate assay for soluble methane monooxygenase activity. *Appl Environ Microbiology* 58:2231-2236.
- Honson, R. S. & Honson, T. E. 1996. Methanotrophic Bacteria. *Microbiological Reviews*, 60 (2), 439-471.
- Khider, M.L.K., Brautaset, T. & Irla, M. 2021. Methane monooxygenases: central enzymes in methanotrophy with promising biotechnological applications. *World J Microbiol Biotechnol* 37, 72 . <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03038-x>
- Kim, H., Park, Y.R., Jang, H., Yoo, H., Park, S.H., Lee, S.J., & Cho, U.S. 2019. MMOD-induced structural changes of hydroxylase in soluble methane monooxygenase. *Sci Adv* 5(10):59. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0059>
- Kirschke, S., P. Bousquet, P. Ciais, M. Saunois, J.G. Canadell, E.J. Dlugokencky, P. Bergamaschi, D. Bergmann, D.R. Blake, L. Bruhwiler, P. Cameron-Smith, S. Castaldi, F. Chevallier, L. Feng, A. Fraser, M. Heimann, E.L. Hodson, S. Houweling, B. Josse, P.J. Fraser, P.B. Krummel, J.F. Lamarque, R.L. Langenfelds, C. Le Quéré, V. Naik, S. O'doherty, P.I. Palmer, I. Pison, D. Plummer, B. Poulter, R.G. Prinn, M. Rigby, B.

- Ringeval, M. Santini, M. Schmidt, D.T. Shindell, I.J. Simpson, R. Spahni, L.P. Steele, S.A. Strode, K. Sudo, S. Szopa, G.R. Van Der Werf, A. Voulgarakis, M. Van Weele, R.F. Weiss, J.E. Williams and G. Zeng. 2013. Three decades of global methane sources and sinks, *Nature Geoscience*, 6(10): 813–823.
- Lofton, D.D., S.C. Whalen, A.E. Hershey. 2014. Effect of temperature on methane dynamics and evaluation of methane oxidation kinetics in shallow Arctic Alaskan lakes, *Hydrobiologia*, 721(1): 209–222.
- Martins, C.S.C., C.A. Macdonald, I.C. Anderson and B.K. Singh. 2016. Feedback responses of soil greenhouse gas emissions to climate change are modulated by soil characteristics in dryland ecosystems, *Soil Biology and Biochemistry*. 100: 21–32.
- Milich, L., 1999. The role of methane in global warming: where might mitigation strategies be focused? *Global Environmental Change*, 9(3): 179–201.
- Nonci., Maimuna, Baharuddin, Burhanuddin Rasyid, Pirman. 2015. Seleksi Bakteri Metanotrof (Pereduksi Gas emetan di Lahan Sawah) berdasarkan Aktivitas Enzim Methan Mo Emisi Mooksinase. 2005. *Jurnal Lingkungan Hidup*, 13 (2): 86-91. ISSN 1829-8907.
- Poffenbarger, H.J., B.A. Needelman, J.P. Megonigal. 2011. Salinity influence on methane emissions from tidal marshes, *Wetlands*, 31: 831–842.
- Schaefer, H., S.E.M. Fletcher, C. Veidt, K.R. Lassey, G.W. Brailsford, T.M. Bromley, E.J. Dlugokencky, S.E. Michel, J.B. Miller, I. Levin, D.C. Lowe, R.J. Martin, B.H. Vaughn and J.W.C. White. 2016. A 21st century shift from fossil-fuel to biogenic methane emissions indicated by $^{13}\text{CH}_4$, *Science*, 352(6281): 80–84.
- Septeyadi, Muhammad Dimas. 2019. Emisi Gas Metana (CH_4) Sedimen Keramba Situ Gintung dengan Penambahan Subtrat Kompetitif dan Subtrat Non- Kompetitif. [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah : Jakarta.
- Serranio-Silva, N., Sarria-Guzman, Y., Dendooven, L., & Luna-Guido, M. 2014. Methanogenesis and Methanotrophy in Soil: A Review. *Soil Science Society of China*, 24(3): 291-307.
- Sumani D.P., Ariyanto J. Syamsiyah, dan Mujiyo. 2009. Pengaruh Imbangan Pupuk Organik Dan Anorganik Terhadap Emisi Gas Metana (CH_4) Di Lahan Sawah Palur, Sukoharjo, Jawa Tengah. Surakarta: Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Surakarta.
- Vivanco, D. V. 2009. *Regulation and Function oof Root Exudates. Plant, Cell and Environmental*, 666-681.
- Theowidavitia, Brian., Mafrikhul Mutaqqin., Miftahudin dan Aris Tjahjoleksono. 2019. Analisis Metabolomik Pada Interaksi Padi dan Bakteri. *Jurnal Sumberdaya Hayati*, 5(1):18-24.
- Ulumuddin, Y.I. 2019. Metana: Emisi Gas Rumah Kaca dari Ekosistem Karbon Biru, Mangrove. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2): 359-372.
- Zhang, Y. and W. Ding. 2011. Diel methane emissions in stands of *Spartina alterniflora* and *Suaeda salsa* from a coastal salt marsh, *Aquatic Botany*, 95(4): 262–267.