

DOI: 10.32663/ja.v21i2.4190

**TEKNOLOGI REDUKSI EMISI GAS RUMAH KACA
PADA BUDIDAYA PADI SAWAH INDONESIA**
(*Greenhouse Gas Emission Reduction Technology in Indonesian Rice Cultivation*)

Risa Wentasari^{1*}, Irmalisa Sridanti²

¹Mahasiswa Program Doktor Agronomi dan Hortikultura Institut Pertanian Bogor. Jalan Meranti,
Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680 Jawa Barat, Indonesia

²Mahasiswa Program Studi Doktor Ilmu Pertanian Universitas Bengkulu. Jalan Jl. W.R Supratman,
Kandang Limun, Bengkulu 38371 Indonesia

*Corresponding author, Email: 78wentasari@apps.ipb.ac.id.

ABSTRACT

This research aims to provide information on the development of research results regarding technology in reducing greenhouse gas emissions in lowland rice cultivation in Indonesia. The method used is a narrative review with a limit of taking articles from 2003 – 2023. The results of the literature review of the articles obtained were grouped into five categories of technology types, namely low-emission varieties, land processing, soil fertility management, irrigation management, and use of greenhouse gas-reducing bacteria. The information obtained in each category is still limited and does not yet describe integrated cultivation technology in reducing greenhouse gases. From this research, it is recommended that research development related to low greenhouse gas varieties, land processing, recommendations for organic and inorganic fertilization, irrigation, and the use of greenhouse gas-reducing bacteria still need to be carried out to achieve the target of reducing greenhouse gas emissions in Indonesia.

Keywords: *emissions, greenhouse gases, rice*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan memberikan informasi perkembangan hasil penelitian mengenai teknologi dalam mereduksi emisi gas rumah kaca pada budidaya padi sawah di Indonesia. Metode yang digunakann adalah naratif review dengan batas pengambilan artikel rentang 2003-2023. Hasil penelian ini didapatkan informasi mengenai perkembangan artikel hasil penelitian terkait teknologi budidaya padi rendah emisi gas rumah kaca di Indonesia, dengan pengkatagorian teknologi budidaya meliputi: varietas rendah emisi, pengolahan lahan, pengelolaan kesuburan tanah, pengebudidaya meliputi manfaat bakteri pereduksi gas rumah kaca. Informasi yang didapatkan pada masing masing katagori masih sedikit dan belum menggambarkan teknologi budidaya terintegrasi dalam mereduksi gas rumah kaca. Pengembangan penelitian terkait perakitan dan indentifikasi varietas rendah gas rumah kaca, pengolahan lahan, rekomendasi pemupukan organik dan anorganik, pengairan dan pemanfaatan bakteri pereduksi gas rumah kaca masih perlu dilakukan guna mencapai target penurunan emisi gas rumah kaca di Indonesia

Kata kunci: emisi, gas rumah kaca, padi

PENDAHULUAN

Pemanfaatan lahan untuk pertanian secara global telah berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca. Fakta terbaru bahawa Indonesia merupakan negara ke enam penghasil emisi

gas rumah kaca global, dengan emisi sebesar 1.475,83 juta ton CO₂eq atau 3,11% dari emisi global, sektor pertanian menyumbang 10.46%. (<https://www.climatewachatdata.org>). Untuk mengurangi gas rumah kaca tersebut

DOI: 10.32663/ja.v21i2.4190

pemerintah menetapkan target penurunan emisi gas rumah kaca. Dalam dokumen *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC) Indonesia terbaru, pemerintah menaikkan target pengurangan emisi dari 29% menjadi 31,89% di tahun 2030 mendatang melalui kemampuan sendiri dan 41% menjadi 43,2% dengan bantuan internasional (Annur, 2022).

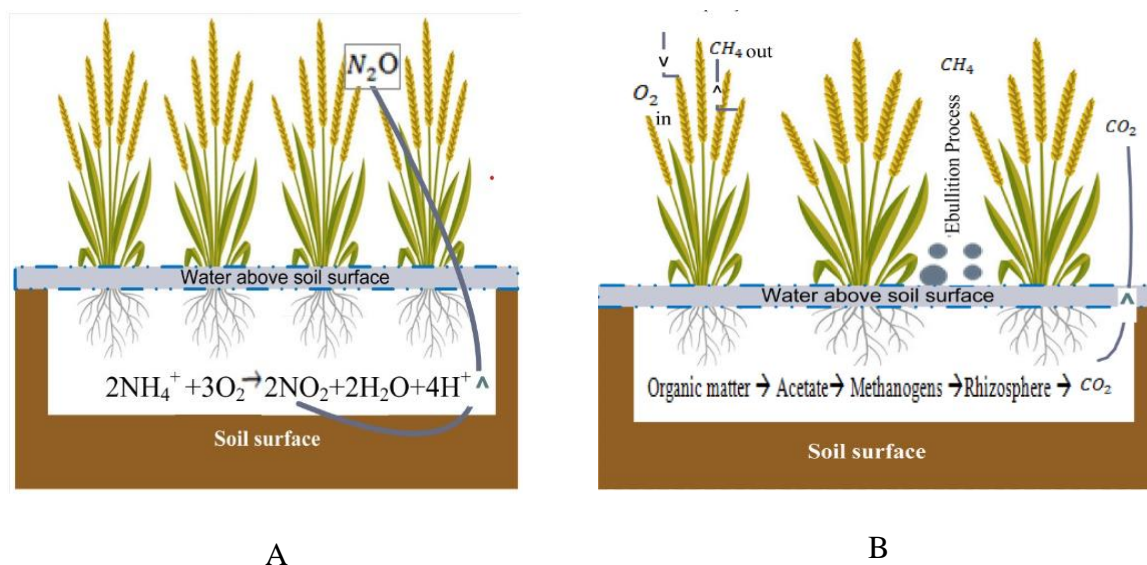
Pengurangan emisi juga mempertimbangkan sektor pembangunan, khususnya sektor pertanian dengan target utama adalah produksi pangan dan menjaga ketahanan pangan. Dalam produksi pangan dan menjaga ketahanan pangan yang terpenting adalah ketersediaan lahan pertanian. Dalam RPJMN 2020 – 2024 target penurunan emisi bidang pertanian, Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) telah berkomitmen untuk mengurangi emisi dari sektor lahan (pertanian termasuk didalamnya) sebesar 58,3% pada Tahun 2024 (low carbon development Indonesia, 2020). Gas karbon dioksida (CO₂), gas metana (CH₄) dan gas nitrogen oksida (N₂O) merupakan tiga jenis gas rumah kaca yang terkait aktivitas pertanian.

Dalam budidaya padi sawah terbentuknya gas rumah kaca (GRK) pada lahan padi sawah, khususnya gas metana (CH₄), terjadi melalui serangkaian proses biokimia yang terjadi dalam kondisi anaerobik (kurang oksigen). Faktor yang berpengaruh pada emisi gas rumah kaca yang terjadi dikarenakan: genangan air yang menyebabkan proses anaerobik didalam tanah, pembusukan bahan organik tanah, aktivitas bakteri metanogen yang

menghasilkan gas metana dari senyawa karbon melalui proses metanogenesis, pengangkutan metana ke atmosfer. Faktor Lingkungan: suhu tanah, tingkat genangan air, keberadaan nutrisi tertentu, dan jenis varietas padi yang ditanam. Pengelolaan praktik pertanian: sistem irigasi, penggunaan pupuk, dan perubahan tata guna lahan, dapat memengaruhi kondisi tanah dan produksi gas metana. Pengelolaan yang bijak dapat membantu mengurangi emisi gas metana dari lahan padi sawah. Ilustrasi terbentuknya gas rumah kaca dapat dilihat pada Gambar 1.

Populasi dunia diperkirakan akan mencapai 8,6 miliar pada tahun 2030, 9,8 miliar pada tahun 2050, dan 11,2 miliar pada tahun 2100. (United Nation, 2017). Dengan demikian kebutuhan pangan global diperkirakan akan meningkat secara signifikan. Kenaikan ini tidak hanya akan memengaruhi skala produksi beras, tetapi juga akan memberikan dampak signifikan terhadap negara-negara dengan konsumsi beras tinggi, termasuk Indonesia. Beras, sebagai bahan makanan pokok bagi setengah populasi dunia, juga mendominasi pola konsumsi pangan di Indonesia. Menurut data dari USDA 2023, Indonesia menempati peringkat keempat sebagai produsen dan konsumen beras terbanyak di dunia, dengan jumlah rata-rata produksi dan konsumsi pertahun berturut turut 34,36 juta ton dan 35,36 juta ton. Meskipun Indonesia memiliki posisi kuat dalam produksi beras, terdapat kekurangan sebesar 1,01 juta ton yang selama ini diatasi melalui kegiatan ekspor, dengan jumlah hingga September 2023 mencapai 1,79 juta ton beras (Subekti, 2023).

DOI: 10.32663/ja.v21i2.4190



Gambar 1. A. Ilustrasi proses terbentuknya emisi gas N_2O pada padi sawah dan B. Ilustrasi proses terbentuknya CO_2 dan CH_4 padi sawah (Sumber: Rajasekar, *et al.*, 2022)

Kondisi diatas mengindikasikan adanya tantangan dalam pemenuhan kebutuhan pangan dan ancaman perubahan iklim. Upaya untuk menghadapi hal tersebut diperlukan Langkah-langkah untuk meningkatkan produksi pangan dengan melakukan pertanian ramah lingkungan. Reduksi emisi gas rumah kaca pada lahan padi diperlukan agar dapat diperoleh produktifitas tinggi dan rendah sumbangan dampak negatif terhadap lingkungan. Komponen teknologi yang dapat meningkatkan produktivitas tanaman padi dan menurunkan emisi GRK meliputi penggunaan inokulan sebagai perlakuan benih, cara tanam jajar legowo, irigasi berselang (*intermittent irrigation*), penggunaan bahan organik (C/N rendah), dengan bantuan bio-dekomposer dan pemupukan berimbang, pengendalian hama terpadu dengan memanfaatkan pestisida nabati dan aplikasi pestisida setelah mencapai ambang kendali (Supriyo, 2022). Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi perkembangan hasil penelitian mengenai teknologi dalam mereduksi emisi gas rumah

kaca pada budidaya padi sawah di Indonesia yang dapat dijadikan landasan langkah selanjutnya dalam menghadapi tantangan global perubahan iklim dan pemenuhan kebutuhan pangan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif melalui *Narative Literature Review*. Penelitian ini menganalisis jurnal yang berkaitan dengan teknologi budidaya padi sawah untuk menurunkan emisi gas rumah kaca di Indonesia. Artikel yang dikumpulkan berupa jurnal, prosiding seminar, disertasi, tesis dan skripsi pada data base google scholar dengan batasan pencarian artikel dari tahun 2003-2023. Tahapan meliputi: pencarian sumber pustaka, menyelusuri sumber pustaka, membaca sumber pustaka, penyajian sumber pustaka.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknologi Budidaya Rendah Emisi

Penerapan teknik budidaya padi rendah emisi bertujuan untuk mengurangi dampak sektor pertanian terhadap perubahan iklim dan meningkatkan efisiensi sumber daya.

DOI: 10.32663/ja.v21i2.4190

Penelitian dan pengembangan teknologi budidaya padi rendah emisi telah banyak dilakukan. Hasil review literature hasil penelitian dikelompok menjadi lima kategori jenis teknologi yaitu varietas rendah emisi,

pengolahan lahan, pengelolaan kesuburan tanah, pengelolaan irigasi, pemanfaatan bakteri pereduksi gas rumah kaca.

Varietas Padi Rendah Emisi

Tabel 1. Hasil penelitian emisi yang dihasilkan oleh varietas padi sawah

Varietas	Emisi	Satuan	Sumber
Punggur	81	mg/m ² /hari	Handayani, 2006
Martapura	116,38		
Indragiri	250,81		
Sei Lalan	196,98		
Indra giri	85,82		
Pupuk kandang 5 ton/ ha		kg CO ₂ eq /musim	Mulyadi dan Wihardjaka, 2014
Inpari 1	1,544		
Inpari 6	4,179		
Ciherang	1,775		
Pupuk Kandang 30 ton/ ha			
Inpari 1	1,80		
Inpari 6	1,74		
Ciherang	2,37		
Inpari 14	295	kg CH ₄ /ha /musim	Wihardjaka dan Suwanto, 2015
Inpari 15	310		
Inpari 17	86		
Inpari 18	82		
Inpari 20	180		
Situ Bagendit	123		
Ciherang	150		
IR 64	108		
Banyuasin	171	kg/ ha	Supriatin, 2017
Batang Anai	196		
Batanghari	100		
Cisandane	218		
Dodokan	74		
IR 36	112		
IR 64	176		
Membramo	173		
Maros	117		
Muncul	127		
Punggur	182		
Tenggulang	121		
Way Apo Baru	154		

Pengembangan varietas padi rendah emisi CH₄ varietas padi rendah yaitu salah satunya melalui pengembangan padi Ciherang dan telah ditanam 80 % petani Indonesia. Hasil perhitungan capaian penurunan emisi kementerian pertanian 2019

tertinggi berasal dari padi rendah emisi ini. Ini sebagai bukti bahwa padi tersebut sudah banyak diimplementasikan di lapangan, hal ini disampaikan peneliti Penelitian Tanah Balitbang Kementan Dr Ir Al Dariah dalam diskusi Webinar Low Carbon Development

DOI: 10.32663/ja.v21i2.4190

Indonesia (LCDI) Inovasi Teknologi Berbasis Rendah Karbon di Bidang pertanian, Kamis (24/9/2020), (Masyrafina, 2020). Terjadi peningkatan total emisi gas rumah kaca dalam selang waktu 2002-2010 di kabupaten Minahasa. Total emisi gas rumah kaca yang dihasilkan pada penggunaan varietas Cihorang dibandingkan menggunakan varietas Cisadane (Mambu, 2012).

Penelitian mengenai varietas padi rendah emisi gas rumah kaca pada padi sawah masih sedikit, karena fokus dari pengembangan varietas selama ini lebih pada produktifitas tinggi dan ketahanan terhadap cekaman lingkungan. Pada tabel 1 merupakan hasil rangkuman hasil penelitian yang dihasilkan oleh varietas padi.

Pengolahan Lahan Budidaya

Besarnya emisi gas metana dari lahan padi dengan sistem tanpa olah tanah (TOT) lebih kecil dibandingkan dengan emisi metana pada sistem olah tanah sempurna (OTS) (Nahira, *et. al.*, 2005; Wihardjaka dan Nursyamsi, 2012; Ariani, 2017). Selanjutnya hasil penelitian Ariani *et al.*, (2017) bahwa TOT dengan menggunakan herbisida jenis Glifosat memiliki emisi gas rumah kaca total terendah yaitu 4,9 CO₂eq/ha/musim dibandingkan dengan pemakaian herbisida Paraquat (7,2 CO₂eq/ha/musim) dan tanpa herbisida (272,26 CO₂eq/ha/musim). TOT dengan penggunaan herbisida Gramoxon dan Touchdown masing menghasilkan emisi sebesar 129 dan 189,07 kg lebih rendah dibandingkan dengan OTS menghasilkan emisi metan 253,95 CH₄ ha⁻¹.

Pengelolaan Kesuburan Tanah

Dalam upaya reduksi gas rumah kaca dilakukan upaya dengan memanfaatkan secara bijak sumberdaya tidak dapat

diperbaharui dan dapat diperbaharui untuk produksi tanaman dengan menekan dampak negatif bagi lingkungan (Upland Project, 2022). Bahan organik merupakan salah satu input yang penting dalam pertanian berkelanjutan dan sebagai upaya dalam menekan emisi gas rumah kaca yang ditimbulkan dalam kegiatan budidaya. Kartika wati dan Nursyamsi (2013) melaporkan bahwa pada pemberian pemupukan NPK 50% menghasilkan emisi 4585 kg CO₂eq/ha/musim dan 100% menghasilkan emisi 5371 kg CO₂eq/ha/ musim lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pemupukan dengan emisi yang dihasilkan sebesar 3164 CO₂eq/ha/musim dan emisi ini dapat dikurangi dengan pemberian Nitrogen Inhibitor (NI), dimana pemberian NI pada pemupukan NPK 100 % menghasilkan emisi sebesar 5268 CO₂eq/ha/musim lebih rendah dibandingkan pemupukan NPK 100% tanpa NI (5371 kg CO₂eq/ha/musim).

Budidaya padi organik konvensional memiliki emisi CO₂ lebih tinggi yaitu 1,196 kg/m² dibandingkan pada budidaya padi organik SRI yaitu 0,729 kg/m². Tingginya total emisi pada padi organik dapat berpengaruh terhadap jumlah anakan padi organik konvensional yang lebih banyak yaitu sebanyak 74 anakan, sedangkan pada padi organik SRI sebanyak 67 anakan. Anjani, (2021). Pemberian bahan organik tanah memberikan pengaruh terhadap emisi gas rumah kaca yang dihasilkan pada budidaya padi. Pemberian jerami menghasilkan emisi CH₄ tertinggi 281 kg/ha/musim, diikuti dengan biokompos 197 kg/ha/musim, kompos 153 kg/ha/ musim, dan tanpa bahan organik 143 kg/ha/musim (Yunianti, 2020). Pemberian air dikendalikan dalam keadaan tidak tergenang (aerob) untuk mengaktifkan dan meningkatkan kelimpahan (biodiversitas)

DOI: 10.32663/ja.v21i2.4190

organisme tanah untuk mengurangi pemakaian pupuk anorganik dimanfaatkan kompos jerami beragen hayati, yang berguna mengaktifkan kekuatan biologis tanah (*beneficial soil organisms*). Dengan demikian pemberian bahan organik berupa kompos mengakibatkan produktivitas lahan meningkat, yang berhubungan erat dengan meningkatnya pertumbuhan dan hasil padi (Turmuktini dan Simarmata, 2011). Penggunaan pupuk kandang sapi 4 ton/ha + inokulum Azolla 2 ton/ha, pupuk Azolla 2,5 ton/ha + inokulum Azolla 2 ton/ha, dan pupuk kandang sapi 2,67 ton/ha + pupuk Azolla 1,67 ton/ha + inokulum Azolla 1,33 ton/ha dapat meningkatkan GKP dan menurunkan emisi CH₄ (Mujiono dan Hendro, 2013). Pemberian pupuk kandang takaran 30 ton/ha menghasilkan fluks CH₄ lebih rendah 5,7% pada 40 HST dan 55,0% pada 75 HST dibandingkan dengan pemberian pupuk kandang takaran 5 ton/ha. Sedangkan pemberian pupuk kandang 30 ton/ha meningkatkan fluks CO₂ sebesar 26,4% pada 40 HST dan 43,0% pada 75 HST dibandingkan dengan pemberian pupuk kandang 5 ton/ha (Mulyadi dan Wihardjaka, 2014).

Pengelolaan Irigasi

Penerapan PTT Petro padi sawah ramah lingkungan dapat meningkatkan hasil padi sebesar 30 persen diatas kontrol (hasil 3.62 ton.gkg/ha) dan menurunkan emisi gas methan (CH₄) sebesar 13,6% dibawah kontrol (76,05 kg CH₄/ha/ musim) menjadi 65.69 kg CH₄/ha/ musim (Supriyo, 2022). Pengelolaan air sangat erat kaitannya dengan emisi gas rumah kaca pada budidaya padi terutama pada kondisi an aerob yang terjadi saat tanaman dalam kondisi teganang. Emisi gas metan pada pemberian air tergenang menghasilkan gas metan yang tinggi sebesar 282,93

kg/ha/musim pada nonPTT dan 347,05 kg/ha/musim pada PTT, sedangkan untuk pengairan berkala atau intermitten menghasilkan emisi gas metan yang tendah yaitu 57, 87 kg/ha/musim nonPTT dan 78,33 kg/ha/musim PTT, emisi terendah ada pada penanaman padi secara SRI yaitu 60,73 kg/ha/musim (Hartini, 2008). Hal ini juga sejalan dengan penelitian Kartikawati dan Nursyamsi (2013) menunjukkan bahwa pada pengeloaan air tergenang memiliki total gas rumah kaca lebih besar 5628 CO₂eq/ha/musim dibandingkan dengan terputus atau intermitten 3472 CO₂eq/ha/musim. Emisi gas metan yang dihasilkan pada pada kondisi tergenang lebih tinggi pada varietas Ciherang, Inpari, dan IPB3S berturut 165, 42 mg/ha, 184,35 mg/ha, dan 194,67 mg/ha dibandingkan dengan sistem perngairan berselang (AWD) dengan 3 varietas yang sama berturut turut 94,51 mg/ha, 97,30 mg/ha, dan 136,44 mg/ha (Purmomo dkk, 2016). Penerapan pengelolaan air intermitten di Jombang menunjukkan bahwa jumlah emisi gas rumah kaca total rendah dibandingkan dengan pengairan konvensional. Pada ke 3 wilayah irigasi yaitu TB1 Ki, TB2 Ki dan TL 4 Ka menunjukkan nilai emisi total berturut turut 2,98 CO₂eq/ha/musim, 2,78 CO₂eq/ha/musim, dan 8,45 CO₂eq/ha/musim lebih rendah dengan pengairan tradisonal 8,84 CO₂eq/ha/musim (Utaminingsih dan Hidayah, 2012). Hasil penelitian Naharia (2005) menunjukkan hal yang serupa dimana kondisi tergenang memiliki emisi lebih tinggi 303.08 dibandingkan dengan irigasi berselang (132,31) dan pengairan macak macak (137,56).

Sumber air dalam budidaya padi sawah juga memberikan pengaruh terhadap emisi gas rumah kaca yang dihasilkan terutama gas

DOI: 10.32663/ja.v21i2.4190

metana yang terbentuk. Dengan demikian pengaturan penggunaan air menjadi hal yang penting untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Budidaya padi pada lahan tadah hujan lebih mampu menurunkan emisi gas rumah kaca 37-86% dibandingkan dengan lahan sawah irigasi (Najamuddin, 2014)

Pemanfaatan Bakteri Pereduksi Emisi Gas Rumah Kaca

Metana secara alamiah terbentuk dari degradasi bahan organik melalui reaksi biokimia yang kompleks oleh bakteri penghasil metana (methanogen), bakteri ini hanya hidup dalam kondisi anaerob (tergenang air). Apabila lahan tidak tergenang air (aerob), maka bakteri penghasil metana tidak dapat hidup dan diganti oleh bakteri yang dapat mengonsumsi metana (methanotroph). (Najamuddin, 2014). Peningkatan fluk metana pada sistem tabela terjadi sebagai akibat ketersediaan air tanah yang menguntungkan bakteri metanogen saat pertumbuhan tanaman setelah fase anakan aktif. (Wihardjaka, 2011). Pemberian pupuk organik juga berpengaruh pada bakteri pada lahan sawah dalam pemberian pupuk kandang akan memperbaiki produktivitas tanah dalam jangka panjang, sehingga pemberian pupuk kandang dosis rendah lebih menguntungkan bagi proses metanogenesis. (Mulyadi dan Wihardjaka, 2014).

Kehadiran bakteri metanotrof pada daerah rhizosfer padi sangat dibutuhkan untuk mereduksi metan yang dihasilkan oleh bakteri metanogen, sehingga tidak terjadi emisi gas metan ke atmosfer. Pengujian mengenai bakteri ini akan sangat berkontribusi dalam memperbaiki teknik budidaya padi yang selama ini mengakibatkan tingginya emisi gas metan. Hasil penelitian diperoleh 52 koleksi isolat bakteri, berdasarkan reaksi gram terseleksi 22 isolat gram negative dan

berdasarkan analisis kolorimetrik diperoleh 10 isolat menghasilkan enzim metan monooksigenase (Nounci dkk., 2015). Percobaan dalam pot pada tanaman padi menunjukkan bahwa aplikasikan *bacteria cable* menurunkan 93% emisi CH₄. (Scholz *et al.*, 2020). Konsorsium bakteri R3 (*Amorphomonas oryzae* dan *Bacillus aryabhatai*) mampu menghasilkan total emisi CH₄ terendah, sedangkan konsorsium R1 (*Amorphomonas oryzae*, *Ciceribacter sp*, *Bordetella petrii*), R2 (*Amorphomonas oryzae*, TH6, *Ciceribacter sp*) memberikan pengaruh yang nyata terhadap penurunan emisi N₂O di lahan padi sawah (Adriany dkk, 2022). Perlakuan bakteri metanotrof (MFe) mampu menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 305,449 mol/jam dan diduga sebagai isolate terbaik yang diberikan (MFb, MFc, dan MFd) (Rosalina, *et.al.*, 2023).

KESIMPULAN

Hasil review ini didapatkan informasi mengenai hasil penelitian mengenai teknologi budidaya padi rendah emisi gas rumah kaca di Indonesia meliputi kategori: varietas rendah emisi, pengolahan lahan, pengelolaan kesuburan tanah. Pengelolaan irigasi, pemanfaatan bakteri pereduksi gas rumah kaca. Informasi yang didapatkan pada masing masing katagori masih sedikit dan belum menggambarkan teknologi budidaya terintegrasi dalam mereduksi gas rumah kaca.

Saran

Pengembangan penelitian terkait perakitan dan indentifikasi varietas rendah gas rumah kaca, pengolahan lahan, rekomendasi pemupukan organik dan anorganik, pengairan dan pemanfaatan bakteri pereduksi gas rumah kaca masih perlu dilakukan guna mencapai target penurunan emisi gas rumah kaca di Indonesia.

DOI: 10.32663/ja.v21i2.4190

DAFTAR PUSTAKA

- Adriani T.A., Anwar, S., Akhdiya A, Wihardjaka A, Sutriadi M.T. (2022) Aplikasi konsorsium bakteri sebagai upaya mitigasi penurunan emisi gas rumah kaca di lahan sawah. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 46(1), 61-73. DOI: <http://dx.doi.org/10.21082/jti.v46n1.2022.61-73>
- Anjani D. (2020). Emisi Gas Karbondioksida (CO₂) Dari Budidaya Padi Organik. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Annur M.C. (2022). *Indonesia Naikkan Target Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Jadi 31,89% pada 2030*. Databoks. <https://databoks.katadata.co.id>
- Ariani M., Yulianingrum H., Setyanto P. (2017). Emisi gas rumah kaca dan hasil padi dari cara olah tanah dan pemberian herbisida di lahan sawah MK 2015. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(2),74-82. <https://doi.org/10.14710/jil.15.2.74-82>.
- Handayani F.W. (2006). Emisi Metana Beberapa Varietas Padi Pada Beberapa Padi Pasang Surut. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor.
- Hartini. (2008). Identifikasi Emisi Metan (CH₄) Pada Berbagai Sistem Pengelolaan Tanaman Padi di Lahan Pertanian. *Sripsi*. Institut Pertanian Bogor.
- Kartikawati R dan Nursyamsi. (2013). Pengaruh pengairan, pemupukan, dan penghambat nitrifikasi terhadap emisi gas rumah kaca di lahan sawah tanah mineral. *Jurnal Ecolab*. 7 (2).49 – 108. DOI: 10.20886/jklh.2013.7.2.93-107
- Low Carbon Development Indonesia (LCDI). (2020). *Pertanian*. <https://lcdi-indonesia.id/grk-pertanian>
- Mambu M.S. (2012). Pendugaan emisi metana pada sistem pengelolaan tanaman padi di kabupaten Minahasa. *Jurnal Bioslogos*. 2 (1). DOI: <https://doi.org/10.35799/jbl.2.1.2012.378>
- Masyrafina I. (2020). *Padi Rendah Emisi Jadi Unggulan Pertanian Rendah Karbon*. Harian Republika. <https://ekonomi.republika.co.id>
- Mujiono, Hendro B. (2013). Emisi Metana Pada Lahan Padi Sawah Organik di Sragen. *Ilmu Tanah*. *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada.
- Mulyadi, A. Wihardjaka A. (2014). Emisi gas rumah kaca dan hasil gabah dari tiga varietas padi pada lahan sawah tadah hujan bersurjan. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 33 (2). DOI: <https://doi.org/10.21082/jpntp.v33n2.2014.p%p>
- Naharia O., Saeni M.S., Sabihan S., dan Burhan H. (2005). Teknologi pengairan dan pengolahan tanah pada budidaya padi sawah untuk mitigasi gas metana (CH₄). *Berita Biologi*, 7(4) DOI: <https://doi.org/10.14203/beritabiologi.v7i4.880>
- Najamuddin M., (2014). Strategi mitigasi emisi gas metan pada budidaya padi sawah. *Jurnal Agribisnis*, 8 (2), 171-188. DOI: <https://doi.org/10.15408/aj.v8i2.5136>
- Nonci M. Baharuddin B., Rasyid B., and Pirman P. 2015. Seleksi bakteri methanotrof (pereduksi emisi gas metan di lahan sawah) berdasarkan aktivitas enzim methan monooksigenas. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 13 (2), 86-91. DOI: <https://doi.org/10.14710/jil.13.2.87-91>
- Pramono A., Adriani T., Setyanto, P. (2016). Pengaruh sistem pengelolaan air dan varietas terhadap hasil padi dan emisi gas rumah kaca di lahan tadah hujan.

DOI: 10.32663/ja.v21i2.4190

- Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 1(1), 28-37.
<https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/jhpk/article/view/535>
- Rajasekar P., Selvi J.A.V. (2022). Sensing and analysis of greenhouse gas emissions from rice fields to the near field atmosphere. *Sensors*, 22(11),4141. DOI: 10.3390/s22114141
- Rosalina F., Sukmawati S., Ponisri P., Farida A., Satria B., Syafaati A.D., Nuryanto N. (2023). Potensi bakteri metanotrof sebagai pereduksi emisi metan pada lahan pertanian. *Bioscience*, 7(1), 23-30. DOI: 10.24036/0202371120929-0-00
- Vincent V. Scholz V.V., Meckenstock R.U., Nielsen L.P., Risgaard-Petersen N. (2020). Cable bacteria reduce methane emissions from rice-vegetated soils. *Nature Communications*, 11. 1878. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15812-w>
- Subekti R. (2023). *Impor Beras Indonesia Capai 1,79 Juta Ton, Paling Banyak dari Thailand*. Republika. <https://ekonomi.republika.co.id/berita/s2m9wc490/>
- Supriatin S.L., (2017). Penyesuaian musim tanam, jenis varietas, dan teknik budidaya tanaman padi terkait mitigasi emisi metana. *J. Manusia & Lingkungan*, 24(1),1-10. DOI: 10.22146/jml.23077
- Supriyo A., (2022). Inovasi pertanian ramah lingkungan terhadap produktivitas padi sawah. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 4,153-161 DOI:[10.30595/pspfs.v4i.496](https://doi.org/10.30595/pspfs.v4i.496)
- Turmuktini T., Simarmata T., (2011). Peranan kelimpahan mikroba tanah dalam sistem budidaya intensifikasi padi aerob terkendali berbasis organik (IPAT-BO) untuk peningkatan pertumbuhan dan produktivitas padi di indonesia. berk. *Penel. Hayati*. Edisi Khusus, 4. 37–42.
- Upland project, (2022). *Memahami Lebih Jauh Konsep Pertanian Berkelanjutan*. Dirjen Sarana dan Prasarana Pertanian. Kementan.<https://upland.psp.pertanian.go.id/public/artikel>
- USDA. (2023). *Rice Sector at a Glance.Economic Research Servis US*. Departement Of Agronomy. <https://www-ers-usda.gov>.
- Utaminingsih W, Hidayah S. (2012). Mitigasi emisi gas rumah kaca melalui penerapan irigasi intermitten di lahan sawah beririgasi. *J Irig*, 7(2),132. DOI:10.31028/ji.v7.i2.132-141
- Wihardjaka A, (2011). Pengaruh sistem tanam dan pemberian jerami padi terhadap emisi metana dan hasil padi ciherang di ekosistem sawah tadah hujan. *Pangan*, 20(4),357-364. DOI: <https://doi.org/10.33964/jp.v20i4.180>
- Wihardjaka A. dan Nursyamsi, D. (2012). Pengelolaan tanaman terpadu pada padi sawah yang ramah lingkungan. *Pangan*, 21(2),185-196.
- Wihardjaka A., Suwanto, S. (2015). Emisi gas rumah kaca dan hasil gabah dari beberapa varietas padi unggul tipe baru di lahan sawah tadah hujan di Jawa Tengah. *Ecolab* 9 (1), 1-46. DOI: 10.20886/jklh.2015.9.1.9-16
- Yunianti FI, (2020). Pengaruh pemberian variasi bahan organik terhadap peningkatan produksi padi dan penurunan emisi metana (CH₄) di lahan sawah tadah hujan. *Ecolab* 14(2), 79-90.