

Analisis Strategi dalam Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca pada Budidaya Padi di Indonesia

Audya Nurul Fathia, Dr. Adi Hadiano, SP, M.Si., Fitria Dewi Raswatie, SP, M.Si.

Department of Resource and Environmental Economics, Faculty of Economics and Management, IPB University, Indonesia

*Correspondence to: audya.fathia@gmail.com

Abstrak: Isu perubahan iklim sedang menjadi masalah utama bagi dunia. Meningkatnya suhu rata-rata yang terjadi disebabkan adanya peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) dari adanya berbagai aktivitas manusia. Dalam dokumen NDC hasil dari Paris Agreement, Indonesia berkomitmen untuk mengurangi adanya timbulan emisi sebesar 40% melalui bantuan internasional dan 29% dengan usaha sendiri atau di bawah Business as Usual (BAU) Indonesia sebagai negara agraris mengalami pertumbuhan ekonomi dari sektor pertanian mencapai hingga 29,96% tenaga kerja Namun pertumbuhan ini diimbangi dengan timbulnya permasalahan lingkungan, terutama hasil emisi gas rumah kaca (GRK) dari aktivitas pertanian, khususnya pada aktivitas budidaya padi. Tren produksi yang terus meningkat juga diiringi dengan tingginya emisi yang dihasilkan. Disisi lain produksi padi harus terus ditingkatkan untuk memenuhi kebutuhan pangan masyarakat Indonesia. Mengingat beras yang berasal dari tanaman padi merupakan makanan pokok sebagian besar masyarakat Indonesia. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya yang dilakukan agar ketersediaan padi tercukupi dengan tingkat emisi yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi tingkat emisi GRK yang dihasilkan dari proses budidaya padi. Penelitian ini menggunakan metode literatur revidi terhadap sumber pustaka berorientasi. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi tingkat emisi dari budidaya padi menggunakan analisis Studi Literatur dan diperoleh hasil diantaranya adalah pengaturan air (rezim air) penggunaan teknologi irigasi berselang, Teknik All Wheel Drive (AWD), pemilihan musim tanam, pemilihan Teknik budidaya ramah lingkungan (Climate Smart Agriculture), serta penggunaan pupuk dan bahan organik dengan bijak.

Kata Kunci : GRK, NDC, Studi Literatur

Abstract: Rice cultivation activities are one of the largest contributors to greenhouse gas (GHG) emissions in the form of methane gas. Rice is a plant that produces rice as a staple food consumed by most people in Indonesia. As the population increases, the demand for rice production and consumption will also increase. This will also continue to increase the concentration of GHGs in Indonesia. The increasing concentration of GHGs has a negative impact on the environment in the form of climate change triggered by an increase in surface temperature. In an effort to address the threat of climate change, Indonesia is committed to reducing GHG emissions through the NDC (National Determine Contribution) document prepared at the Paris Agreement in 2015. Therefore, efforts are needed to reduce GHG emissions from rice cultivation activities while still considering the production level of rice in Indonesia. This consideration is considering that the main food of the Indonesian people comes from rice plants must be met. Therefore, alternative efforts are needed that can reduce GHG emissions but still maintain increased rice production. Alternative efforts that can be made to reduce emission levels from rice cultivation include the use of low-emission cultivation techniques and water management. This strategy is a priority because it can be adapted by farmers by considering the social and cultural conditions of farmers.

Keywords: GRK, NDC, Literature Review

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris dengan sebagian besar penduduknya bekerja di sektor pertanian, sebesar 29,96% dari total tenaga kerja (BPS 2022). Kontribusi sektor pertanian terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) terus meningkat, mencapai 1.435.853,30 miliar rupiah pada tahun 2022 (BPS 2023). Hal ini menunjukkan sektor pertanian memiliki potensi besar dalam meningkatkan pertumbuhan ekonomi Indonesia. Meskipun peran sektor pertanian sangat penting dalam pertumbuhan ekonomi Indonesia, terdapat trade off berupa emisi gas rumah kaca (GRK) dari aktivitas pertanian yang berdampak negatif bagi lingkungan (Sasmita et al. 2021).

Efek rumah kaca mengacu pada situasi di mana panas matahari yang masuk ke atmosfer diserap oleh gas-gas di atmosfer, kemudian dipancarkan kembali melalui radiasi inframerah. Gas-gas ini, dikenal sebagai GRK atau gas rumah kaca (KLHK 2022). Adanya GRK membuat suhu bumi menjadi hangat dan dapat dihuni oleh makhluk hidup. Namun, peningkatan konsentrasi GRK dalam jangka waktu yang panjang dapat

menyebabkan perubahan iklim dengan meningkatnya suhu rata-rata bumi (Ardhitama dan Siregar 2017). Meskipun fenomena gas rumah kaca bersifat alami, aktivitas manusia (antropogenik) menyebabkan peningkatan GRK terjadi lebih cepat. Peningkatan tersebut ditandai dengan suhu yang meningkat signifikan pada rentang 2011-2020, yang mana lebih tinggi 1,09°C. dibandingkan awal masa revolusi industri 1850-1900 (IPCC 2021). Peningkatan GRK yang berkelanjutan akan berdampak pada peningkatan suhu global dan perubahan iklim (Patrianti et al. 2020). Hal ini menjadi penyebab dominan perubahan iklim dengan probabilitas 95% (IPCC 2006). Untuk mengatasi ancaman ini, Indonesia bergabung dalam Perjanjian Paris di tahun 2015 dengan target pengurangan emisi GRK sebesar 29% dari BAU atau 41% dengan bantuan keuangan internasional pada 2030 (KLHK 2022). Strategi implementasi NDC mencakup lima sektor, termasuk pertanian (Nur Masripatin et al. 2017).

Menurut laporan Emission Gap Report UNEP 2022, Indonesia adalah negara kelima penghasil emisi GRK terbesar, termasuk emisi perkapita sebesar 7,5 tCO₂e, setara dengan Brasil dan di bawah AS, Rusia, dan China. Sektor pertanian, terutama produksi padi, menjadi penyumbang terbesar kedua setelah emisi N₂O langsung dari tanah (KLHK 2022). Pemerintah menargetkan penurunan emisi GRK sektor pertanian sebesar 0,32% atau 9 Mton CO₂e (KLHK 2022). Aktivitas budidaya padi adalah salah satu penyumbang terbesar dari emisi gas metan (CH₄) dan Nitro oksida (N₂O). Sawah yang ditanami padi diperkirakan menyumbang emisi sebesar 20-120 juta ton CH₄ per tahun ke atmosfer. Total emisi tersebut diestimasi berdasarkan luasan lahan sawah di dunia yang digunakan untuk produksi padi dunia, yaitu sekitar 10% dari penggunaan lahan pertanian di dunia (Panjaitan et al. 2015). Di sisi lain, padi merupakan komoditas pertanian yang sangat penting bagi Indonesia. Komoditas padi merupakan komoditas strategis yang berperan penting bagi perekonomian nasional dan ketahanan pangan, dimana sebagian besar masyarakat Indonesia mengonsumsi tanaman padi yang telah diolah menjadi beras sebagai pemenuhan kebutuhan pokok utama (Elizabeth et al 2022). Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, kebutuhan beras diperkirakan akan terus meningkat (Waskito 2020). Dengan demikian, peningkatan gas rumah kaca dari aktivitas produksi padi juga akan terus bertambah.

Berdasarkan hal tersebut, upaya yang dapat dilakukan untuk menurunkan emisi GRK dalam aktivitas budidaya padi penting dilakukan. Mengingat masalah GRK merupakan masalah global yang sangat berdampak buruk pada lingkungan. Namun di sisi lain produksi padi harus tetap ditingkatkan karena padi merupakan komoditas strategis sebagai bahan pangan utama sebagian besar masyarakat Indonesia. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terhadap upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi GRK dalam aktivitas budidaya padi, namun tetap memperhatikan produktivitas padi itu sendiri.

METODE

Penelitian analisis upaya yang dilakukan untuk mengurangi emis GRK dalam aktivitas budidaya padi dengan tetap memperhatikan produktivitas padi dilakukan menggunakan analisis kuantitatif. Data yang digunakan adalah data sumber pustaka berorientasi akademik tentang upaya pengurangan emisi GRK dalam aktivitas budidaya padi. Data tersebut dianalisis menggunakan metode literatur reuiu.

Literature Review

Metode literatur review merupakan metode yang dilakukan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menyintesis karya – karya hasil penelitian dan hasil pemikiran yang sudah dilakukan oleh para peneliti dan praktisi sebelumnya (Rahayu et al 2019). Metode ini mengkaji pengetahuan, gagasan, atau temuan yang terdapat pada sebuah literatur berorientasi akademik dan merumuskan kontribusi teoritis untuk topik tertentu (Copper 2010). Terdapat beberapa langkah dan tahapan yang akan dilakukan dalam melakukan metode literature review. Tahapan tersebut diantaranya adalah (1) mendefinisikan ruang lingkup topik yang akan di reuiu, (2) mengidentifikasi sumber yang relevan, (3) merevie literatur, (4) menulis reuiu, dan (5) mengaplikasikan literatur pada studi yang akan dilakukan (Carnwell 2001).

Untuk dapat menganalisis strategi kebijakan yang tepat, metode ini membutuhkan sumber - sumber pustaka berorientasi akademik seperti buku, jurnal, penelitian baik tingkat nasional maupun internasional. Sumber pustaka yang dicari harus relevan dengan topik penelitian yang dilakukan, sehingga literatur review dapat tersusun secara sistematis. Adapun tujuan dari sistematis review adalah untuk memberikan review dan analisis selengkap mungkin dari semua studi sumber pustaka berorientasi akademik terkait pengetahuan dan gagasan dari pakar, peneliti, dan praktisi yang expert untuk merumuskan kontribusi teoritis yang relevan terhadap topik yang akan diteliti (Cronin et al 2008). Sistematis literatur review dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa kriteria seperti (1) formulasikan pertanyaan dan tujuan dalam penelitian, (2) gunakan

kriteria inklusi dan eksklusi, dan (3) analisis dan nilai kualitas literatur (Parahoo 2006). Kriteria inklusi dan eksklusi yang digunakan terdapat pada Tabel 5. Pencarian sumber menggunakan keyword emisi GRK dan produksi padi menggunakan Boolean operator (AND, OR, dan NOT).

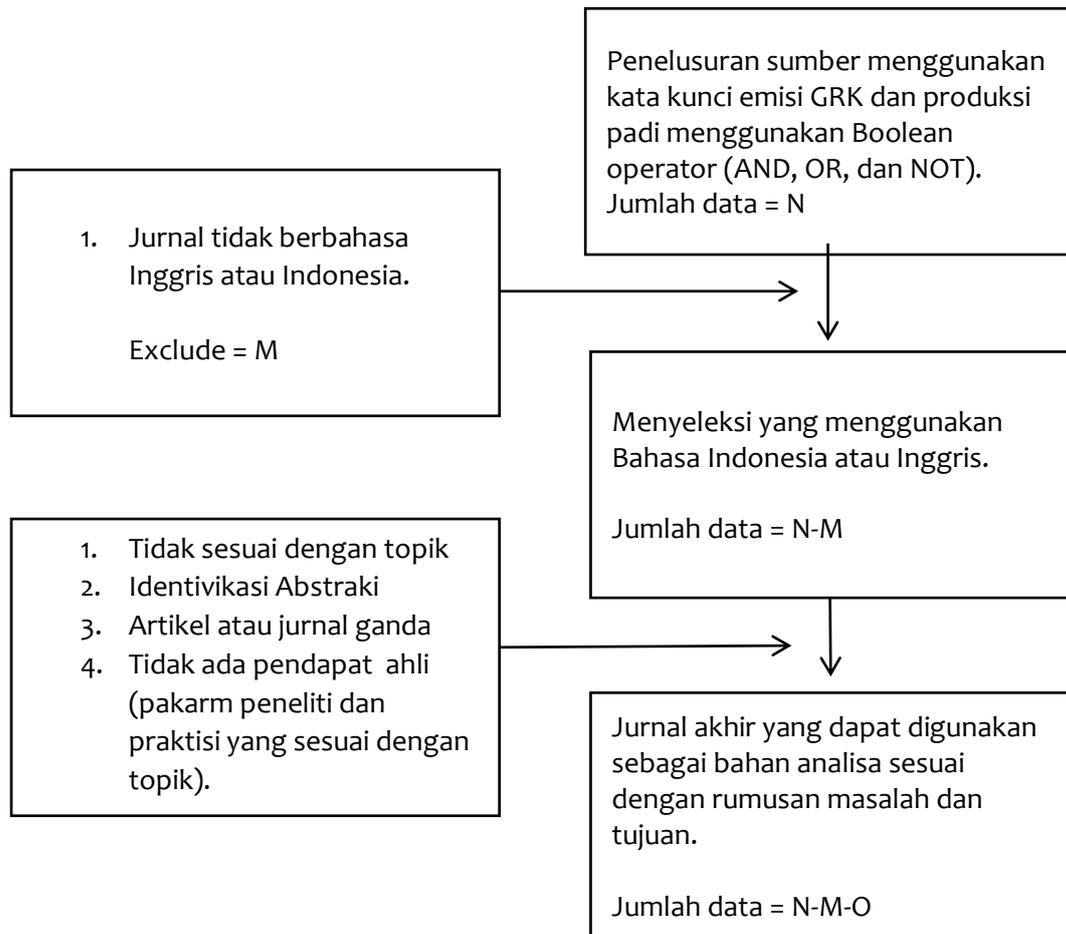
Kata kunci yang digunakan dalam penelitian ini antara lain emisi, gas rumah kaca, tanaman padi, budidaya padi, langkah, upaya, mitigasi, dan pengurangan emisi GRK. Semua kata kunci tersebut digunakan baik secara kata per kata maupun gabungan kata menggunakan Boolean operator (dan, atau, dan tidak). Selain itu semua sinonim kata kunci tersebut baik dalam Bahasa Indonesia maupun Bahasa Inggris juga digunakan untuk memperkaya sumber pustaka berorientasi akademik yang dapat digunakan untuk membantu penelitian ini. Kriteria yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kriteria inklusi dan eksklusi dalam sistematis literatur review

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Bahasa	Bahasa Indonesia, Bahasa Inggris	Diluar Bahasa Indonesia dan Inggris
Tipe Studi dan Publikasi	Semua tipe studi dan publikasi penelitian	-
Jenis Literatur	Literatur akademik atau ilmiah yang membahas mengenai gas GRK atau aktivitas produksi padi	Literatur non akademik atau ilmiah dan literatur yang tidak membahas GRK atau aktivitas produksi padi
Populasi	Pakar, peneliti, dan praktisi dalam bidang gas GRK atau aktivitas budidaya padi	Orang yang tidak ahli dalam bidang gas GRK atau aktivitas budidaya padi

Dari sumber-sumber literatur yang telah didapatkan, tahap selanjutnya adalah melakukan review terhadap literatur tersebut. Review dibuat dengan cara mengevaluasi isi dari sumber yang sudah didapatkan kemudian dibuat summary terhadap isi sumber-sumber tersebut. Hasil summary dan evaluasi terhadap sumber tersebut dipergunakan sepenuhnya untuk menulis literatur review. Literatur review tersebut dibuat dan dianalisis berdasarkan beberapa poin yaitu (1) kesamaan, (2) ketidaksamaan, (3) pandangan atau sudut pandang, (4) perbandingan, dan (5) ringkasan. Dan terakhir hasil literatur review tersebut dianalisis dan diaplikasikan untuk studi yang dilakukan yaitu menganalisis dan memberikan rekomendasi strategi kebijakan yang dapat

dilakukan dalam upaya mengurangi emisi GRK dari aktivitas pertanian produksi padi. Alur proses literatur review dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Alur proses literatur review

HASIL DAN PEMBAHASAN

Emisi GRK pada aktivitas budidaya padi dapat dikurangi dengan melakukan beberapa langkah strategi. Langkah tersebut dapat dilakukan untuk mengurangi emisi GRK yang dihasilkan namun tetap mempertimbangkan produktivitas dari budidaya padi tersebut. Sudah terdapat banyak penelitian terdahulu yang membahas topik terkait emisi gas rumah kaca dan budidaya padi serta upaya mitigasi emisi GRK dari aktivitas budidaya padi. Pada penelitian ini akan melakukan analisis literature review terhadap empat puluh sumber pustaka berorientasi akademik. Berdasarkan analisis review yang dilakukan kemudian didapatkan beberapa alternatif strategi yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi GRK dalam aktivitas budidaya padi.

Pemilihan Teknik Budidaya Rendah Emisi

Teknik budidaya merupakan salah satu faktor adanya emisi GRK yang dihasilkan dari aktivitas budidaya padi (Supriatin 2017). Teknik budidaya padi yang biasanya dilakukan dengan cara menggenangkan air dengan tujuan mengurangi pertumbuhan gulma (pesaing tanaman) ternyata menimbulkan masalah baru yaitu menghasilkan emisi CH₄ ke atmosfer. Hal tersebut timbul karena lapisan tapak bajak (hard pen) yang bersifat kedap air sehingga air hujan tidak dapat terinfiltrasi ke lapisan tanah yang lebih dalam (Supriatin 2017). Oleh karena itu pemilihan teknik budidaya padi yang berorientasi pada mitigasi pengurangan emisi GRK penting untuk dilakukan. Beberapa teknik budidaya yang dapat dilakukan adalah teknik budidaya dengan memperhatikan manajemen pengelolaan air dengan sistem pengairan berselang dan Alternate Wetting and

Drying (AWD), System of Rice Intensification (SRI), Climate Smart Sgriculture (CSA), dan Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT).

I. Manajemen Pengelolaan Air

Teknik budidaya padi, terutama rezim air atau pengelolaan air pada sawah, menjadi strategi utama pengurangan emisi GRK yang paling banyak direkomendasikan. Hal ini dikarenakan semakin tinggi genangan air akan semakin tinggi pula emisi CH₄ yang dihasilkan (Treenbert 1994). Tingginya genangan air menjadi salah satu faktor yang menentukan besarnya emisi CH₄. Di sisi lain tingkat genangan air dalam lahan sawah tidak berpengaruh pada produksi padi, hal ini justru berpengaruh pada tingkat emisi CH₄ yang dihasilkan (IPCC 2004). Pengaturan kondisi air ini sangat menentukan tinggi rendahnya fluks CH₄ yang dapat membuat CH₄ yang dihasilkan optimum (Pramono et al 2017).

Mengubah cara pemberian air juga menjadi penentu besar kecilnya emisi CH₄ yang dihasilkan. Pemberian air secara intermitten, berselang, atau tidak kontinyu menghasilkan emisi CH₄ yang lebih kecil jika dibandingkan dengan pemberian air secara terus menerus. Hal tersebut dikarenakan pemberian air secara terus menerus menyebabkan genangan air dalam lahan sawah diam atau statis. Air yang statis membuat kondisi lahan sawah menjadi anaerob yang sesuai dan mendukung terbentuknya gas metana (Supriatin 2017). Kondisi lahan anaerob ini sangat ideal bagi aktivitas dan perkembangan bakteri pembentuk CH₄. Pada kondisi sebaliknya, pada lahan kering (aerob) ketersediaan oksigen meningkat sehingga aktivitas bakteri pembentuk CH₄ menjadi terhambat (Kartikawati 2013). Adanya perubahan dalam cara pengairan pada lahan padi ini dapat mengurangi emisi CH₄ yang dihasilkan hingga 78% (Setyanto 2008). Aplikasi teknik pengairan sudah banyak diterapkan di berbagai wilayah Asia Tenggara dan sudah terbukti memberikan dampak positif bagi penurunan emisi GRK yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa adanya perubahan pada teknik pengairan tersebut memiliki potensi yang baik dalam pengurangan tingkat emisi Metana CH₄ dari lahan padi (Yagi et al 2019).

A. Pengairan Berselang (Intermittent Irrigation)

Banyak penelitian yang telah membuktikan bahwa pengairan air secara intermitten dapat menurunkan emisi GRK yang dihasilkan dari adanya aktivitas budidaya padi. Metode sistem irigasi berselang atau intermitten irrigation adalah suatu konsep pengaturan kondisi air di lahan. Pada sistem irigasi ini, lahan diatur pada kondisi tergenang dan kering secara bergantian sesuai dengan kondisi lahan dan fase pertumbuhan (Regazzoni et al 2013). Kondisi lahan tersebut harus diperhatikan berkaitan dengan sumber air yang digunakan. Air diberikan satu hari basah dan lima hari kering, kecuali pada saat pembungaan dan pemasakan biji (BPTP Sumut 2004).

Penelitian Utaminingsih dan Hidayah 2012 menunjukkan bahwa pemberian air secara intermitten berpotensi menurunkan emisi GRK sebesar 34,9%. Penelitian Safitri 2018 menunjukkan hal yang sama yaitu pengairan secara intermitten mampu memitigasi emisi GRK yang dihasilkan sebesar 56,3%. Selain mengurangi emisi metana yang dihasilkan, teknik budidaya dengan pengairan berselang atau intermitten juga dapat meningkatkan produktivitas padi yang dihasilkan. Selain itu metode ini cocok diterapkan karena dapat menghemat air irigasi dan juga mudah diterapkan oleh petani. Kondisi lahan sawah yang cocok untuk menggunakan metode irigasi intermitten adalah lahan sawah tadah hujan, lahan sawah irigasi, lahan sawah rawa, dan lahan sawah pasang surut (Kartikawati et al 2017).

B. Alternate Wetting and Drying (AWD)

Teknik budidaya padi yang paling direkomendasikan dan diaplikasikan adalah teknik budidaya Alternate Wetting and Drying atau AWD. Teknik AWD adalah teknik hemat air yang diterapkan pada lahan irigasi sehingga dapat menghemat air dan menurunkan emisi GRK selama proses budidaya padi (Pramono et al 2017). Metode ini merupakan metode pengairan dengan penggenangan air terputus (Budianto et al 2020). Pengairan menggunakan metode AWD dilakukan dengan cara lahan sawah digenangi sampai setinggi 5 cm kemudian pemberian air dihentikan dan elevasi muka air dibiarkan turun secara alami hingga kedalaman 15 cm di bawah permukaan tanah. Setelah itu lahan sawah tersebut kembali diairi sampai

mencapai elevasi 5 cm di atas permukaan tanah. Pada Waktu tanaman padi mulai berbunga, ketinggian air dipertahankan hingga kedalaman 5 cm, kemudian pada fase pengisian dan pemasakan AWD kembali dilakukan (Budianto et al 2021).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Tirol-Padre et al 2018 menunjukkan bahwa teknik AWD dapat menurunkan emisi GRK sebesar 6-47% apabila dibandingkan dengan pengairan basah atau tergenang. Selain itu, teknik ini berpotensi dalam mereduksi penggunaan air hingga 15% dan berpotensi dalam meningkatkan produktivitas tanaman padi sebesar 3-69%. Hasil ini menunjukkan bahwa teknik AWD efektif untuk menurunkan emisi GRK sekaligus menguntungkan secara ekonomi. Hal ini sesuai dengan penelitian Win et al 2021 menunjukkan bahwa teknik AWD secara signifikan menurunkan emisi GRK sebesar 70% ketika musim kering dan sebesar 66% ketika musim basah. Teknik AWD ini juga meningkatkan hasil produktivitas tanaman padi sebesar 10%. Hal tersebut dikarenakan teknik AWD meningkatkan pasokan oksigen akar yang dapat mempercepat proses mineralisasi bahan organik tanah yang meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan padi (Win et al 2021). Teknik AWD ini cocok untuk diaplikasikan pada lahan sawah irigasi dan lahan sawah rawa. Namun teknik AWD ini membutuhkan pengukuran ketinggian air yang tepat serta cara penerapan metode yang lebih kompleks (Budianto et al 2021).

II. *System of Rice Intensification (SRI)*

Teknik budidaya selanjutnya yang direkomendasikan adalah teknik budidaya the system of rice intensification (SRI). SRI adalah teknik budidaya padi yang mampu meningkatkan produktivitas dan menurunkan emisi GRK pada budidaya padi dengan mengubah cara pengelolaan tanaman, tanah, air, dan unsur hara (Sanjaya et al 2014). Dalam sebuah studi menyatakan bahwa tidak ada efek negatif dalam penggunaan metode ini (Ooa et al 2018). Metode SRI ini dilakukan dengan memperhatikan beberapa hal seperti bibit dipindahkan ke lahan ketika usia muda yaitu umur 8 – 15 hari sehingga produksi batang dan akar dapat tumbuh maksimal selama fase pertumbuhan, bibit tidak ditanami secara berumpun dengan jarak tanam antar tanaman minimal 25 cm x 25 cm sehingga memberikan ruang tumbuh, cahaya, dan unsur hara yang cukup, lahan tidak digenangi secara terus menerus sehingga dapat terjadi proses oksidasi di zona perakaran sehingga membuat tanah menjadi subur, penyiangan dilakukan 2 – 3 kali untuk menghilangkan gulma dan memberi ruang untuk aerasi tanah selama masa pertumbuhan, dan penggunaan pupuk kompos untuk memperbaiki struktur tanah dan penyediaan unsur hara (Budianto et al 2021).

Banyak penelitian yang telah menunjukkan bahwa teknik budidaya ini mampu menurunkan emisi GRK pada aktivitas budidaya padi. Hasil penelitian Ly et al 2013 menunjukkan bahwa emisi CH₄ dapat berkurang sebesar 17 - 24% dengan mengaplikasikan metode SRI. Teknik budidaya ini juga mengurangi emisi gas metan lainnya seperti N₂O dan CO₂ yang jika dikonversikan teknik budidaya SRI dinilai dapat mengurangi GWP sebesar 46,4% (Nugroho et al 2020). Selain mengurangi emisi GRK yang dihasilkan, metode SRI ini juga dinilai dapat meningkatkan hasil panen yang dihasilkan. Metode ini terbukti dapat meningkatkan hasil panen sebesar 20 hingga 50% dibandingkan metode tanam konvensional. Peningkatan tersebut terjadi karena pengelolaan tanaman, tanah, air, dan unsur hara yang efisien (Iqbal et al 2023). Metode ini cocok diaplikasikan pada lahan sawah yang subur, memiliki aerasi yang baik, serta memiliki ketersediaan air yang cukup (Budianto et al 2021).

III. *Climate Smart Agriculture (CSA)*

Rekomendasi teknik budidaya selanjutnya adalah *Climate Smart Agriculture* atau CSA. Teknik CSA adalah metode pendekatan teknologi di lahan sawah seperti pemberian bahan organik, pengairan air, pengendalian OPT alami, dan sistem tanpa olah tanah atau olah tanah minimum (Yulianingrum et al 2019). Tujuan dari teknik CSA ini adalah meningkatkan produktivitas, adaptasi dan membangun ketahanan dalam perubahan iklim, dan mengurangi GRK (Faza 2018). CSA berfokus ada ketahanan pangan dan ketahanan iklim dengan pilar utama yaitu meningkatkan produktivitas dan pendapatan pertanian secara berkelanjutan, beradaptasi dan membangun ketahanan

pangan terhadap perubahan iklim, mengurangi dan meminimalkan emisi gas rumah kaca, dan mengoptimalkan pemanfaatan berbagai sumberdaya (Mirawati *et al* 2023). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Yulianingrum *et al* 2019 penerapan CSA mampu mengurangi emisi GRK sebesar 7 - 23%. Selain itu penerapan CSA ini juga mampu untuk meningkatkan manfaat ekonomi sebesar 42-129%. Teknik budidaya CSA dapat diterapkan di berbagai jenis lahan sawah namun membutuhkan investasi awal untuk teknologi informasi dan komunikasi serta membutuhkan kerjasama antar petani dan pemangku kepentingan lainnya (Mirawati *et al* 2023).

IV. **Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT)**

Langkah lain yang dapat dilakukan adalah menggunakan pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) pada padi sawah (Wihardjaka 2012). Penerapan PTT ini terdiri atas teknologi yang dapat meningkatkan produktivitas sekaligus menurunkan emisi GRK (Supriyo 2022). Komponen teknologi PTT adalah varietas unggul, benih bermutu, bibit muda, sistem tanam, pemupukan N, pemupukan organik, penggunaan bahan organik, dan pengaturan air irigasi (Wihardjaka 2012). Prinsip utama penerapan komponen PTT pada padi sawah yaitu partisipasi petani dalam pemilihan dan pengujian teknologi yang sesuai dengan kondisi setempat, memperhatikan kesesuaian teknologi dengan lingkungan fisik, sosial budaya, dan ekonomi, melakukan pengelolaan sumber daya tanaman, tanah, dan air secara terpadu, memperhatikan keterkaitan antara komponen teknologi yang saling mendukung, dan disesuaikan dengan perkembangan dan kemajuan IPTEK serta kondisi sosial ekonomi setempat (Rosadillah *et al* 2017). Menurut penelitian Supriyo 2022 penerapan PTT mampu mengurangi emisi gas metan sebesar 33,29%. Hal ini sejalan dengan penelitian Setyanto 2008 dimana penerapan PTT dan pengairan berselang mampu menurunkan emisi GRK sebesar 72%. Teknik budidaya PTT ini dapat diaplikasikan di berbagai jenis lahan sawah sehingga dapat meningkatkan hasil panen dan kualitas produk, meningkatkan ketahanan terhadap hama penyakit, dan dapat menjaga kelestarian lingkungan karena pengurangan emisi GRK tersebut. Namun teknik ini membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menunjukkan hasil dan membutuhkan komitmen dan partisipasi penuh dari petani (Rosadillah *et al* 2017).

Penggunaan Pupuk dan Bahan Organik

Faktor selanjutnya yang dapat meningkatkan emisi GRK pada aktivitas budidaya padi adalah penggunaan pupuk dan bahan organik tertentu. Padi yang dibudidayakan biasanya menggunakan pupuk dengan kadar N yang cukup tinggi (Panjaitan *et al* 2015). Efisiensi penggunaan pupuk N ini dapat menjadi langkah yang dapat menekan emisi GRK pada aktivitas budidaya padi (Annisa *et al* 2016). Pemberian pupuk dapat meningkatkan aktivitas metabolisme tanaman sehingga produktivitas CH₄ dapat meningkat (Wihardjaka *et al* 2012). Efektivitas pemberian pupuk N juga baik bagi produktivitas tanaman karena N yang diberikan kepada tanaman tidak selalu digunakan secara efektif oleh tanaman (Cassman *et al* 2003). Penelitian Chu *et al* 2007 menunjukkan bahwa pemupukan N dapat meningkatkan emisi total CH₄ dan N₂O. Pemberian pupuk NPK 100% meningkatkan emisi CH₄ hingga 181%. Pemberian pupuk NPK 100% juga meningkatkan emisi N₂O sebesar 24%. Penelitian Kartikawati dan Nursyamsi 2013 juga menunjukkan bahwa penggunaan pupuk NPK dapat meningkatkan emisi CH₄ yang dihasilkan.

Penggunaan pupuk kandang dan kompos relatif menghasilkan emisi GRK yang lebih rendah. Penggunaan bahan organik matang tersebut dengan rasio C/N dan persiapan lahan tanpa olah berperan dalam mengurangi emisi GRK yang dihasilkan. Pemakaian bahan organik yang sudah mengalami dekomposisi berpotensi untuk menurunkan emisi GRK sebesar 10 - 25% (Safitri 2018). Penggunaan pupuk kandang dan kompos dapat memperbaiki produksi padi sekaligus menurunkan emisi metana yang dilepaskan ke atmosfer

(Wihardjaka 2015). Menurut penelitian Priyono 2012 pemberian pupuk kandang dan amelioran (laterit) menghasilkan emisi CO₂ 15,20% lebih rendah dibandingkan tanpa perlakuan. Penyebaran pupuk kandang di permukaan tanah juga akan menekan kehilangan unsur N dan P pada tanah (Priyono 2012).

Penggunaan pupuk yang tepat juga dapat mendorong produktivitas dari tanaman padi. Peningkatan produktivitas padi dapat mengurangi luas lahan yang dibutuhkan untuk hasil padi yang sama. Hal tersebut mendorong penurunan emisi GRK yang dihasilkan pada aktivitas budidaya padi (Herrero et al 2021). Hal ini dikarenakan luas lahan sawah sangat berperan dalam produksi emisi GRK pada aktivitas GRK (Wibowo 2018). Setiap kenaikan 1% produktivitas hasil pada lahan sawah akan mereduksi emisi GRK yang dihasilkan sebesar 1% pada hasil yang sama (Herrero et al 2021).

Selain itu pemakaian bahan organik yang sudah mengalami dekomposisi matang atau lanjut dapat menurunkan emisi GRK sebesar 10 - 25%. Pemberian herbisida dengan bahan aktif glisofat dan paraquat dapat menurunkan emisi GRK secara nyata dibandingkan dengan tanpa perlakuan (Setyanto 2008). Hal ini disebabkan oleh efek penghambatan dari herbisida glisofat pada emisi N₂O yang berdampak pada penghambatan aktivitas mikroba yang terlibat dalam proses dinitrifikasi dan nitrifikasi (Ariani et al 2017). Menurut penelitian Ariani et al 2017 emisi terendah didapatkan pada perlakuan tanpa olah tanah dan pemberian herbisida (201 kg CH₄/ha/musim) sedangkan emisi tertinggi didapatkan pada perlakuan olah tanah sempurna tanpa penambahan herbisida (353 kg CH₄/ha/musim).

Pemilihan Musim Tanam

Langkah ketiga aksi mitigasi emisi GRK tanaman padi yang dihasilkan adalah menanam varietas tanaman padi pada musim tanam yang tepat. Budidaya padi yang dilakukan pada musim hujan akan menghasilkan emisi CH₄ yang lebih tinggi (Suharsih *et al* 2000). Hal tersebut didapatkan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan. Beberapa diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Suharsih *et al* 2000, Panjaitan *et al* 2015, dan Sumirat dan Solehudin 2009. Menurut Suharsih *et al* 2000 proses budidaya padi yang dilakukan pada musim hujan akan menghasilkan emisi CH₄ yang lebih tinggi sebesar 18,13%. Sedangkan menurut Panjaitan *et al* 2015 proses budidaya padi pada musim hujan akan menghasilkan emisi CH₄ yang lebih tinggi sebesar 47,10%. Hasil pengamatan fluks emisi CH₄ pada dua kondisi musim yang dilakukan oleh Suharsih *et al* 2000 dan Panjaitan *et al* 2015 dapat terlihat pada Tabel 13. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sumirat dan Solehudin 2009 yang mendapatkan koefisien korelasi antara curah hujan dan emisi sebesar 0,33. Hal ini menunjukkan hubungan korelasi positif antara curah hujan dan emisi GRK yang dihasilkan pada aktivitas budidaya padi.

Tabel 2 Fluks emisi CH₄ pada kondisi dua musim berbeda

Ulangan/ Perlakuan	Emisi CH ₄ (kg/ha/musim)		Emisi CH ₄ (mg/m ³ /menit) ²	
	Musim kemarau	Musim hujan	Musim kemarau	Musim hujan
1	99,83	145,94	0,516	0,643
2	34,54	46,19	0,454	0,659
3	31,28	45,92	0,456	0,663
4	93,67	91,58	0,456	0,709
5	75,04	65,38	0,431	0,759

Emisi CH₄ yang dihasilkan pada proses budidaya padi lebih tinggi pada musim hujan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya (1) musim hujan memiliki volume genangan air lebih tinggi, Hal tersebut membuat kondisi tanah akan bersifat *anaerob* dan akan meningkatkan suhu air yang mana akan memicu pembentukan emisi metana yang lebih besar (Setyanto 2005), (2) Pembusukan material organik secara *anaerob* pada musim hujan lebih tinggi daripada musim kemarau, (3) musim hujan menjadi kondisi ideal untuk bakteri metanogen, (4) Memberikan material organik yang dapat menjadi substrat bakteri metanogen untuk menghasilkan CH₄

(Supriatin 2017), dan (5) Menghasilkan eksudat akar yang juga menjadi substrat bakteri metanogen yang akan meningkatkan emisi CH₄ (Das *et al* 2008).

Penelitian Fanni *et al* 2021 menunjukkan bahwa perbedaan musim dan curah hujan secara umum tidak berpengaruh signifikan terhadap produktivitas yang dihasilkan. Selain itu musim hujan juga membuat resiko tanaman menjadi rebah akibat diterpa angin kencang dan hujan lebat terus menerus bagi petani yang tanaman padinya sudah mulai berbulir dan menua. Dimana rebahnya tanaman padi akan menyebabkan penurunan hasil panen serta peningkatan biaya pemanenan karena proses pemanenan yang semakin sulit. Walaupun begitu musim hujan tetap memiliki dampak positif dimana terjadi peningkatan curah hujan yang menyebabkan ketersediaan air yang cukup sehingga berpengaruh pada penyemaian padi yang baik.

Pemilihan Varietas Tanaman Padi Rendah Emisi

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi GRK pada aktivitas budidaya padi selanjutnya adalah memilih dan menggunakan varietas tanaman padi yang rendah emisi. Penggunaan varietas rendah emisi secara nyata mampu menurunkan menekan emisi GRK pada aktivitas budidaya padi. Ciri - ciri varietas padi yang digunakan adalah memiliki jumlah anakan yang sedikit, efektif memanfaatkan hasil fotosintesis, berumur genjah, dan memiliki kapasitas oksidasi perairan yang kuat (Setyanto 2008). Jumlah anakan sangat mempengaruhi besaran emisi CH₄ yang dilepaskan ke atmosfer. Menurut penelitian Yuniarti *et al* faktor penyebab tingginya fluks CH₄ pada salah satu varietas padi yaitu ciherang adalah jumlah anakan yang lebih banyak jika dibandingkan dengan varietas lainnya. Selain itu emisi CH₄ yang dihasilkan dari ketiga varietas ditentukan oleh perbedaan morfologi dan fisiologi varietas (Annisa *et al* 2016).

Besarnya fluks CH₄ yang dihasilkan terbagi menjadi 2 fase, yaitu fase vegetatif dan fase generatif. Pada fase vegetatif kontribusi CH₄ dipengaruhi oleh banyaknya jumlah anakan yang dihasilkan. Sedangkan pada fase generatif terutama fase reproduktif, besarnya fluks CH₄ dipengaruhi oleh sumbangan bahan organik dari anakan yang mati (Kartikawati *et al* 2017). Berikut hasil perbandingan rata - rata fluks CH₄ yang dihasilkan dari beberapa varietas tanaman padi. Gambar 2 menunjukkan perbandingan fluks CH₄ yang dihasilkan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Setyano dan Suharsih 2005.

Tabel 3 Emisi CH₄ dan produksi beberapa varietas padi

Varietas Padi	Emisi CH ₄ (kg/Ha)	Produksi gabah (Kg/Ha)
Banyuasin	171	2670
Batang Anai	196	4500
Batanghari	100	1560
Cisadane	218	6400
Dodokan	74	3300
IR 36	112	4900
IR 64	176	6700
Memberamo	173	7400
Maros	117	4300
Muncul	127	4600
Punggur	182	4050
Tanggulang	121	3220
Way Apo Buru	154	7400

Tabel 3 menunjukkan bahwa varietas padi Dodokan, Batang Hari, dan IR112 adalah varietas yang menghasilkan emisi GRK paling rendah. Namun penentuan varietas tanaman padi terbaik tidak dapat dilakukan jika hanya membandingkan emisi CH₄ yang dihasilkan. Penentuan jenis varietas padi terbaik juga harus mempertimbangkan produksi gabah yang dihasilkan. Penentuan tersebut membandingkan varietas padi yang minim menghasilkan emisi GRK dengan hasil produksi padi yang optimum. Hal tersebut dapat dibandingkan

dengan analisis rasio ekoefisiensi (Supriatin 2017). Perbandingan rasio ekoefisiensi dari beberapa varietas padi dapat terlihat pada Tabel 3.

Tabel 4 Rasio ekoefisiensi beberapa varietas padi

Varietas Padi	Rasio ekoefisiensi (g CO ₂ e/kg)
Way apo buru	20,8
Dodokan	22,4
IR 36	22,8
Memberamo	23,3
IR 64	26,3
Maros	27,2
Muncul	27,6
Cisadane	34,0
Tenggulang	37,6
Batang anai	43,6
Punggur	44,9
Banyuasin	64,0
Batang	64,1

Pada Tabel 4 dapat terlihat bahwa varietas Way Apo Buru, Dodokan, dan IR 36 adalah varietas terbaik budidaya padi rendah emisi. Hal tersebut sesuai dengan beberapa penelitian lain seperti pada penelitian Setyanto 2008 menyimpulkan bahwa varietas padi rendah tingkat emisi GRK adalah Way Apo Buru, Dodokan, Maros, dan Fatmawati. Annisa et al 2016 menyebutkan bahwa varietas IR 36 dan Dodokan adalah varietas paling rendah emisi jika dibandingkan dengan varietas lainnya. Balitbangtan 2011 mengungkapkan bahwa varietas Dodokan, Way Apo Buru, dan IR 64 termasuk varietas yang rendah emisi GRK. Penelitian Safitri 2017 menunjukkan bahwa varietas padi rendah emisi adalah IR64, Dodokan, dan Inpari 1.

SIMPULAN

Diperlukan upaya untuk mengurangi emisi GRK yang dihasilkan dengan tetap mempertimbangkan produktivitas padi. Salah satu upaya yang dapat menjadi prioritas dalam pengurangan emisi GRK padi di Indonesia dengan tetap mempertahankan tingkat produksi padi adalah dengan penggunaan teknik budidaya rendah emisi dan pengelolaan manajemen air. Strategi tersebut menjadi prioritas karena dapat diadaptasikan oleh petani dengan mempertimbangkan kondisi sosial budaya petani.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardhitama A, Siregar YI. 2017. Analisis Pengaruh Konsentrasi Gas Rumah Kaca Terhadap Kenaikan Suhu Udara Di Kota Pekanbaru Dan Kota Padang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 11 (1) : 11.
- 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.
- Annisa W, Rachman A. 2016. Teknologi Mitigasi Gas Rumah Kaca di Lahan Rawa Pasang Surut. *Jurnal Lahan Suboptimal*. 5(2): 178-188.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2022. Keadaan Angkatan Kerja di Indonesia Agustus 2022. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Budianto MB, Supriadi A, Hidayat S, Salehudin. 2020. Model Irigasi Hemat Air Perpaduan System of Rice Intensification (SRI) dengan Alternate Wetting and Drying (AWD) pada Padi Sawah. *Jurnal Teknik Pengairan*. 11 (2) : 128 - 136.
- Cassman KG, Doberman A, Walters DT, Yang H. 2003. Meeting Cereal Demand While Protecting Natural Resource and Improving Environmental Quality. *Journal Rev. Environ Resources*. 28 (1) : 315 - 358.
- Carnwell R, Daly W. 2001. Strategies For the Construction of a Critical Review of The Literature. *Journal Nurse Education Practice*. (1) : 57 - 63.

- Chu H, Lin X, Fujii T, Morimoto S, Yagi K, Hu J. 2007. Soil Microbial Biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Journal Soil and Biochemistry*. 39 (1) : 271 - 286.
- Cronin P, Ryan F, Coughlan M. 2008. Undertaking a Literature Review: a step-by-step approach. *British Journal of Nursing*. 17 (1) : 38 – 43.
- Das K, Baruah K. 2008. Methane Emission Associated with Anatomical and Morphological Characteristics of Rice (*Oryza Sativa*) Plant. *Journal Physiologia Plantarum*. 134 (1) : 303 – 302.
- Elizabeth A, Paramita R. 2022. Meninjau Kinerja Komoditas Tanaman Pangan Strategis (Pertanian) Dalam Mewujudkan Kemandirian Pangan. *Buletin APBN Vol. VII*. Ed. 19, Oktober 2022.
- Fanni A, Evi G, Jajat S. Pengaruh Perubahan Curah Hujan Terhadap Produktivitas Padi Sawah di Kalimantan Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 19 (2) : 237 – 246.
- Faza A. 2018. Pembuatan Model Climate-Smart Agriculture untuk Adaptasi dan Membangun Ketahanan Terhadap Perubahan Iklim dalam Produksi Padi (Studi Kasus: Jawa Timur). [Tesis]. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Gracia CJ, Herrero B. 2021. *Female Directors, Capital Structure, and Financial Distress*. *Journal of Business Research*. 136 (1) : 592 – 601.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories – A primer, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Miwa K., Srivastava N. and Tanabe K. Iges.
- IPCC. 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Switzerland (CH): Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kartikawati R, Nursyamsi D. 2013. Pengaruh Pengairan, Pemupukan, dan Penghambat Nitrifikasi Terhadap Emisi Gas Rumah Kaca di Lahan Sawah Tanah Mineral. *Jurnal Ecolab*. 7 (2) : 49 - 108.
- Kartikawati R, Yulianingrum H, Wihardjaka A, Setyanto P. 2017. Upaya Adaptasi Terhadap Perubahan Iklim Pada Lahan Tadah Hujan Melalui budidaya Padi Rendah Emisi Metana. *Prosiding Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (BB Padi); 2017 ; Indonesia; Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (BB Padi)*. Hlmn 197-205.
- KLHK. 2022. *Laporan IGRK MPV 2021*. Indonesia (ID): Dirjen PPI.
- Masripatin N, Rachmawaty E, Suryanti Y, Setyawan H, Farid M, Iskandar N. 2017. *Strategi Implementasi NDC*. Jakarta (ID): Direktorat Jenderal Perubahan Iklim.
- Nugroho BDA, Arif C, Hasanah NAI, Maftukhah R, Suryandika F, Hapsari U, Nihayah B. 2020. Pengenalan Metode Tanam SRI (System Rice of Intensification) dengan Teknologi untuk Peningkatan Produktivitas dan Ramah Lingkungan. *Jurnal Pengabdian dan Pengembangan Masyarakat*. 3 (2) : 493 - 503.
- Ooa AZ, Sudoa S, Inubushib K, Manob M, Yamamoto A, Onoa K, Oshawa T, Hayashidad S, Patrae PK, Taraof Y, Elayakumarg P, Vanithag K, Umamageswaring C, Jothimaning P, Ravig V. 2018. Methane and nitrous oxide emissions from conventional and modified rice cultivation systems in South India. *Jurnal Agriculture, Ecosystems and Environment*. 252 (1) : 148-158.
- Panjaitan E, Indradewa D, Martono E, Sartohadi J. 2015. Sebuah Dilema Pertanian Organik Terkait Emisi Metan. *Jurnal Mns dan Lingkungan*. 22(1):66.
- Patrianti T, Shabana A, Tuti R. 2020. Government Risk Communication on Greenhouse Gas Emission Reduction to Tackle Climate Change. *Jurnal Penelitian Komunikasi dan Opini Publik*. 24 (1) : 10 - 14.
- Pramono A, Adriani TA, Setyanto P. 2017. Emisi Gas Rumah Kaca dan Hasil Padi Dari Perlakuan Alternate Wetting and Drying di Lahan Sawah Tadah Hujan. *Prosiding Balai Besar Tanaman Padi; 2022 Ags 20; Purwokerto; Indonesia. Purwokerto: Universitas Muhammadiyah Purwokerto*. Hlmn 146-154.
- Priyono. 2012. Upaya Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dalam Sistem Budidaya Pertanian dengan Penggunaan Bahan Organik. *Jurnal Pertanian*. 24 (1) : 71 - 80.
- Rahayu. 2016. Analisis Pencapaian Program Swasembada Beras pada tahun 2017 di Indonesia. [Skripsi]. Bogor (ID) : Institut Pertanian Bogor.
- Safitri ND. 2018. Potensi Gas Rumah Kaca Pada Lahan Padi Sawah di Kabupaten Sleman Bagian Barat Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 2 (1) : 1-17
- Sanjaya IP, Tika IW, Sumiyati S. 2014. Pengaruh Teknik Budidaya SRI (System of Rice Intensification) dan Legowo Terhadap Iklim Mikro dan Produktivitas dan Produktivitas Padi Ketan (Studi Kasus di Subak Sigaran). *Jurnal Biosistem dan Teknik Pertanian*. 2 (1) : 32 - 54.
- Sasmita A, Isnaini I, Zustaka R. 2021. Estimasi Gas Rumah Kaca dari Sektor Pertanian, Perkebunan, dan Peternakan di Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8 (1):42–53.

- Setyanto P. 2008. Teknologi Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca Dari Lahan Sawah. *Jurnal Iptek Tanaman Pangan*. 3 (2) : 205 - 2014.
- Setyanto P, Suharsih. 2005. Mitigasi Gas Metan dari Lahan Sawah, Laporan Tahunan Lokal Penelitian Tanaman Pangan, Jakenan, Pati. Jakarta (ID) : Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Suharsih P, Setyanto AK, Makarim. 2000. Pengaruh Pengelolaan Air Terhadap Emisi Gas CH₄ Pada Lahan Jawah di Jakenan, Jawa Tengah, dalam Prosiding Seminar Nasional Budi Daya Tanaman Pangan Berwawasan.
- Supriyo A. 2022. Inovasi Pertanian Ramah Lingkungan Terhadap Produktivitas Padi Sawah. Prosiding Seminar Nasional Fakultas Pertanian dan Perikanan; 2022 Ags 20; Purwokerto; Indonesia. Purwokerto: Universitas Muhammadiyah Purwokerto. 1 (2) : 146-154.
- Sumirat, Solehudin. 2009. Nitrous Oksida (N₂O) dan Metana (CH₄) Sebagai Gas Rumah Kaca. *Jurnal Lingkungan*. 7 (2) : 24 - 98. *Jurnal epi Edu*
- Supriatin LS. 2017. Penyesuaian Musim Tanam, Jenis Varietas, dan Teknik Budidaya Tanaman Padi Terkait Mitigasi Emisi Metana. *Jurnal Lingkungan*. 24 (1) : 1-10.
- Treenbert K. 1994. *Climate System Modelling*. New York (USA): Academy Press.
- Waskito RH. 2020. Analisis Produksi Padi di Kabupaten Jember (Studi Kasus di Desa Selodakon Kecamatan Tanggul. [Skripsi]. Jember (ID). Universitas Negeri Jember.
- Wibowo A. 2018. Kajian Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Kehutanan untuk Mendukung Kebijakan Perpress No. 61/2011. *Journal Kajian Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian*. 2 (2) : 235 – 254.
- Wihardjaka A, Nursyamsi D. 2012 Pengelolaan Tanaman Terpadu pada Padi Sawah yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Pangan*. 21 (2) : 185 - 196.
- Wihardjaka A. 2015. Mitigation of Methane Emission Through Lowland Management. *Jurnal Litbang Pertanian*. 32(2):95–104.
- Win EP, Win KK, Kimura SDB, Oo AZ. 2021. Influence of Rice Varieties, Organic Manure and Water Management on Greenhouse Gas Emissions From Paddy Rice Soils. *Journal Plos One*. 1 (1) : 1 - 22.
- Yagi K, Sriphirom P, Cha-un N, Fusuwankaya K, Chidthaisong A, Damen B, Towprayoon S. 2019. Potential and promisingness of technical options for mitigating greenhouse gas emissions from rice cultivation in Southeast Asian countries, *Soil Science and Plant Nutrition*. 10(1), 1-13
- Yulianingrum H, Pramono A, Susilawati HL. 2019. Penerapan Paket Teknologi Ramah Lingkungan untuk Mengurangi Emisi Metana (CH₄) di Lahan Sawah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 17(1) : 149-157.