

STRATEGI PENURUNAN EMISI METANA PADA PADI SAWAH ORGANIK SEBAGAI UPAYA OPTIMALISASI PERTANIAN BERKELANJUTAN

Restu Puji Mumpuni^{1*}, Agief Julio Pratama¹, Muhammad Iqbal Nurulhaq¹, Ratih Kemala Dewi¹, Edi Wiraguna², Widya Hasian Situmeang¹, Tri Budiarto¹, Ririh Sekar Mardisiwi¹

¹ Program Studi Teknologi Produksi dan Pengembangan Masyarakat Pertanian, Sekolah Vokasi, IPB University, Bogor, 16680, Indonesia

² Program Studi Teknologi dan Manajemen Produksi Perkebunan, Sekolah Vokasi, IPB University, Bogor, 16680, Indonesia

*Email: restu_puji@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Sektor pertanian terutama padi sawah merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca terutama gas metana. Gas metana dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik di sekitar perakaran tanaman padi, terutama yang terus digenangi. Penambahan bahan organik pada padi organik juga merupakan penyumbang gas metana. Strategi untuk menurunkan emisi metana pada budidaya padi sawah organik perlu dilakukan, apalagi saat ini produk beras organik memiliki nilai tambah ekonomi dan daya saing yang lebih baik terutama dengan semakin meningkatnya kesadaran masyarakat akan produk yang sehat dan ramah lingkungan. Beberapa upaya untuk menurunkan emisi metana antara lain irigasi padi secara intermiten, pemilihan varietas padi yang lebih tahan terhadap genangan air dan berumur pendek, perlunya mengelola sisa-sisa tanaman secara tepat dengan mengomposkannya dan cermat dalam menggunakan pupuk organik yang dapat membantu mengurangi emisi metana. Kombinasi berbagai strategi budidaya yang menekan produksi emisi metana di atas diharapkan dapat meningkatkan keberlanjutan sistem padi sawah organik dan mendukung program pertanian cerdas iklim.

Kata kunci: Bahan organik, gas rumah kaca, padi, pupuk organik

STRATEGIES FOR REDUCING METHANE EMISSIONS IN ORGANIC RICE FIELDS AS AN EFFORT TO OPTIMIZE SUSTAINABLE AGRICULTURE

ABSTRACT

The agricultural sector, especially rice fields, contributes to greenhouse gas emissions, especially methane gas. Methane gas is produced from the anaerobic decomposition of organic matter around rice plants' roots, especially those continuously flooded. The addition of organic matter in organic rice is also a contributor to methane gas. Strategies to reduce methane emissions in organic rice cultivation need to be carried out, especially now that organic rice products have added economic value and better competitiveness, especially with increasing public awareness of healthy and environmentally friendly products. Some efforts to reduce methane emissions include intermittent irrigation of rice, selection of rice varieties that are more resistant to waterlogging and short-lived, the need to properly manage crop residues by composting them, and careful use of organic fertilizers that can help reduce methane emissions. Combining various cultivation strategies that reduce methane emission production can increase the sustainability of organic wetland rice systems and support climate-smart agriculture programs.

Keywords: Organic matter, organic fertilizer, greenhouse gases, rice

PERNYATAAN KUNCI

- CH₄ atau metana merupakan salah satu emisi gas rumah kaca dari tanah sawah dan berpotensi menyebabkan *global warming* karena dapat menyerap radiasi infra-merah. Potensi pemanasan global CH₄ dapat mencapai sepuluh kali lebih besar dari pada potensi pemanasan global oleh CO₂. Atau karbon dioksida.
- Penerapan strategi penurunan emisi metana pada padi sawah organik untuk mencapai tujuan ganda yaitu memastikan ketahanan pangan dan melindungi sumber daya alam dan lingkungan. Beberapa upaya untuk menurunkan emisi metana antara lain pengelolaan air, pemilihan varietas padi, pengelolaan sisa-sisa tanaman secara tepat dan cermat dalam menggunakan pupuk organik dapat membantu mengurangi emisi metana.
- Untuk pertanian berkelanjutan, perlu aplikasi pupuk organik yang memiliki C/N ratio (perbandingan karbon dan nitrogen) rendah yaitu bahan organik yang telah dikomposkan untuk meningkatkan hasil panen padi dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Varietas padi berumur pendek memiliki nilai Gas Rumah Kaca (GRK) yang lebih rendah dengan tetap mempertahankan potensi hasil panen. Pengelolaan air dengan metode intermiten (berselang) terbukti dapat menurunkan emisi GRK.

REKOMENDASI KEBIJAKAN

Produk beras organik memiliki nilai tambah ekonomi dan daya saing yang lebih baik terutama dengan semakin meningkatnya kesadaran masyarakat akan produk yang sehat dan ramah lingkungan. Potensi pasarnya sangat besar di daerah perkotaan dengan daya beli tinggi. Permintaan yang cukup besar tersebut perlu diimbangi produksi yang tinggi juga. Untuk membantu petani meningkatkan produksi padi organik optimalkan praktik budidaya dengan mengombinasikan teknik yang dapat menekan emisi metana dan tetap meningkatkan produktivitas padi. Upaya tersebut antara lain pengelolaan air, penggunaan pupuk organik dan penggunaan varietas rendah emisi metana.

Upaya optimasi praktik budidaya ini tentunya dilakukan dengan pendampingan dari penyuluh pertanian, Dinas Pertanian dan dukungan pemerintah melalui kebijakan dan

insentif yang mendukung budidaya padi sawah organik rendah emisi metana seperti subsidi benih padi varietas rendah emisi dan pupuk organik. Berbagai badan penelitian dan universitas telah banyak menghasilkan penelitian terkait varietas padi rendah emisi dan paket teknologi budidaya yang cerdas iklim. Untuk mempercepat adopsi teknologi harus ada pelibatan akademisi dan peneliti dalam diseminasi hasil penelitian ke tingkat petani. Petani padi organik juga harus ikut berperan aktif mendukung dan menerapkan budidaya padi organik yang cerdas iklim sehingga hasil panennya meningkat dan lebih ramah lingkungan.

PENDAHULUAN

Emisi gas rumah kaca (GRK) dari sektor pertanian terutama pada budidaya padi sawah pada tahun 2020 mencapai 8% dari total emisi gas rumah kaca (UNEP dan WMO 2022). Aktivitas pertanian yang menyumbang emisi gas rumah kaca tertinggi diantaranya pembakaran jerami padi ataupun sisa hasil pertanian sebelumnya, pemberian kapur, serta penggunaan pupuk anorganik. Aplikasi pemupukan pada budidaya tanaman memberikan dampak paling besar pada emisi gas rumah kaca. Diperkirakan bahwa emisi nitrogen oksida (N₂O) dan metana (CH₄) dapat meningkat masing-masing sebesar 35-60% dan 60% pada tahun 2030 (UNEP dan WMO 2022). Tanah sawah yang tergenang merupakan sumber penting emisi CH₄ global, dan sistem pertanian berbasis padi sawah konvensional dapat menghasilkan emisi N₂O dalam jumlah yang cukup besar (Gorh *et al.* 2019).

Pertanian organik memiliki potensi untuk mengurangi emisi GRK. Sistem ini menghilangkan pupuk nitrogen sintetis dan dengan demikian dapat menurunkan emisi GRK pertanian dari jenis nitrogen oksida. Pertanian organik dapat menghasilkan kandungan karbon organik tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem non-organik dan memiliki potensi mengurangi emisi GRK (Holka *et al.* 2022). Salah satu kendala aplikasi pertanian organik pada budidaya padi sawah ialah gas metana (CH₄). Gas metana dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik di sekitar perakaran tanaman padi, terutama yang disawahkan (tergenang). Emisi gas metana dari aktivitas ini mencapai 9,6% emisi karbon dari sektor pertanian (UNEP dan WMO 2022).

Budidaya padi organik membantu menghasilkan pangan yang lebih sehat dan lebih ramah lingkungan sehingga juga dapat mendukung pertanian berkelanjutan. Konsep lingkungan berkelanjutan mencakup pemeliharaan keanekaragaman hayati, stabilitas atmosfer, dan fungsi ekosistem lainnya, dengan tujuan meminimalkan dampak lingkungan (Mucharam *et al.* 2022). Pertanian organik dapat menjadi salah satu usaha mitigasi dalam mengurangi emisi gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global tetapi harus ada strategi untuk mengurangi emisi metana pada budidaya padi sawah organik. Review ini disusun untuk mendapatkan berbagai metode budidaya padi sawah organik yang dapat menurunkan emisi gas metana sehingga dapat mengoptimalkan upaya pertanian berkelanjutan yang mendukung pertanian cerdas iklim, terutama pada lanskap perkotaan (Akbar *et al.* 2025).

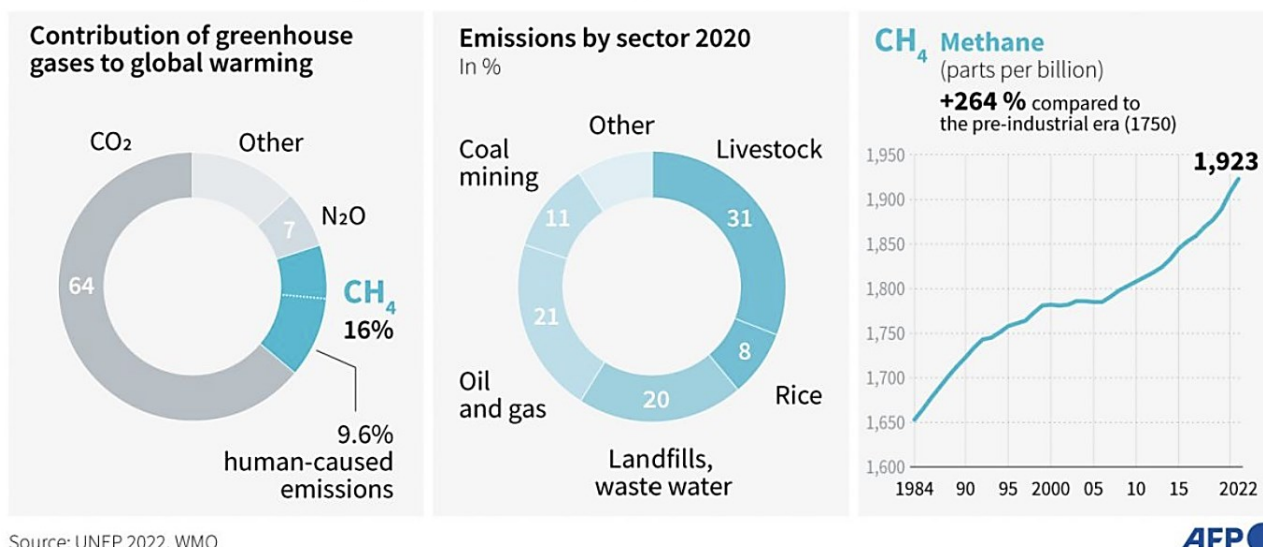
SITUASI TERKINI

Sistem pertanian organik ialah sistem produksi pertanian yang holistik dan terpadu, yang mengoptimalkan kesehatan dan produktivitas agro-ekosistem secara alami, sehingga mampu menghasilkan pangan dan serat yang cukup, berkualitas dan berkelanjutan. Ciri-ciri pertanian organik adalah: (1) mengupayakan perbaikan siklus biologi, termasuk daur jasad renik, fauna tanah, tanaman dan binatang untuk menambah bahan organik tanah, (2) pergiliran jenis tanaman yang tepat, berkelanjutan dan penggunaan pupuk kandang serta hijauan secara rasional, (3) tidak menggunakan pestisida kimia, (4) tidak menggunakan bibit hasil rekayasa genetika, (5) menghindari penggunaan zat pengatur tumbuh dan pupuk kimia sintesis, dan (6) menghindari penggunaan hormon tumbuh dan bahan aditif sintesis (SNI 2016). Pertanian berkelanjutan merupakan sebuah implementasi dari pembangunan berkelanjutan yang memiliki tiga konsep, yakni ekonomi, sosial, dan ekologi. Konsep pertanian berkelanjutan ini dapat digunakan sebagai solusi dalam mengatasi masalah di bidang pertanian dan kebutuhan pangan. Contoh penerapan pertanian berkelanjutan adalah mengganti pupuk kimia ke pupuk organik (Candraningtyas dan Irawan 2023). Dalam budidaya padi organik nutrisi untuk tanaman hanya berasal dari pupuk organik dan

tidak menambahkan unsur hara dalam bentuk pupuk anorganik.

Menurut Zhang *et al.* (2018) pupuk organik dapat memengaruhi beberapa parameter dalam sistem tanah dan tanaman, termasuk struktur tanah, kandungan nutrisi tanah, produktivitas tanah, dan pertumbuhan tanaman. Penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik dapat meningkatkan struktur dan kandungan nutrisi tanah, serta meningkatkan hasil panen dan manfaat ekonomi yang berkelanjutan. Selain itu, penggunaan pupuk organik juga dapat meningkatkan kemampuan tanah untuk mempertahankan nutrisi, menekan migrasi ke bawah nitrogen, dan mengurangi kerugian nitrogen melalui pencucian. Pupuk organik juga dapat meningkatkan biomassa dan aktivitas mikroba tanah, yang dapat meningkatkan penyerapan nitrogen oleh tanaman. Pupuk organik dapat berasal dari kotoran hewan, bahan tanaman dan limbah, seperti pupuk kandang, hijauan tanaman, limbah pertanian dan limbah agroindustri. Pemanfaatan bahan organik menjadi salah satu kunci keberlanjutan produksi dalam sistem pertanian ramah lingkungan yang berfungsi untuk memperbaiki kualitas tanah, memperbaiki fungsi ekologis seperti mengatur siklus hidrologi dan biogeokimia, memitigasi perubahan iklim global dan sumber biodiversitas (de Tombeur *et al.* 2018; Afrianti *et al.* 2024; Adrian *et al.* 2024; Fitriyati *et al.* 2024).

Gas rumah kaca yang memberikan kontribusi terbesar terhadap perubahan iklim adalah gas CO₂, N₂O, dan CH₄. Sektor industri energi merupakan sumber gas CO₂ terbesar dengan kontribusi emisi sebesar 14669,3 Mt dan untuk gas CH₄ dan N₂O yaitu sektor pertanian dengan masing-masing sebesar 4586,5 Mt dan 1753,6 Mt (EDGAR 2023). Emisi N₂O merupakan salah satu jenis GRK yang berasal dari kegiatan pertanian, penggunaan pupuk, pembakaran bahan bakar fosil, limbah padat, dan pengolahan air limbah (Qodri *et al.* 2024). Metana (CH₄) berkontribusi sebesar 16% dari GRK yang menyebabkan perubahan iklim. Penyebab utama gas metana 9,6% akibat aktivitas manusia mulai dari pertambangan batu bara, minyak dan gas, pembukaan lahan, peternakan dan di pertanian karena budidaya padi sawah. Produksi gas metana terus meningkat sepanjang tahun (Gambar 1).

CH₄ has 80 times the warming power of CO₂ over a 20-year time scale

Gambar 1. Kontribusi Gas Rumah Kaca Terhadap Perubahan Iklim dan Persentase Sumber Emisi Pada Tahun 2020

CH₄ merupakan salah satu emisi GRK dari tanah sawah dan berpotensi menyebabkan *global warming* karena dapat menyerap radiasi infra-merah. CH₄ mempunyai kemampuan memancarkan panas 80 kali lebih tinggi dari pada CO₂ (UNEP dan WMO 2022). Potensi pemanasan global (GWP = *Global Warming Potential*) metana dapat mencapai 10x (sepuluh kali) lebih besar dari pada potensi pemanasan global oleh CO₂. Metana sering disebut sebagai gas rawa yang mempunyai waktu tinggal di atmosfer selama 12 tahun, tidak ada potensi rosot, dan menyebabkan penipisan lapisan ozon bumi sehingga harus diturunkan emisinya. Emisi gas metana menyumbang 20% dari total emisi gas rumah kaca (Ma *et al.* 2024).

Sektor pertanian (kegiatan fermentasi, budidaya tanaman termasuk padi, pengelolaan pupuk, pembakaran sisa tanaman, dan lainnya) adalah penyumbang terbesar emisi non-CO₂, yaitu CH₄ dan N₂O, sebesar 59% pada tahun 1990, dan diperkirakan 57% pada tahun 2020. China, India, Thailand, Indonesia, Vietnam, dan Myanmar bersama-sama memancarkan 78% dari seluruh emisi dari padi sawah (Win *et al.* 2021). Jiang *et al.* (2019) kontribusi tanah sawah pada skala nasional terhadap total emisi GRK masih cukup tinggi. Oleh karena itu, perlu upaya penurunan emisi CH₄ dari tanah sawah, agar kekhawatiran berbagai dampaknya terhadap lingkungan di Indonesia dapat ditekan.

Besarnya emisi CH₄ dari tanaman padi diatur oleh interaksi yang kompleks dan dinamis antara tanaman, lingkungan, dan mikroorganisme

(Win *et al.* 2021). Proses produksi metana di dalam tanah disebut dengan *methanogenesis*. Metana dihasilkan di dalam tanah sawah setelah terjadi reduksi O₂, nitrat, mangan, besi, dan sulfat yang dapat menyediakan aseptor elektron untuk mengoksidasi bahan organik menjadi CO₂ (Gorh *et al.* 2019). Dekomposisi bahan organik dapat terjadi melalui fermentasi metagonik yang menghasilkan CH₄ dan CO₂.

Methanogenesis yang memerlukan kondisi potensial redoks hanya dapat dilakukan oleh mikroba anaerobik yang disebut dengan *Methanogenic archaea*, yang dapat bekerjasama dengan bakteri lain. Methanogens pada tanah sawah dapat menghasilkan CH₄ dari hasil reduksi CO₂ dan H₂ (*hydrogenotrophic*) atau dari fermentasi asetat menjadi CH₄ dan CO₂ (*acetoclastic*), atau reduksi metanol menjadi CH₄ (Galic *et al.* 2020).

Mekanisme perjalanan CH₄ ke atmosfer ada 3 (tiga) cara yaitu: difusi molekul (gas metan dengan sendirinya akan teremisi dari lapisan air, Kecepatan difusi gas metan dipengaruhi oleh absorpsi gas metan oleh bakteri *methanotroph*), ebulisiasi (gelembung gas), dan melalui tanaman. Total CH₄ diemisikan pada lahan sawah di daerah iklim sedang lebih dari 90% melalui tanaman, sementara itu di daerah tropika sebagian besar CH₄ diemisikan melalui ebulisiasi, khususnya selama awal musim tanam dan pada daerah yang menggunakan masukan bahan organik tinggi. ebulisiasi terjadi langsung dari permukaan tanah karena tanah memperoleh aktivitas fisik seperti pengolahan tanah, pengendalian gulma, dan penggenangan (Win *et al.* 2021).

Tanaman sebagai perantara perjalanan CH_4 merupakan mekanisme utama emisi CH_4 dari lahan sawah terutama di daerah beriklim sedang dan berkontribusi 50-90% dari total emisi CH_4 . Metana dibawa ke akar tanaman melalui ruang *intersellular lysigenous* dan *aerenchyma*, dan dilepaskan ke atmosfer melalui suatu rongga kecil, suatu pori mikro pada permukaan daun bagian bawah dan melalui stomata pada pundi-pundi daun. Aerenkim berfungsi untuk respirasi akar yaitu mentransportasikan oksigen ke arah akar atau sebaliknya. Gas metana masuk ke jaringan epidermis akar dan ikut terdifusi melalui sistem pengangkutan air dan masuk ke aerenkim sampai akhirnya teremisikan ke atmosfer (Jiang *et al.* 2019). Bakteri metanotrof mengoksidasi CH_4 dengan bantuan enzim *methanemonooxygenase*. Laju oksidasi metana meningkat pada suhu 5 °C ke 36 °C (Galic *et al.* 2020). Suhu 25-35 °C dan pH 6-8 adalah kondisi optimum untuk oksidasi metana di tanah sawah.

ANALISIS DAN ALTERNATIF SOLUSI/PENANGANAN

Upaya Menurunkan Emisi Metana Pada Padi Sawah Organik

Pada padi sawah organik diperlukan beberapa strategi untuk menurunkan emisi metana karena lahan sawah di Indonesia umumnya dikelola melalui penggenangan air. Kondisi ini merupakan kondisi ideal untuk pembentukan metana. Areal sawah dengan budidaya padi organik juga memiliki potensi menjadi areal penyimpanan dan penyerap emisi karbon sebesar 8,5% (Ayyubi *et al.* 2024). Budidaya padi sawah memberikan sumbangan gas metana disebabkan adanya bakteri metanogen yang didukung dengan keadaan tanah yang anaerob, sehingga bakteri metanogen dapat membentuk metana. Peran yang dimiliki oleh padi dalam pembentukan metana diawali dengan kondisi dimana padi melepaskan gas metana melalui dekomposisi bahan organik yang didukung oleh keadaan anaerobik akibat penggenangan. Emisi gas metana dapat ditekan antara lain dengan pemilihan varietas, penggunaan pupuk anorganik, pengaturan air irigasi (Hernawati 2021; Supriyo *et al.* 2020; Kaswanto *et al.* 2008). Praktik manajemen yang sesuai telah dikembangkan untuk mencapai peningkatan hasil panen padi dan mitigasi emisi GRK, yang meliputi pengembangan varietas padi baru, pengelolaan

residu panen, aplikasi pupuk organik, dan pengelolaan air irigasi (Rejekiningrum dan Kartiwa 2022; Win *et al.* 2021; Wiyono *et al.* 2015).

a. Pengelolaan air irigasi

Penggenangan terus-menerus pada budidaya padi sawah membuat tanah menjadi anaerob, hal tersebut dapat meningkatkan aktivitas bakteri metanogen yang kemudian menghasilkan emisi gas metana. Untuk mengurangi emisi metana irigasi padi secara intermiten merupakan salah satunya. Irigasi intermiten disebut juga irigasi berselang. Tanaman padi hanya digenangi pada periode kritis pertumbuhan padi yang memerlukan air lebih banyak. Pengelolaan air sawah secara intermiten tersebut menjadi efisien dengan pengaturan penggenangan sehingga lebih banyak udara ke dalam tanah untuk mengurangi kondisi anaerob yang menghasilkan metana (Toma *et al.* 2021). Pada penelitian Supriyo *et al.* (2020) dengan menerapkan irigasi berselang pada budidaya padi secara Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) ternyata memberikan hasil tertinggi 5,219 t Gkp/ha meningkatkan hasil 30% di atas kontrol dan menurunkan emisi gas metana sebesar 13,62 % di bawah kontrol. Pengelolaan air irigasi dengan pembasahan dan pengeringan diketahui dapat memitigasi emisi gas rumah kaca baik metana dan nitrogen oksida dari lahan sawah (Islam *et al.* 2020).

Pada penelitian Win *et al.* (2021) juga menyatakan emisi metana padi yang digenangi terus menerus meningkat setelah 2 minggu setelah pindah tanam sedangkan pada lahan sawah yang diaplikasikan pengairan berselang emisi metana cenderung lebih rendah terutama pada penanaman padi di musim penghujan. Selama musim hujan kebutuhan air terpenuhi dengan baik, sehingga penggenangan terus menerus cenderung mengemisi metana lebih tinggi.

Emisi metana pada aplikasi pupuk kotoran sapi juga menunjukkan hasil yang sama. Emisi gas rumah kaca lebih tinggi pada lahan sawah yang terus digenangi baik pada musim kemarau maupun pada musim hujan. pengelolaan air dan penambahan bahan organik adalah dua pendorong utama produksi metana. Dalam kondisi tanah anaerobik, metanogen (bakteri penghasil metana) menghasilkan metana melalui oksidasi bahan organik selama respirasi anaerobik (Win *et al.* 2021). Pemberian pupuk kotoran sapi menjadi pendorong produksi metana karena

bakteri metanogen bekerja mendekomposisi bahan organik dan kondisi anaerob semakin mendukung oksidasi bahan organik menjadi metan.

b. Pemilihan varietas padi rendah emisi

Metode menurunkan emisi selanjutnya ialah memilih varietas padi yang rendah emisi. Memilih varietas padi yang memiliki produktivitas tinggi dan emisi GRK yang rendah sangat penting untuk meningkatkan hasil panen dan memitigasi perubahan iklim. Analisis sifat morfologi padi dan tingkat emisi menunjukkan bahwa akar, biomassa, jumlah anakan, dan berat bahan kering biomassa di atas permukaan tanah perlu dipertimbangkan dalam program pemuliaan padi untuk mengurangi emisi CH_4 (Yagi *et al.* 2020).

Varietas/kultivar padi berpengaruh terhadap besarnya emisi metana karena berkaitan dengan perbedaan perakaran, produksi biomassa dan jumlah anakan. Produksi metana atau pelepasan metana dari tanaman padi dipengaruhi juga oleh jumlah aerenchima tanaman, volume akar, kemampuan oksidasi metana, eksudat akar dan aktivitas mikroba di area perakaran tanaman. Semakin banyak jumlah daun dan jumlah anakan akan meningkatkan emisi metana, semakin besar volume akar akan meningkatkan emisi metana dan semakin lama umur panen padi akan meningkatkan emisi metana. Hasil penelitian Setyanto *et al.* (2014) yang menggunakan kultivar IR-64, Way Oporu, Memberamo dan Cisadane mengemisikan metana masing-masing sebesar 37,7, 58,9, 61,1 dan 94,8 kg/ha. Kultivar IR-64 menghasilkan emisi metana paling rendah dengan produksi gabah yang tidak berbeda nyata dengan kultivar lainnya. Untuk di Indonesia, Varietas IR64 dinilai baik untuk menurunkan kadar emisi metana. Sedangkan varietas Cisadane memiliki kecenderungan mengemisikan metana lebih tinggi. Kultivar IR-64 umur panennya 81-85 hari, sedang cisadane umur panen 135-140 hari. IR-64 memiliki umur panen yang lebih pendek. Tinggi tanaman IR-64 lebih pendek dan jumlah anakan IR-64 lebih sedikit. Hal tersebut menunjukkan karakteristik fisik dan morfologis padi berpengaruh terhadap kemampuan emisi metana pada tanaman padi.

Varietas padi hibrida dengan biomassa tunas 50-60% lebih tinggi mengemisikan lebih sedikit CH_4 daripada varietas padi indica, kemungkinan karena aktivitas oksidasi CH_4 yang lebih tinggi (Win *et al.* 2021). Ketika membandingkan dua varietas padi, total emisi

kumulatif CH_4 secara signifikan lebih tinggi pada varietas Manawthukha (1,084 g CH_4 /kg tanah) dibandingkan dengan varietas IR-50 (0,683 g CH_4 /kg tanah) ($P < 0,0046$). Varietas IR-50 mengurangi emisi kumulatif CH_4 sebesar 37% dibandingkan dengan varietas Manawthukha. Selama musim tanam padi, emisi kumulatif CH_4 lebih tinggi pada tahap pertumbuhan selanjutnya (reproduksi dan pematangan) dibandingkan dengan tahap pertumbuhan vegetatif. Varietas padi hibrida dengan biomassa tunas 50-60% lebih tinggi mengemisikan lebih sedikit CH_4 daripada varietas padi indica, karena aktivitas oksidasi CH_4 yang lebih tinggi (Win *et al.* 2021). Varietas Manawthukha, yang memiliki durasi pertumbuhan yang lebih panjang, mengeluarkan lebih banyak emisi CH_4 dibandingkan IR-50, yang memiliki durasi pertumbuhan yang lebih pendek.

c. Pengomposan bahan organik

Metode ketiga dalam menurunkan emisi metana ialah mengelola sisa-sisa tanaman secara tepat dengan mengomposkannya sehingga dapat mengurangi produksi metana. Smith *et al.* (2021) menyatakan pembakaran residu panen adalah salah satu penyumbang gas rumah kaca, petani sering tidak mengolah brangkas hasil panen padahal sisa hasil panen tersebut memiliki potensi besar untuk penambahan bahan organik tanah sekaligus mengurangi emisi GRK dengan mengomposkannya. Bahan organik yang telah dikomposkan memiliki C/N ratio yang rendah. Pemberian bahan organik bernisbah C/N rendah cenderung mengemisikan gas metana lebih rendah daripada bahan organik segar Kompos matang memiliki C/N ratio yang rendah. Kompos jerami mengemisikan metana 38,05 % lebih rendah daripada jerami jerami segar di lahan sawah (Wiharjaka dan Harsanti 2021). Pengomposan jerami padi sebagai salah satu pengelolaan bahan organik merupakan salah satu usaha mitigasi emisi gas metana (Yagi *et al.* 2020).

Kotoran ternak merupakan penyumbang emisi metana yang besar, kita dapat mengurangi emisi gas metananya dengan mengomposkan kotoran ternak tersebut menjadi pupuk kandang. Pemberian bahan organik berupa kompos berpotensi lebih optimal dalam meningkatkan produksi padi dan menurunkan emisi CH_4 di lahan sawah tadah hujan (Yunianti *et al.* 2020). Penggunaan bahan (pupuk) organik pada lahan sawah akan menurunkan produksi metana apabila C/N rasionya rendah.

Emisi metana dari sawah secara langsung atau tidak langsung dipengaruhi oleh aplikasi C dan N. Penambahan substrat C organik tersebut dalam tanah meningkatkan emisi (Islam *et al.* 2020). peningkatan pasokan C karena aplikasi kotoran ternak yang mungkin telah meningkatkan aktivitas mikroba dan menurunkan potensi redoks tanah. Untuk meningkatkan kadar N dalam tanah kita dapat menambahkan pupuk hijau terutama dari famili Leguminosae. Pupuk hijau tersebut mulai membusuk ketika dimasukkan ke dalam tanah, dan C yang membusuk dilepaskan sebagai CO₂ dalam kondisi tanah aerobik sebelum irigasi untuk padi penanaman. Oleh karena itu, pemberian pupuk hijau lebih awal dilakukan ke lahan sawah dapat mengurangi sumber C dari CH₄ selama masa tanam padi (Toma *et al.* 2021).

Aplikasi jerami padi (nisbah C/N tinggi) meningkatkan produksi metana secara nyata, sedangkan penambahan kompos (telah terhumifikasi, nisbah C/N rendah) tidak memberikan pengaruh. Hal ini dimungkinkan karena mikroba methanogenesis kecukupan sumber C organik dari bahan jerami untuk memproduksi metana. Penggunaan jerami yang telah dikomposkan sempurna dapat menurunkan 49% emisi metana dibandingkan tanpa dikomposkan dahulu. Penggunaan jerami segar 3 bulan sebelum tanam dapat menurunkan 23% emisi metana dibandingkan dengan sesaat sebelum tanam. Bakteri metanogen hanya dapat menggunakan beberapa jenis substrat sebagai sumber C dan energi, yaitu CO₂, CO, asam format dan beberapa senyawa termetilasi seperti metanol, asetat, trimetilamin, dimetilsulfid (Jiang *et al.* 2019). Oleh karena itu bahan organik harus didekomposisikan terlebih dahulu oleh spesies-spesies mikroba melalui proses fermentasi sekuensial menjadi senyawa yang sesuai dengan kebutuhan substrat bakteri metanogen.

d. Memilih bahan organik yang tepat

Metode terakhir ialah cermat dalam menggunakan pupuk organik yang dapat membantu mengurangi emisi metana. Laju dan tingkat produksi metana tergantung dari jumlah dan kualitas bahan organik yang diaplikasikan. Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam termasuk limbah yang dapat menjadi sumber bahan organik, bahan organik tersebut akan menjaga biodiversitas organisme tanah yang berperan meningkatkan produktivitas lahan dan mengurangi emisi metana. Pemanfaatan

biodiversitas organisme ini tidak hanya untuk tanah tapi juga dapat mengurangi serangan penyakit pada padi sawah (Mumpuni dan Rohmah 2021; Indriana dan Akbar 2024). Pemilihan bahan organik yang tepat perlu dilakukan sebagai upaya untuk mengurangi emisi CH₄ tanpa mengabaikan produktivitas tanah dan tanaman. Jenis-jenis bahan organik yang dapat ditambahkan ke lahan sawah untuk meningkatkan kesuburan tanah antara lain pupuk hijau, pupuk kandang dan pupuk kompos.

a) Pupuk hijau

Pupuk hijau adalah bahan tanaman, biasanya legum yang ditanam ke dalam tanah saat masih hijau untuk memperkaya bahan organik dan unsur hara, terutama N dalam tanah. Pupuk hijau adalah pilihan terbaik bahan organik tersedia dalam budidaya padi untuk memenuhi kebutuhan N tanaman dengan secara aman dan berkelanjutan. Pada dasarnya, pupuk hijau dibedakan menjadi dua jenis, yaitu: pupuk hijau legum dan non legum. Tanaman jenis legum merupakan jenis pupuk hijau utama, karena kandungan haranya terutama N relatif lebih tinggi dibanding tanaman nonlegum dan penyediaan haranya juga lebih cepat karena relatif lebih mudah terdekomposisi (Winarni 2018). Keberadaan tanaman legum yang melimpah di daerah tropis, memungkinkan penggunaannya sebagai alternatif sumber bahan organik. Tanaman legum selain lebih cepat terdekomposisi juga mempunyai kandungan N yang cukup tinggi untuk menyeimbangkan C/N ratio. Penelitian Toma *et al.* (2021) menggunakan pupuk hijau dari famili legume yang diaplikasikan ke tanah sawah yang diberi perlakuan penggenangan terus menerus dan irigasi berselang, ternyata dengan kombinasi perlakuan pupuk hijau dan irigasi berselang lebih efektif menurunkan emisi metana. Selain karena pengaruh hilangnya kondisi anaerob karena irigasi berselang juga dipengaruhi meningkatnya kadar N di tanah sehingga nisbah C/N lebih rendah.

b) Pupuk kompos

Penambahan pupuk kompos sangat umum dilakukan oleh petani sebagai salah satu sumber bahan organik. Pupuk organik dalam bentuk yang telah dikomposkan atau segar berperan penting dalam perbaikan sifat kimia, fisika dan biologi tanah serta berfungsi sebagai sumber nutrisi tanaman. Sumber bahan kompos antara lain berasal dari limbah organik seperti sisa-sisa tanaman (jerami, batang, cabang), sampah rumah

tangga, kotoran ternak (sapi, kambing, ayam), arang sekam, abu dapur. Menurut penelitian Yunianti *et al.* (2020) yang menggunakan kompos 5 ton/ha, 2) jerami padi 5 ton/ha, 3) biokompos 5 ton/ha pemberian bahan organik berupa kompos berpotensi lebih optimal dalam meningkatkan produksi padi dan menurunkan emisi CH_4 di lahan sawah tadah hujan dibandingkan jerami padi dan biokompos.

c) Pupuk kandang

Pupuk kandang merupakan salah satu jenis pupuk organik yang berupa campuran kotoran padat, air kencing, dan sisa makanan (tanaman). Sebagian dari padatan yang terdapat dalam pupuk kandang terdiri dari senyawa organik serupa dengan bahan makanannya, antara lain selulosa, pati, dan gula, hemiselulosa dan lignin seperti yang kita jumpai dalam humus ligno-protein. Dengan demikian susunan kimianya tergantung dari jenis ternak, umur dan keadaan hewan, dan cara penyimpanan pupuk sebelum dipakai. Pupuk organik, seperti pupuk dari kotoran unggas yang mengandung N total tinggi ($>4\%$) dan P dan K moderat, lebih mempengaruhi hasil tanaman (Moe *et al.* 2019).

Kotoran ternak merupakan penyumbang emisi metana yang besar. Emisi metana terbesar di bidang pertanian berasal dari pencernaan ternak ruminansia dan kotorannya sebesar 31% dari total emisi metana (UNEP dan WMO 2022). Menurut Elizabeth (2021) kandungan gas CH_4 dalam biogas yang berasal dari kotoran ternak sapi kurang lebih 60%. Kotoran ternak tersebut dapat diolah menjadi biogas. Penggunaan biogas merupakan pilihan tepat sebagai bioenergi dan pupuk, serta diperolehnya keuntungan ganda (*multi margin*), pemberdayaan ekonomi dan kelestarian lingkungan. Emisi metana juga dapat diturunkan ketika kotoran ternak kita olah menjadi kompos, pada penelitian Pertiwinigrum *et al.* (2022) aplikasi kotoran ternak segar, dan dibenam memberikan emisi metana tertinggi 3 minggu setelah aplikasi dan pemberian kompos menunjukkan emisi metana terus rendah selama aplikasi. Penelitian tersebut menunjukkan peningkatan pasokan C karena aplikasi kotoran ternak yang mungkin telah meningkatkan aktivitas mikroba dan menurunkan potensi redoks tanah, sedangkan kompos yang memiliki pasokan C lebih rendah cenderung meningkatkan potensi redoks tanah dan menekan aktivitas mikroba. Diantara kotoran ternak unggas, kambing dan sapi. Kotoran unggas yang dikomposkan memiliki

kadar nitrogen tertinggi sehingga memiliki potensi menurunkan nisbah C/N yang artinya juga akan menurunkan emisi metana jika diaplikasikan ke tanah sawah.

Optimalisasi aplikasi berbagai teknik budidaya padi organik di tingkat petani diharapkan dapat menurunkan emisi GRK terutama gas metana. Berbagai usaha di atas tentu dapat diwujudkan dengan peran aktif semua pihak seperti penyuluh pertanian, dinas pertanian dan pemerintah demi pertanian yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [EDGAR] Emissions Database for Global Atmospheric Research. 2023. GHG Emissions of All World Countries. [internet]. [diakses Desember 2023]. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023
- Adrian A, Widiatmaka, Munibah K, Firmansyah I. 2024. Desain Regulasi Spasial Lanskap Lahan Pertanian untuk Kemandirian Pangan Kabupaten Majalengka hingga Tahun 2045. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 11(2): 113-123. DOI: 10.29244/jkebijakan.v11i2.56379
- Afrianti C, Widiarti NM, Akbar IZ, Rachmanto EP, Hanif MF, Amin RA, Kaswanto RL, Wiyoga H, Mosyafitiani A. 2024. An Assessment of Urban Forest Landscape Services for Green Space Management Improvement in Bandung City, West Java, Indonesia. *BIO Web of Conferences* 94: 04006. EDP Sciences. DOI: bioconf/20249404006.
- Akbar IZ, Afrianti C, Kaswanto RL, Wiyoga H, Mosyafitiani A. 2025. The Role of Monitoring Carbon Storage and Sequestration in Advancing the Vision of Forest City: Lesson Learned from Urban Forest Assessment in Bandung, West Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1447(1): 012026. IOP Publishing.
- Ayyubi MS, Arifin HS, Kaswanto RL. 2024. Rekomendasi Strategi Pengelolaan Lanskap Publik Ruang Terbuka Hijau dan Biru di Kota Bogor. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 11(2): 102-112. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v11i2.57137>.
- Candraningtyas CF, Indrawan M. 2023. Analisis Efektivitas Penggunaan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) untuk

- Peningkatan Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 10(2): 88-99.
- De Tombeur F, Sohy V, Chenu C, Colinet G, Cornelis JT. 2018. Effects of Permaculture Practices on Soil Physicochemical Properties and Organic Matter Distribution in Aggregates: A Case Study of the Bec-Hellouin Farm (France). *Front. Environ. Sci.* 116. DOI: 10.3389/fenvs.2018.001.
- Elizabeth R. 2021. Pemakaian Biogas: Hemat Biaya Bahan Bakar dan Tambahan Pendapatan Rumah Tangga Mendukung Ketahanan Energi. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 8(3): 151-175.
- Fitriyati N, Arifin HS, Kaswanto RL, Marimin. 2024. Model Mitigasi Banjir Kota Bekasi untuk Resiliensi Perkotaan. *Journal Policy Brief Pertanian, Kelautan, dan Biosains Tropika* 6(4): 1090-1096.
- Galic M, Mesic M, Zgorelec Z, 2020. Influence of Organic and Mineral Fertilization on Soil Greenhouse Gas Emissions. A review. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 85(1): 1-8.
- Gorh D, Baruah KK. 2019. Estimation of Methane and Nitrous Oxide Emission from Wetland Rice Paddies with Reference to Global Warming Potential. *Environ Sci Pollut Res* 26: 16331–16344. DOI: 10.1007/s11356-019-05026-z.
- Hernawati H. 2021. Analisis Efisiensi Teknis Usahatani Padi Lahan Irigasi di Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 8(2): 87-91. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v8i2.28037>.
- Holka M, Kowalska J, Jakubowska M. 2022. Reducing Carbon Footprint of Agriculture - Can Organic Farming Help to Mitigate Climate Change? *Agriculture* 12(9): 1383. DOI: 10.3390/agriculture12091383.
- Indriana H, Akbar H. 2024. Tipologi Konformitas Sosial Kelompok Petani Kecil dalam Merespon Kebijakan Pertanian Organik di Tasikmalaya Jawa Barat. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 11(2): 92-101. DOI: 10.29244/jkebijakan.v11i2.56645.
- Islam SFU, Sander BO, Quilty JR, De Neergaard A, Van Groenigen JW, Jensen LS. 2020. Mitigation of Greenhouse Gas Emissions and Reduced Irrigation Water Use in Rice Production through Water-Saving Irrigation Scheduling, Reduced Tillage and Fertilizer Application Strategies. *Science of the Total Environment* 739: 140215. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140215.
- Jiang J, Wang Y, Liu J, Yang X, Ren Y, Miao H, Pan Y, Lu J, Yan G, Ding L, Li Y. 2019. Exploring the Mechanisms of Organic Matter Degradation and Methane Emission during Sewage Sludge Composting with Added Vesuvianite: Insights into The Prediction of Microbial Metabolic Function and Enzymatic Activity. *Bioresource Technology* 286: 121397. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121397>.
- Kaswanto RL, Arifin HS, Munandar A, Iiyama K. 2008. Sustainable Water Management in the Rural Landscape of Cianjur Watershed, Cianjur District, West Java, Indonesia. *J Intern Soci Southeast Asian Agric Sci (ISSAAS)* 14(1): 33-45.
- Ma N, Liu X, Wang L, Liu G. 2024. A Meta-Analysis on The Mitigation Measures of Methane Emissions in Chinese Rice Paddy. *Resources, Conservation and Recycling* 202: 107379. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107379>.
- Moe K, Seinn M, Htwe AZ, Kajihara Y, Yamakawa T. 2019. Effects of Integrated Organic and Inorganic Fertilizers on Yield and Growth Parameters of Rice Varieties. *Rice Science* 26(5): 309-318. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2019.08.005>.
- Mucharam I, Rustiadi E, Fauzi A. 2022. Signifikansi Pengembangan Indikator Pertanian Berkelanjutan untuk Mengevaluasi Kinerja Pembangunan Pertanian Indonesia. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 9(2): 61-81.
- Mumpuni RP, Rohmah AJ. 2021. Application of Biological Control *Paenibacillus polymyxa* toward Bacterial Leaf Blight Disease in Rice Plant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 637(1): 012040.
- Pertiwinigrum A, Wuri MA, Setiyana D, Purwanto BH, Harto AW, Gozan M. 2020. Evaluation of Methane and Carbon Dioxide Emissions from Livestock Waste, Compost, and Biogas Sludge. *Geomate Journal* 18(68): 35-40. <https://doi.org/10.21660/2020.68.5592>.
- Qodri A, Iqbal M, Rachbini EM. 2024. Kompleksitas Ekonomi Perdagangan

- sebagai Upaya Menurunkan Emisi Nitrogen Dioksida: EKC Negara G20. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 11(2). DOI: 10.29244/jkebijakan.v11i2.56511.
- Rejekiningrum P, Kartiwa B. 2022. Kontribusi Pembangunan Infrastruktur Panen Air terhadap Peningkatan Pendapatan dan Kesejahteraan Petani. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 9(1): 37-51. DOI: 10.29244/jkebijakan.v9i1.28073.
- Smith P, Reay D, Smith J. 2021. Agricultural Methane Emissions and the Potential for Mitigation. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 379(2210): 20200451. <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0451>.
- SNI. 2016. SNI 6729-2016 Sistem Pertanian Organik. Standar Nasional Indonesia.
- Supriyo A, Hindarwati Y, Nurlaily R. 2020. Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) Padi Ramah Lingkungan terhadap Hasil Padi dan Emisi Gas Rumah Kaca di Lahan Sawah Irigasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 18(1): 15-22. DOI: 10.14710/jil.18.1.15-22.
- Toma Y, Takechi Y, Inoue A, Nakaya N, Hosoya K, Yamashita Y, Adachi M, Kono T, Hideto U. 2021. Early Mid-Season Drainage Can Mitigate Greenhouse Gas Emission from Organic Rice Farming with Green Manure Application. *Soil Science and Plant Nutrition* 67(4): 482-492. DOI: 10.1080/00380768.2021.1927832.
- UNEP, WMO. 2022. Scientific Assessment of Ozone Depletion. United Nations Environment Programme (UNEP) and World Meteorology Organisation (WMO).
- Wihardjaka A, E Harsanti. 2021. Dukungan Pupuk Organik untuk Memperbaiki Kualitas Tanah pada Pengelolaan Padi Sawah Ramah Lingkungan. *Jurnal Pangan* 30(1): 53-64.
- Win EP, Win KK, Bellingrath-Kimura SD, Oo AZ. 2021. Influence of Rice Varieties, Organic Manure and Water Management on Greenhouse Gas Emissions from Paddy Rice Soils. *PLoS One* 6(6): 0253755. <https://doi.org/10.24246/agric.2022.v34.i2.p197-210>.
- Yagi K, Sriphirom P, Cha-un N, Fusuwanakaya K., Chidthaisong A, Damen B, Towprayoon S. 2020. Potential and Promisingness of Technical Options for Mitigating Greenhouse Gas Emissions from Rice Cultivation in Southeast Asian Countries. *Soil Science and Plant Nutrition* 66(1): 37-49. <https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1683890>.
- Yunianti IF, Yulianingrum H, Ariani M. 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. DOI:10.20886/jklh.2020.14.2.79-90.
- Winarni M. 2018. Peningkatan Pertumbuhan dan Hasil Padi Sawah Organik dengan Berbagai Macam Aplikasi Pupuk Hijau Glirisidia. *Jurnal Agri-Tek: Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Eksakta* 19(2): 1-6. <https://doi.org/10.33319/agtek.v19i2.16>.
- Wiyono S, Widodo, Triwidodo H. 2015. Mengelola Ledakan Hama dan Penyakit Padi Sawah pada Agroekosistem yang Fragil dengan Pengendalian Hama Terpadu Biointensif. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 1(2): 116-120.
- Zhang M, Yao Y, Tian Y, Ceng K, Zhao M, Zhao M, Yin B. 2018. Increasing Yield and N Use Efficiency with Organic Fertilizer in Chinese Intensive Rice Cropping Systems. *Field Crops Research* 227: 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.08.010>.