



Potensi Ancaman dan Upaya Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca di Sektor Pertanian Indonesia: Tinjauan Sistematis atas Literatur

Azka Sinatrya^{1*}, Indah Retno Wulan¹, Jeane Claudea Tanjung¹,
Sahidatun Fahima¹, Prieskarinda Lestari¹, Ngadisih¹

¹. Program Studi Magister Teknik Pertanian Universitas Gadjah Mada

*E-mail: azkasinatrya@gmail.com

Abstract

Agriculture in Indonesia is a vital sector that can fulfill food needs and provide livelihoods. However, agriculture also contributes to greenhouse gas (GHG) emissions. Indonesia's agricultural sector contributes around 14% of emissions globally and 7% nationally. Greenhouse gas emissions such as methane gas CH₄, carbon dioxide CO₂, and nitrous oxide N₂O are generated from agricultural activities ranging from land preparation, fertilization, transportation of agricultural products, to processing in factories. These greenhouse gas emissions influence the climate change that occurs and affect the increase in temperature and rainfall patterns. In mitigation efforts, this study noted several steps taken. Energy conversion, such as the use of biogas from animal manure can reduce CH₄ emissions and the use of pellets from palm waste processing can reduce CO₂ emissions. Reforestation with special carbon-absorbing plants to reduce CO₂ emissions. The use of organic fertilizers as a partial replacement for inorganic fertilizers is useful in reducing CH₄ and N₂O emissions. Through this systematic review, it is expected to contribute to the understanding of the role of the agricultural sector in greenhouse gas emissions in Indonesia and provide insight into mitigation efforts that can be applied in achieving sustainable agriculture.

Keywords: *emission; green house gasses; agriculture; mitigation.*

Abstrak

Pertanian di Indonesia merupakan sektor vital yang dapat memenuhi kebutuhan pangan dan sebagai mata pencaharian. Namun pertanian juga turut berkontribusi pada emisi gas rumah kaca (GRK). Sektor pertanian Indonesia menyumbang sekitar 14% emisi secara global dan 7% secara nasional. Emisi gas rumah kaca seperti gas metan (CH₄), karbon dioksida (CO₂), dan dinitrogen oksida (N₂O). dihasilkan dari kegiatan pertanian mulai dari persiapan lahan, pemupukan, transportasi hasil pertanian, hingga proses pengolahan pada pabrik. Emisi gas rumah kaca tersebut mempengaruhi perubahan iklim yang terjadi dan berpengaruh pada peningkatan suhu dan pola curah hujan. Dalam upaya mitigasi, penelitian ini mencatat beberapa langkah yang diambil. Pengkonversian energi, seperti penggunaan biogas dari kotoran hewan dapat mengurangi emisi CH₄ dan penggunaan pelet hasil proses limbah sawit dapat mengurangi emisi CO₂. Reboisasi dengan tanaman khusus penyerap karbon untuk mengurangi emisi CO₂. Pemanfaatan pupuk organik sebagai pengganti sebagian pupuk anorganik berguna dalam mengurangi emisi CH₄ dan N₂O. Melalui tinjauan sistematis ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pemahaman peran sektor pertanian dalam emisi gas rumah kaca di Indonesia serta memberikan wawasan terkait upaya mitigasi yang dapat diterapkan dalam mencapai pertanian yang berkelanjutan.

Kata Kunci: *emisi; gas rumah kaca; pertanian; mitigasi.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris dengan lahan pertanian yang luas. Pertanian sendiri memiliki andil dalam pemenuhan kebutuhan masyarakat akan pangan. Pertanian memiliki pengertian yang luas meliputi beberapa bidang. Sebagai contoh praktek budidaya padi, jagung, dan kedelai yang masuk pada bidang pertanian; praktek budidaya sawit, kopi, teh, hingga kakao masuk bidang perkebunan; beternak ayam, kambing hingga sapi dikategorikan bidang peternakan; kegiatan budidaya ikan yang masuk bidang perikanan; sampai kegiatan di area hutan yang masuk bidang kehutanan (Soetrisno dan Suwandri, 2016 dalam Sasmita *et al*, 2021). Bidang pertanian juga menjadi mata pencaharian bagi sebagian penduduk Indonesia. Dari hal tersebut, pertanian sangat berperan dalam hal kesejahteraan masyarakat. Kesejahteraan berkaitan dengan taraf hidup masyarakat. Tak jarang di beberapa atau kebanyakan daerah pertanian menjadi sektor yang mempengaruhi laju pertumbuhan ekonomi (Kusumaningrum, 2019 dan Parmadi *et al*, 2018). Adanya kejadian perubahan iklim dapat mempengaruhi produktivitas pertanian yang berujung pada turunnya perekonomian di sektor pertanian.

Kegiatan sektor pertanian menghasilkan dampak positif terutama dalam penyediaan pangan atau kebutuhan primer manusia yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Namun disisi lain sektor pertanian juga memberikan dampak negatif seperti berperan dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) yaitu dengan persentase sekitar 14% untuk skala global dan 7% untuk skala nasional (Ariani *et al*, 2015 dalam Komarudin *et al*, 2022; Mustikaningrum *et al*, 2021; dan Purnamasari *et al*, 2019). Gas rumah kaca yang dihasilkan pada kegiatan pertanian dapat melalui pemupukan, pengelolaan tanah, penggunaan dolomit / kapur, pembakaran biomassa, pengelolaan kotoran hewan, hingga proses pencernaan hewan ternak (Purnamasari *et al*, 2019; Sasmita *et al*, 2021; dan Syarifuddin *et al*, 2019). Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan pada sektor pertanian diantaranya gas metan (CH₄), karbon dioksida (CO₂), dan dinitrogen oksida (N₂O) (Masturi *et al*, 2021; Mustikaningrum *et al*, 2021; Purnamasari *et al*, 2019; Sasmita *et al*, 2021; dan Syarifuddin *et al*, 2019). CH₄ salah satunya diperoleh dari kegiatan pengolahan limbah organik, CO₂ dihasilkan melalui pengelolaan tanah dan penggunaan energi, dan N₂O dari kegiatan pemupukan di pertanian. Aktivitas manusia terutama di sektor pertanian dalam berjalannya waktu semakin meningkatkan konsentrasi GRK.

Emisi GRK yang dihasilkan dari kegiatan pertanian akan berpengaruh pada perubahan iklim. Perubahan iklim yang dirasakan yaitu peningkatan suhu permukaan bumi. Dalam 100 tahun terakhir, terjadi peningkatan suhu permukaan bumi hingga 0,6°C (Masturi *et al*, 2021; Pramono dan Sadmaka, 2018). Perubahan iklim juga mempengaruhi curah hujan yang nantinya mempengaruhi produktivitas pada tanaman pertanian. Pada keadaan perubahan iklim yang ekstrim seperti kekeringan pada waktu *El Nino* atau musim hujan yang panjang saat *La Nina*, tidak jarang mengakibatkan penurunan produktivitas pada komoditas pertanian (Pramono dan Sadmaka, 2018). Jika produktivitas pertanian terdampak maka akan berpengaruh pada ketahanan pangan.

Iklim dan pertanian memiliki hubungan yang sangat erat. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, setiap kegiatan dalam pertanian akan mempengaruhi iklim dan sebaliknya sehingga membentuk semacam siklus. Hal ini menjadi dasar dilakukannya upaya perbaikan terutama di kegiatan perekayasa pertanian, dalam hal ini terkait upaya pengurangan emisi GRK. Selain pada emisi GRK, alternatif upaya kerekayasa di kegiatan pertanian diharapkan dapat memberi manfaat pada bagian lain di pertanian. Maka penulisan artikel ini diharapkan dapat mengidentifikasi kebenaran terkait peran kegiatan pertanian dalam produksi emisi GRK dan alternatif upaya kerekayasa dalam rangka meminimalisirnya hingga kebermanfaatannya.

METODE PENELITIAN

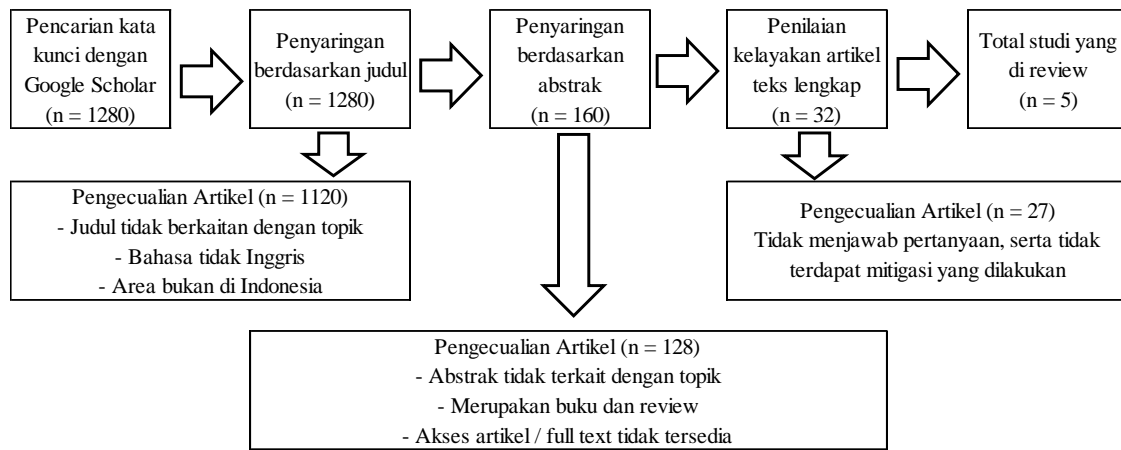
Tinjauan sistematis digunakan pada penelitian ini. Literatur ditinjau secara sistematis dengan tujuan untuk mengidentifikasi serta menilai studi yang berhubungan guna menjawab suatu pertanyaan (Parson *et al*, 2021). Hasil akhir dari tinjauan yaitu mendapatkan ringkasan ilmiah yang didasarkan pada bukti-bukti yang ada. Pada penelitian kami, terdapat dua pertanyaan yang digunakan sebagai acuan. Pertanyaan 1- Sampai sejauh mana sektor pertanian berperan dalam produksi emisi gas rumah kaca? Adanya perhitungan kuantitas dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca pada kegiatan pertanian. Pertanyaan 2- Cara apa saja yang dapat digunakan untuk menekan emisi gas rumah kaca dalam pertanian? Bentuk upaya yang dilakukan seperti apa.

Literatur didapat melalui pencarian pada database di Google Scholar karena kemudahan dalam penggunaannya dan dapat menemukan berbagai sumber informasi dalam satu tempat. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian yaitu "*greenhouse gases emissions*" AND "*agriculture*" AND "Indonesia". Dalam pencarian terdapat batasan-batasan atau kriteria (lihat pada Tabel 1.) sehingga dalam pencariannya tidak terkesan asal. Waktu pencarian dibatasi untuk literatur pada 5 tahun terakhir yaitu pada tahun 2018 – 2023 (hingga akhir Oktober) dan diutamakan untuk pencarian artikel ilmiah. Dalam melakukan pencarian, literatur dibatasi menggunakan Bahasa Inggris. Pemilihan Bahasa Inggris didasari karena sebagian besar artikel terkemuka menggunakan Bahasa Inggris dalam publikasinya. Cakupan bahasan dalam membahas GRK juga dibatasi hanya pada lingkup pertanian dan dalam wilayah Indonesia.

Tabel 1. Kriteria Literatur

Acuan Pertanyaan	Pertanyaan 1 - Sampai sejauh mana sektor pertanian berperan dalam produksi emisi gas rumah kaca? Pertanyaan 2 - Cara apa saja yang dapat digunakan untuk menekan emisi gas rumah kaca dalam pertanian?
Strategi Pencarian	Pencarian melalui Google Scholar dengan kata kunci : " <i>greenhouse gases emissions</i> " AND " <i>agriculture</i> " AND "Indonesia"
Kriteria Seleksi	Cakupan Wilayah : Indonesia (Pembahasan) Bidang : Pertanian Bahasa : Inggris Waktu Artikel : 2018 - 2023 Tipe Literatur : Jurnal / Artikel Research

Literatur abu-abu terkadang bisa masuk dalam tinjauan sistematis (Parson *et al*, 2021). Untuk menghindari hal tersebut, diperlukan pemeriksaan artikel (lihat pada Gambar 1.) untuk lebih memperhatikan kesenjangan yang ada. Awal pencarian dilakukan dengan memasukkan kata kunci yang telah ditentukan pada pencarian Google Scholar. Penyaringan atau pemeriksaan awal dilihat dari judul artikel yang memiliki keterkaitan atau tidak dengan topik yang diambil, bahasa yang digunakan, dan lingkup wilayah yang dibahas. Kemudian dilakukan penyaringan atau pemeriksaan lanjutan yang dilihat dari keterkaitan abstrak dengan topik, tipe literatur, dan ketersediaan *full text*. Pada tahap akhir dilakukan pengecekan literatur secara lengkap dengan memperhatikan jawaban dari acuan pertanyaan. Dari penyaringan tersebut didapat literatur yang telah dinilai secara kelengkapan dan kelayakannya untuk dibahas. Artikel yang sudah disaring tersebut kemudian disintesis untuk mendapatkan data-data yang diperlukan.



Gambar 1. Diagram Alir Pemeriksaan Artikel

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pencarian

Tabel 2 menunjukkan hasil pencarian artikel yang telah memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Dalam artikel tersebut terdapat informasi terkait faktor yang dapat menghasilkan GRK dan penanganannya dalam meminimalisir emisi tersebut. Penelitian yang dibahas mencakup pertanian dalam pengertian yang luas yaitu meliputi pertanian, peternakan, perkebunan hingga kehutanan. Lingkup pertanian yang dikaji mulai dari lingkup pertanian dilahan (persiapan lahan, pemeliharaan, dan pemanenan), transportasi hasil pertanian ke pabrik, hingga proses lanjutan yang dilakukan di pabrik. Faktor penghasil emisi GRK yang ada pada setiap artikel berbeda dalam pembahasannya. Artikel tersebut menjadi dasar pengambilan informasi yang dibutuhkan dalam menanggulangi permasalahan perubahan iklim yang terjadi akibat emisi gas rumah kaca.

Tabel 2. Artikel yang di Review

Penulis	Tahun	Area	Bahasan Pertanian	Kategori Faktor
Wahyudi	2021	Desa Sukoharjo, Kab. Pati, Prov. Jawa Tengah	Peternakan Sapi	Limbah Pertanian
Chew <i>et al</i>	2022	Indonesia	Kelapa Sawit Hulu hingga Hilir	Limbah Pertanian
Iswanto <i>et al</i>	2021	Kab. Kotawaringin Barat, Prov. Kalimantan Tengah	Perkebunan <i>Eucalyptus pellita</i>	Pemupukan dan Limbah Pertanian
Tani <i>et al</i>	2021	Desa Kumpeh Ulu, Kab. Muaro Jambi, Prov. Jambi	Pertanian Jagung	Pemupukan
Hervani <i>et al</i>	2021	Kota Rembang, Prov. Jawa Tengah dan Kota Sukabumi, Prov. Jawa Barat	Pertanian Cabai	Pemupukan

2. Kegiatan Sektor Pertanian Penghasil GRK

a. Proses Lahan, Transportasi dan Proses Pabrik

Penggunaan alat pertanian tidak bisa dilepaskan dari pertanian modern (Cahyaningsih dan Adinugraha, 2022). Tidak jarang pada pertanian dengan skala yang besar penggunaan alat berat dibutuhkan untuk menunjang kecepatan pekerjaan di lahan. Alat berat pertanian sebagai contoh traktor tidak hanya digunakan dalam persiapan lahan saja, tetapi juga digunakan ketika pemanenan. Dalam pengoperasian alat pertanian tersebut menggunakan bahan bakar berupa solar. Bahan bakar solar juga digunakan untuk proses pemindahan hasil panen dari lahan pertanian atau perkebunan ke pabrik untuk nantinya dilakukan proses selanjutnya. Di pabrik pun dalam menghasilkan energi listrik dibutuhkan generator yang juga menggunakan bahan bakar solar. Sebagai contoh pada pabrik *wood pellet* pada proses produksi pabrik, bahan bakar solar dibutuhkan pada proses pengupasan, pengeringan, hingga penyimpanan (Iswanto *et al*, 2021). Bahkan bahan bakar solar menjadi inputan energi yang besar pada produksi *wood pellet*. Selain menjadi energi, bahan bakar solar juga menghasilkan gas polutan berupa CO₂ yang merupakan salah satu emisi GRK. Walau secara jumlah emisi yang dihasilkan kecil namun kegiatan ini memiliki peran dalam perubahan iklim yang terjadi.

b. Pemupukan

Pemupukan merupakan kegiatan dalam pertanian untuk menunjang nutrisi pertumbuhan dari tanaman. Di lain sisi, praktek pemupukan juga menghasilkan emisi gas rumah kaca yang menjadi penyumbang efek perubahan iklim (Jaya *et al*, 2023). Pemupukan yang biasa digunakan pada kegiatan pertanian saat ini yaitu pupuk kimia atau anorganik. Macam pupuk anorganik yang digunakan petani pun beragam mulai dari urea, KCL, SP36, NPK, dolomit, dan lain sebagainya. Penggunaan pupuk anorganik selain memberikan emisi gas rumah kaca juga berbahaya untuk lingkungan terutama tanah dalam jangka panjang. GRK yang dihasilkan pada praktek pemupukan diantaranya yaitu gas nitrogen monoksida (NO), gas CH₄, dan gas N₂O.

Gas CH₄ yang dihasilkan dari kegiatan pemupukan tergantung dari kondisi lingkungan yang nantinya mempengaruhi aktivitas bakteri. Dalam kerjanya, bakteri metanogen akan bekerja lebih baik pada kondisi lahan yang tergenangi air atau anaerob dibandingkan dengan lahan kondisi kering. Ketersediaan air pada lahan pertanian yang dihasilkan dari curah hujan membuat kondisi kering atau basahnya suatu lahan. Pada musim hujan akan mudah dalam pembentukan CH₄ dibandingkan pada musim kemarau. Aktivitas bakteri juga dipengaruhi oleh banyaknya kandungan bahan organik pada tanah. Kombinasi dari keduanya dapat meningkatkan CH₄ pada lahan pertanian. Berdasarkan Tani *et al* (2021), pemberian pupuk anorganik 100% menghasilkan fluks CH₄ terbanyak dibandingkan dengan campurannya dengan pupuk organik. Dolomit yang ada pada pupuk anorganik juga meningkatkan emisi CH₄. Hal tersebut terjadi karena peningkatan pH tanah yang ditimbulkan dari kandungan Ca dan Mg pada dolomit.

Pemberian pupuk anorganik seperti NPK mempengaruhi gas N₂O yang dihasilkan. Pupuk NPK menjadi pilihan dalam penanganan dan perawatan tanaman sehingga dalam rangkaian budidaya terutama tanaman keras dibutuhkan dalam jumlah yang besar (Iswanto *et al*, 2021). Semakin besar pupuk NPK yang digunakan maka semakin besar pula emisinya. Berkebalikan dalam menghasilkan CH₄, fluks N₂O justru lebih besar pada kondisi kering dibandingkan dengan basah. Pada kondisi musim hujan atau dengan tingkat curah hujan yang tinggi akan diikuti dengan tingkat perkolasi atau masuknya air ke tanah yang tinggi pula. Pada kondisi tersebut nitrogen akan tercuci sehingga ketika menjadi gas dan terbuang ke atmosfer jumlahnya jauh menurun (Hervani *et al*, 2021). Emisi gas N₂O dihasilkan dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi.

c. Pengelolaan Limbah Pertanian dan Peternakan

Output yang dihasilkan pada pertanian bukan hanya output yang diinginkan saja seperti buah, biji-bijian, hingga minyak dari kelapa sawit, namun juga menghasilkan output yang tidak diinginkan yaitu limbah baik padatan maupun cair. Limbah pertanian sering tidak dilakukan proses karena membutuhkan waktu dan biaya sehingga prakteknya hanya dibiarkan atau dibuang begitu saja. Pembuangan limbah yang tidak tepat akan menghasilkan gas rumah kaca yang bebas terlepas ke atmosfer. Sebagai contoh pada perkebunan kelapa sawit akan menghasilkan limbah berupa tandan buah kosong, jika tidak dilakukan proses atau hanya dibiarkan ditimbun akan melepaskan 45-52 kg CH₄ per ton produksi minyak kelapa sawit mentah (Saswattacha *et al*, 2015 dalam Chew *et al*, 2022)

Walau terdapat sebagian praktek pertanian yang tidak melakukan pengolahan pada limbah, namun sebagian ada yang melakukan proses untuk mengelola limbahnya. Di Indonesia dalam pengolahan limbah terutama di kelapa sawit dapat dibuat menjadi pelet. Dalam proses pengolahan limbah tersebut juga menghasilkan emisi berupa CO₂ terutama pada air limbah di proses persiapan dan proses pengeringan. Emisi yang dilepaskan ke air limbah merupakan hasil dari peralatan cuci yang secara emisi menyumbang 31,6% hingga 59,9% dari total emisi yang dihasilkan. Emisi yang dilepaskan ke air limbah melalui peralatan cuci bisa mencapai 98,9% emisi yang ada (Chew *et al*, 2022). Hal tersebut terjadi karena nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi akan membuat emisi pada air limbah yang tinggi pula. Sedangkan pada proses pengeringan membutuhkan peralatan seperti kompor yang berfungsi sebagai alat pembakar dapat menyumbangkan emisi 11,9% hingga 36,3% dari total keseluruhan proses (Chew *et al*, 2022). Batu bara yang menjadi bahan bakar utama dalam penghasil panas, memiliki kandungan karbon yang tinggi sehingga konsentrasi karbon monoksida (CO) dan CO₂ yang tinggi selama pembakaran akan terlepas ke atmosfer sehingga emisinya akan tinggi. Walau pembuatan pelet dimaksudkan untuk menjadi bahan bakar alternatif pengganti listrik atau bahan bakar lainnya, namun pada prosesnya tetap menghasilkan emisi.

Sektor peternakan merupakan bagian dari pertanian. Adanya sektor peternakan dapat memenuhi kebutuhan masyarakat akan protein hewani. Namun pada praktek di lapangan, sektor peternakan selain menghasilkan produk berupa daging, susu, maupun turunannya juga menghasilkan limbah yaitu berupa kotoran hewan. Kotoran hewan ini selain menghasilkan bau yang tidak sedap, jika tidak dilakukan pengelolaan maka akan menghasilkan emisi GRK berupa CH₄. Tanpa dilakukan pengelolaan, CH₄ akan terlepas bebas langsung ke atmosfer. Gas CH₄ sendiri memiliki potensi pemanasan global jauh lebih tinggi dibandingkan dengan gas CO₂ yaitu 25 kali lebih tinggi (Wahyudi, 2021).

3. Kegiatan untuk Mengurangi GRK di Sektor Pertanian

a. Pengkonversian Energi

Dalam menangani gas CH₄ yang dihasilkan dari kotoran hewan ternak, agar tidak langsung terbuang bebas ke atmosfer perlu dilakukan pengolahan. Pengolahan yang dimaksud yaitu mengubah kotoran hewan ternak menjadi biogas. Gas CH₄ yang mulanya terlepas ke atmosfer menjadi tersimpan untuk dimanfaatkan. Biogas ini nantinya bisa dimanfaatkan menjadi sumber energi alternatif. Dari kegiatan tersebut emisi gas rumah kaca terutama untuk CH₄ dapat jauh diminimalkan.

Pada skala kecil atau rumah tangga, biogas bisa digunakan untuk memasak menggantikan LPG atau kayu bakar. Emisi yang ditimbulkan dari pemanfaatan biogas ini lebih kecil dibandingkan menggunakan LPG atau kayu bakar (Wahyudi, 2021). Pembakaran kayu bakar menghasilkan emisi 7 kali lipat dibandingkan dengan pembakaran biogas. Besarnya emisi juga menunjukkan tingkat efisiensi pemanfaatan. Pada pembakaran kayu bakar menghasilkan emisi yang tinggi sehingga tingkat

efisiensinya rendah karena energi yang terbuang. Sebaliknya pada pembakaran biogas menghasilkan emisi yang rendah sehingga jauh lebih efisien dalam pemanfaatannya. Pada limbah di perkebunan kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti listrik dari generator berbahan bakar solar. Pengelolaan limbah kelapa sawit seperti batang kelapa sawit dan tandan buah kosong dapat diolah menjadi pelet yang digunakan sebagai bahan bakar (Chew *et al*, 2022). Pelet tersebut memiliki kandungan rendah karbon sehingga emisi yang dihasilkan lebih rendah. Dengan pengkonversian ini upaya netralisasi karbon pada suatu pabrik dapat diwujudkan.

Untuk menekan efek GRK, hal yang perlu dilakukan yaitu dengan meminimalkan penggunaan bahan yang dapat menyumbang emisi. Penggunaan pembangkit listrik atau generator berbasis bahan bakar solar yang digunakan terutama pada pabrik pengolahan hasil pertanian bisa disubstitusikan menggunakan biodiesel. Selain itu, energi berbasis tenaga surya atau biomassa bisa menjadi alternatif pengganti alat dengan basis bahan bakar fosil (Iswanto *et al*, 2021). Dari situ maka emisi dapat ditekan sehingga kontribusi dalam perubahan iklim juga semakin kecil.

b. Perbaikan pada Sistem

Perbaikan sistem diperlukan terutama dalam proses yang ada di dalam pabrik. Proses pada pabrik banyak berhubungan dengan alat-alat yang berbahan bakar solar maupun batu bara yang jelas output dari bahan tersebut selain menjadi energi juga menjadi emisi gas. Selain penggantian menggunakan energi alternatif dalam solusinya, perbaikan pada sistem alat terutama di pabrik juga dibutuhkan dalam mengurangi emisi GRK. Misal pada proses pemanasan pada produksi pelet dari limbah kelapa sawit, pada alat dapat dilakukan modifikasi pada bagian lapisan insulasi burner dan pengering dalam rangka untuk mengurangi laju aliran udara dan kebocoran udara yang dihasilkan selama proses produksi pelet. Dari proses yang menjadi efektif akan membantu mengurangi energi yang digunakan sehingga penggunaan bahan bakar dapat ditekan dan emisi yang dihasilkan pun juga menurun (Chew *et al*, 2022). Dalam perbaikan sistem mula-mula bisa dilakukan pengecekan pada setiap prosesnya yang memungkinkan menghasilkan emisi gas rumah kaca kemudian ditinjau per bagian yang menghasilkan emisi lebih banyak dibandingkan yang lain dan potensinya untuk dilakukan perbaikan guna mengurangi dampak emisi yang dihasilkan.

c. Reboisasi

Reboisasi merupakan tindakan ditanaminya kembali pohon pada suatu lahan. Tujuan utama dilakukannya penanaman kembali yaitu untuk menjaga keberlanjutan sumber daya alam dan faktor keseimbangan. Dalam hal emisi gas rumah kaca, penanaman tanaman tertentu dapat difungsikan sebagai penyerap CO₂ yang ada di atmosfer. Salah satu contoh vegetasi yang bagus dalam penyerapan CO₂ yaitu *Eucalyptus pellita*. Pada usia tanaman 1 tahun tanaman tersebut mampu menyerap CO₂ sebesar 36,34 ton/ha/tahun dan untuk usia 4 tahun mampu menyerap hingga 67,69 ton/ha/tahun (Iswanto *et al*, 2021) dimana gas tersebut didistribusikan ke organ tanaman dalam bentuk biomassa. Semakin berkembangnya tanaman maka penyerapan terhadap CO₂ pun semakin tinggi hingga mencapai titik optimum tanaman. Cara ini menjadi alternatif pilihan yang ramah lingkungan namun membutuhkan waktu dan ruang dalam penerapannya.

d. Penggunaan Pupuk Organik

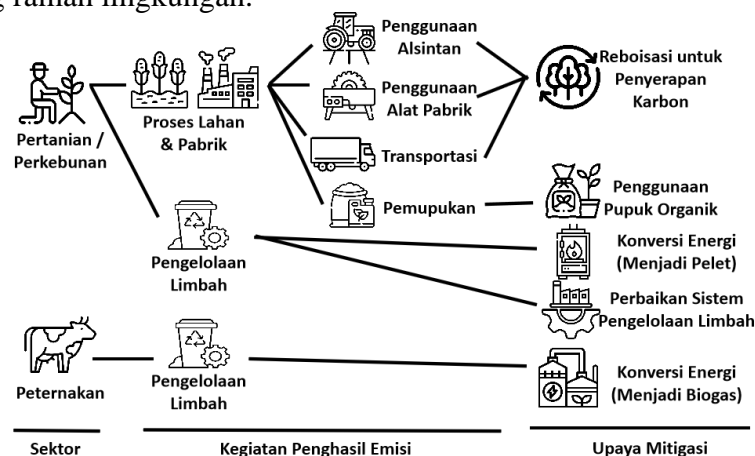
Pupuk organik merupakan pupuk yang dihasilkan dari sisa-sisa proses pertanian baik pada tanaman maupun hewan. Pupuk organik dari hewan diantaranya yaitu biourine yang merupakan hasil sekresi urine hewan ternak dan bioslurry yang merupakan ampas dari hasil produksi biogas. Selain itu juga terdapat kompos yang juga merupakan pupuk organik hasil penguraian dari kotoran hewan maupun bahan-bahan organik lainnya. Pupuk organik selain dapat menekan emisi gas rumah kaca juga dapat memperbaiki kualitas tanah.

Pupuk organik dapat menjadi bahan campuran dengan pupuk anorganik dalam rangka kegiatan pemupukan pertanian. Penambahan pupuk organik mampu mengurangi emisi CH₄ yang terjadi. Semakin besar persentase campuran pupuk organik maka akan semakin kecil emisi CH₄ yang dihasilkan. Hal tersebut sejalan dengan Tani *et al* (2021) pada perlakuan 100% pupuk anorganik, 75% pupuk anorganik + 25% pupuk organik, 50% pupuk anorganik + 50% pupuk organik, dan 25% pupuk anorganik + 75% pupuk organik. Pada percobaan tersebut menyebutkan rata-rata emisi CH₄ yang dihasilkan semakin kecil seiring dengan penambahan pupuk organik yaitu berturut-turut 42,06; 32,94; 25,75; dan 13,64 kg/ha/musim. Hal tersebut terjadi karena dalam penambahan bahan organik berupa *bioslurry* metan yang dihasilkan pada limbah kotoran ternak sudah melalui proses pada *biodigester* sehingga gas amoniak yang ada sebagian besar sudah dikonversi menjadi gas yang digunakan untuk pembakaran dan pada *bioslurry* hanya tertinggal sedikit. Namun perlu diperhatikan pula faktor lingkungan yang menunjang aktivitas dari bakteri metanogen dalam membentuk CH₄. Pemahaman terkait interaksi antara jenis tanaman, karakteristik mikroba, dan lingkungan penting sebagai dasar dalam memahami proses pembentukan metana.

Penggunaan pupuk organik juga mampu mengurangi fluks gas N₂O. Hasil yang diteliti Hervani *et al* (2021) menunjukkan adanya penurunan fluks gas N₂O sekitar 14-27% dari yang mulanya pengelolaannya masih secara konvensional (menggunakan pupuk kimia) menjadi penggunaan pupuk berbasis organik. Rendahnya emisi yang dihasilkan pada penggunaan pupuk organik karena penggunaan pupuk organik dapat meningkatkan porositas pada tanah. Porositas yang meningkat akan diikuti oleh drainase tanah yang lebih baik sehingga dapat berkontribusi dalam mengurangi emisi gas N₂O. Penambahan aplikasi mulsa plastik setelah dilakukan pemupukan juga membantu menghambat emisi gas N₂O ke atmosfer karena membuat suhu di bawah mulsa menjadi meningkat sehingga produksi N₂O dapat ditekan.

PENUTUP

Berdasarkan tinjauan literatur terkait potensi ancaman dan upaya mitigasi emisi GRK di sektor pertanian Indonesia dapat disimpulkan bahwa sektor pertanian memiliki peran signifikan dalam menghasilkan emisi GRK. Kegiatan pertanian penyumbang emisi gas rumah kaca diantaranya penggunaan alat pertanian, transportasi, pemupukan, dan pengelolaan limbah (lihat pada Gambar 2.). Emisi tersebut dapat menyebabkan perubahan iklim terutama peningkatan suhu permukaan bumi dan ketidakpastian curah hujan yang dimanfaatkan dalam produksi pertanian. Walau demikian, melalui kegiatan berupa pengolahan limbah kotoran hewan menjadi biogas, penggunaan energi terbarukan, reboisasi, dan pemanfaatan pupuk organik (lihat pada Gambar 2.), sektor pertanian memiliki potensi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan dapat mencapai praktik pertanian yang ramah lingkungan.



Gambar 2. Kegiatan Penghasil Emisi dan Upaya Mitigasi dalam Pertanian

Dengan demikian, penelitian ini memberikan wawasan mengenai tantangan dan peluang dalam mengelola emisi gas rumah kaca di sektor pertanian di Indonesia. Peran petani, masyarakat, dan pemangku kepentingan lainnya dibutuhkan dalam pengimplementasian strategi mitigasi. Implementasi yang efektif akan menghasilkan keseimbangan antara keberlanjutan pertanian dan perlindungan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyaningsih dan H. H. Adinugraha. 2022. Dampak Alat Pertanian Modern Padi Terhadap Kesejahteraan Masyarakat di Kabupaten Batang. *Jurnal Riset, Inovasi dan Teknologi Kabupaten Batang* Vol. 6 No. 2 : 52–61.
- Chew, Z. L., E. H. Tan, S. A. L. Palaniandy, K. S. Woon, dan Z. X. Phuang. 2022. An Integrated Life-Cycle Greenhouse Gas Protocol Accounting on Oil Palm Trunk and Empty Fruit Bunch Biofuel Production. *Elsivier : Science of the Total Environment* 856 159007.
- Hervani, A., A. Pramono, W. P. Mardiasih, dan P. Setyanto. 2021. Mitigating N₂O Emission from Chili Plantation (*Capsicum annum*) on the Integrated Pest Management Field School – Case Study in Rembang and Sukabumi Regencies, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 648 012123.
- Iswanto, D. R. Nurrochmat, dan U. J. Siregar. 2021. Life Cycle Assessment (LCA) of Wood Pellet Production at Korintiga Hutani Company, Central Kalimantan, Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 27(3) : 200-207.
- Jaya, I. K. D., B. B. Santoso, dan Jayaputra. 2023. Pengenalan Pertanian Cerdas Iklim Melalui Demplot Diversifikasi Tanaman di Lahan Kering Desa Gumantar Kabupaten Lombok Utara. *Jurnal Siar Ilmuwan Tani* Vol. 4 No. 2 :155-163.
- Komarudin, N. A., Y. Yolanda, S. Hidayat, P. B. Utama, C. A. Afgani, B. Ratnawati, R. R. Hidayatullah, dan L. Darmawan. 2022. Edukasi Pertanian Ramah Lingkungan Sebagai Upaya Mitigasi Efek Gas Rumah Kaca di Desa Pungka, Kabupaten Sumbawa. *Jurnal Abdimas Madani dan Lestari* Vol. 04 Issue 02 : 111-119.
- Kusumaningrum, S. I. 2019. Pemanfaatan Sektor Pertanian Sebagai Penunjang Pertumbuhan Perekonomian Indonesia. *Jurnal Transaksi* Vol. 11 No. 1.
- Masturi, H., Hasanawi, A., & Hasanawi, A. 2021. Sinergi dalam Pertanian Indonesia untuk Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim. *Jurnal Inovasi Penelitian* Vol. 1 No.10 : 2085-2094.
- Mustikaningrum, D., Kristiawan, dan Suprayitno. 2021. Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian di Kabupaten Tuban: Inventarisasi dan Potensi Aksi Mitigasi. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan* Vol. 9 No. 2 : 155-171.
- Parmadi, Emilia, dan Zulgani. 2018. Daya Saing Produk Unggulan Sektor Pertanian Indonesia dalam Hubungannya dengan Pertumbuhan Ekonomi. *Jurnal Paradigma Ekonomika* Vol. 13 No. 2 : 77 - 86.
- Parson, M., L. Taylor, dan R. Crease. 2021. Indigenous Environmental Justice within Marine Ecosystems: A Systematic Review of the Literature on Indigenous Peoples' Involvement in Marine Governance and Management. *MDPI Sustainability* Vol. 13 No. 8.
- Pramono, A., dan Sadmaka. 2018. Emisi Gas Rumah Kaca, Cadangan Karbon serta Strategi Adaptasi dan Mitigasi pada Perkebunan Kopi Rakyat di Nusa Tenggara Barat. *Menara Perkebunan*, 86(2). <https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v86i2.294>.
- Purnamasari, E., Sudarno, dan Hadiyanto. 2019. Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian di Kabupaten Boyolali. *Prosiding Seminar Nasional Geotik 2019*. ISSN: 2580-8796.

- Sasmita, A., Isnaini, dan R. Zustika. 2021. Estimasi Gas Rumah Kaca dari Sektor Pertanian, Perkebunan, dan Peternakan di Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan* Vol. 8 No. 1 : 42-53.
- Syarifuddin, H., A. Rahman, dan D. Devitriano. 2019. Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (CH_4 dan N_2O) dari Sektor Peternakan Sapi Dengan Metode Tier-1 IPCC di Kabupaten Muaro Jambi. *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Peternakan* Vol. 22 No. 2.
- Tani, S. A. A., F. Fadli, S. Syarief, dan A. Latief. 2021. Methane CH_4 Emission Produced from Utilization of Trichocompost Bio Urine and Bio Slurry on Sweet Corn (*Zea mays* L. Sacharata) Field. Atlantis Press International B.V. : Advances in Biological Sciences Research, Volume 20.
- Wahyudi, J. 2021. The Potential of Energy Production and Greenhouse Gases Emissions Reduction of Dairy Farm Biogas Production. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1034 012085.