

Potensi Emisi Gas Rumah Kaca dari Pengolahan Limbah Peternakan Sapi Potong pada Peternakan Rakyat di Kecamatan Paseh Kabupaten Sumedang

Potential Greenhouse Gas Emissions from Beef Cattle Farm Waste Processing in Community Farming in Kecamatan Paseh Kabupaten Sumedang

Irpan Pauzan*, Oki Imanudin, Aaf Falahudin

Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Majalengka
Jl. K.H. Abdul Halim No. 103 Majalengka, Jawa Barat 45418, Indonesia

*Corresponding author: irpanpauzan3@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the potential for reducing GHG emissions through composting beef cattle waste in the Livestock Farmers Group in Paseh District, Sumedang Regency. The method used in this study was observational and survey research. The data obtained were analyzed descriptively. The data used in this study were primary data from interviews with 53 livestock farmers in Paseh District. Direct physical observations in the field and questionnaire data. The data obtained were analyzed using the Tier-1 method in the 2006 IPCC Guidelines. The stages in calculating gas emissions include: Determining the number of populations (animal units), namely the number of populations (Animal Units) obtained from the results of multiplying the number of populations by the correction factor set for beef cattle. Calculation of Methane (CH₄) Gas Emissions from beef cattle feces management was carried out using the Tier-1 method in IPCC (2006). The results of the study revealed that the main sources of emissions were enteric fermentation of 0.0669 Gg CO₂-eq/year, waste processing of 0.0014 Gg CO₂-eq/year, N₂O emissions directly from feces processing of 290.232 Gg CO₂-eq/year and indirect emissions from beef cattle feces waste processing of 0.098 Gg CO₂-eq/year. The conclusion is that beef cattle waste processing in Paseh District, Sumedang Regency, contributes to reducing greenhouse gas (GHG) emissions, especially methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O).

Keywords: Beef Cattle, Feces, Emissions, Methane, Nitrous Oxide

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi oleh masyarakat global saat ini. Emisi gas rumah kaca (GRK) yang berlebihan, terutama karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O), berkontribusi secara signifikan terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Sektor pertanian, termasuk peternakan, menyumbang sekitar 14,5% dari total emisi GRK global, dengan peternakan ruminansia menjadi penyumbang utama emisi metana melalui proses pencernaan enterik dan pengelolaan limbah (FAO, 2013).

Indonesia, sebagai negara agraris dengan populasi ternak yang besar, juga berkontribusi pada peningkatan emisi GRK. Peternakan sapi potong merupakan salah satu sub-sektor yang penting bagi perekonomian pedesaan dan ketahanan pangan nasional. Namun, praktik pengelolaan limbah ternak yang kurang optimal, seperti pembuangan langsung ke lingkungan dan pembakaran terbuka, seringkali meningkatkan emisi GRK dan menimbulkan masalah lingkungan seperti pencemaran air, tanah dan udara.

Kabupaten Sumedang, yang terletak di Provinsi Jawa Barat, merupakan salah satu

daerah yang memiliki aktivitas peternakan yang cukup intensif. Kecamatan Paseh, khususnya, dikenal dengan populasi ternak yang cukup besar.

Praktik pengelolaan limbah di wilayah ini sebagian besar masih konvensional, dengan banyak peternak yang membuang limbah ternak langsung ke lingkungan sekitar atau menggunakan metode pembakaran, yang keduanya berkontribusi pada emisi GRK dan degradasi lingkungan. Praktik ini tidak hanya berdampak negatif terhadap lingkungan tetapi juga mengurangi kualitas hidup masyarakat setempat.

Gas-gas seperti metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O) merupakan contoh utama GRK yang dihasilkan dari proses dekomposisi limbah organik dalam kondisi anaerobik. Kedua gas ini memiliki potensi pemanasan global yang jauh lebih tinggi daripada karbon dioksida (CO_2), dengan metana memiliki potensi pemanasan sekitar 25 kali lebih tinggi dari CO_2 dalam jangka waktu 100 tahun (Prabowo *et al.*, 2019). Oleh karena itu, pengelolaan limbah peternakan secara efisien dan berkelanjutan menjadi sangat penting dalam upaya mengurangi emisi GRK dan mitigasi perubahan iklim (Sunusi *et al.*, 2022; Anifah *et al.*, 2021)

Pengomposan merupakan salah satu teknologi yang telah terbukti efektif dalam mengurangi emisi GRK dari limbah organik. Proses pengomposan melibatkan dekomposisi limbah organik oleh mikroorganisme secara aerobik, menghasilkan kompos yang kaya akan unsur hara dan stabil secara biologis (Kustiasih *et al.*, 2014). Teknologi pengomposan ini mengurangi emisi GRK dengan cara mengubah limbah organik menjadi kompos yang stabil dan tidak mengandung banyak GRK (Anifah *et al.*, 2021).

Pemahaman tentang potensi pengurangan emisi GRK melalui pengomposan limbah peternakan di peternakan rakyat Kecamatan Paseh masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan pengetahuan tersebut dengan menganalisis potensi pengurangan emisi GRK melalui pengomposan di wilayah ini. Dengan melakukan studi ini, diharapkan dapat ditemukan solusi praktis yang dapat diterapkan oleh peternak setempat untuk mengelola limbah peternakan secara lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Kajian potensi pengurangan emisi GRK melalui pengomposan limbah peternakan di Kecamatan Paseh, Kabupaten Sumedang menjadi relevan karena beberapa alasan. Pertama, Kabupaten Sumedang memiliki potensi yang besar dalam sektor peternakan, sehingga dampak lingkungan dari limbah peternakan juga cukup signifikan. Kedua, pengurangan emisi GRK melalui pengomposan dapat memberikan manfaat ganda, yaitu mengurangi dampak negatif dari limbah peternakan juga menghasilkan produk sampingan yang bermanfaat. Ketiga, penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan implementasi pengomposan limbah peternakan di wilayah pedesaan, di mana skala peternakan kecil dan menengah mendominasi.

Berdasarkan fenomena di atas menarik untuk dilakukan penelitian tentang “Potensi Emisi Gas Rumah Kaca dari Pengolahan Limbah Peternakan Sapi Potong pada Peternakan Rakyat di Kecamatan Paseh Kabupaten Sumedang”.

MATERI DAN METODE

Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah usaha peternakan sapi potong sebanyak 53 peternak yang berada di Kecamatan Paseh Kabupaten Sumedang.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain penelitian deskriptif dengan metode survei. Pendekatan studi kasus ini bertujuan untuk menggambarkan praktik pengelolaan limbah ternak sapi potong dan mengevaluasi potensi pengurangan emisi gas rumah kaca melalui pengolahan limbah di Kecamatan Paseh.

Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tier-1 pada Pedoman IPCC 2006. Tahapan dalam pengerjaan perhitungan emisi gas metana (CH₄) meliputi penentuan jumlah populasi (*animal Unit*).

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai tanggal 12 Mei sampai dengan 15 Juni 2024 di Kecamatan Paseh Kabupaten Sumedang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Paseh, Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat. Kecamatan Paseh merupakan salah satu dari 26 kecamatan yang ada di Kabupaten Sumedang. Secara geografis, Kecamatan Paseh terletak di bagian tenggara Kabupaten Sumedang dengan koordinat 6°57' LS dan 107°56' BT. Kecamatan ini memiliki topografi yang beragam, terdiri dari dataran rendah hingga perbukitan, yang mempengaruhi iklim dan kondisi lingkungan setempat.

Kecamatan Paseh berbatasan dengan Kecamatan Congeang di sebelah utara, Kecamatan Tanjungsari di sebelah barat, Kabupaten Garut di sebelah selatan, dan Kabupaten Majalengka di sebelah timur. Wilayah ini memiliki akses yang cukup baik ke jalan utama yang menghubungkan berbagai kabupaten di sekitarnya, sehingga memudahkan transportasi barang dan jasa, termasuk produk-produk peternakan (BPS Kab. Sumedang, 2023).

Kecamatan Paseh memiliki jumlah penduduk sekitar 50.000 jiwa, dengan kepadatan penduduk yang bervariasi antara desa satu dengan lainnya. Mayoritas penduduknya bekerja di sektor pertanian, termasuk di dalamnya peternakan dan perkebunan. Peternakan sapi potong merupakan salah satu kegiatan ekonomi utama di kecamatan ini, di samping pertanian padi, jagung, dan palawija lainnya.

Sebagian besar penduduk Paseh adalah petani dan peternak yang mengelola usaha dalam skala kecil hingga menengah. Pola kepemilikan lahan cenderung terbagi rata, dengan mayoritas petani memiliki lahan kurang dari dua hektar. Hal ini mempengaruhi kemampuan mereka dalam mengadopsi teknologi baru, termasuk teknologi pengolahan limbah peternakan.

Iklim di Kecamatan Paseh termasuk dalam kategori tropis dengan dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Curah hujan tahunan berkisar antara 2.000 hingga 3.000 mm, dengan curah hujan tertinggi biasanya terjadi pada bulan November hingga Maret. Suhu udara rata-rata berkisar antara 20°C hingga 30°C, dengan tingkat kelembaban yang relatif tinggi.

Kondisi iklim ini mendukung pertumbuhan vegetasi yang baik, sehingga banyak digunakan untuk pertanian dan peternakan. Namun, curah hujan yang tinggi juga memiliki risiko terhadap pengelolaan limbah, terutama dalam hal potensi pencemaran air tanah dan permukaan jika limbah tidak dikelola dengan baik.

Karakteristik Responden

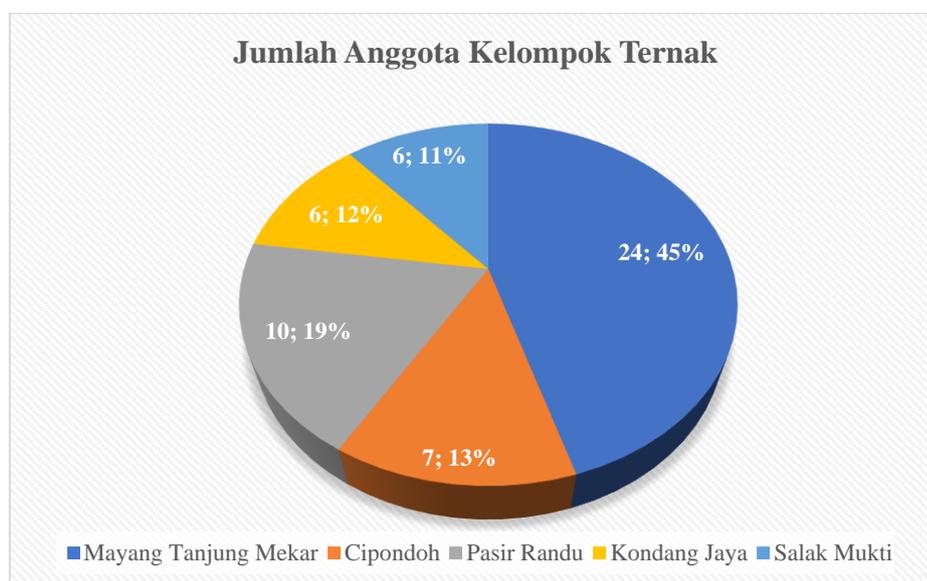
Angka ini menunjukkan skala pemeliharaan yang masih relatif kecil, namun juga mencerminkan potensi besar untuk pengembangan lebih lanjut, baik dalam hal peningkatan jumlah ternak maupun kualitas pengelolaan, terutama dengan dukungan pemerintah dan lembaga terkait yang terus mendorong penerapan teknologi baru dan praktik pengelolaan yang ramah lingkungan. Misalnya, program-program seperti pelatihan inseminasi buatan, pengolahan limbah menjadi kompos atau biogas, serta pengembangan pakan hijauan berkualitas tinggi dapat membantu meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan peternakan

di Kecamatan Paseh. Kecamatan Paseh memiliki lima kelompok ternak sapi potong yang tersebar di tiga desa, yaitu Desa Pasir Reungit, Desa Padanaan, dan Desa Bongkok.

Tabel 1. menunjukkan bahwa terdapat 53 anggota kelompok ternak dengan total populasi 86 ekor sapi di Kecamatan Paseh. Rata-rata jumlah sapi per anggota adalah sekitar 1-2 ekor.

Tabel 1. Populasi sapi potong di Kecamatan Paseh 2024

Desa	Nama Kelompok	Jumlah Peternak	Jumlah Populasi
Pasir Reungit	Mayang Tanjung Mekar	24	35
Padanaan	Cipondoh	7	10
	Pasir Randu	10	25
Bongkok	Kondang Jaya	6	8
	Salak Mukti	6	8
Jumlah		53	86



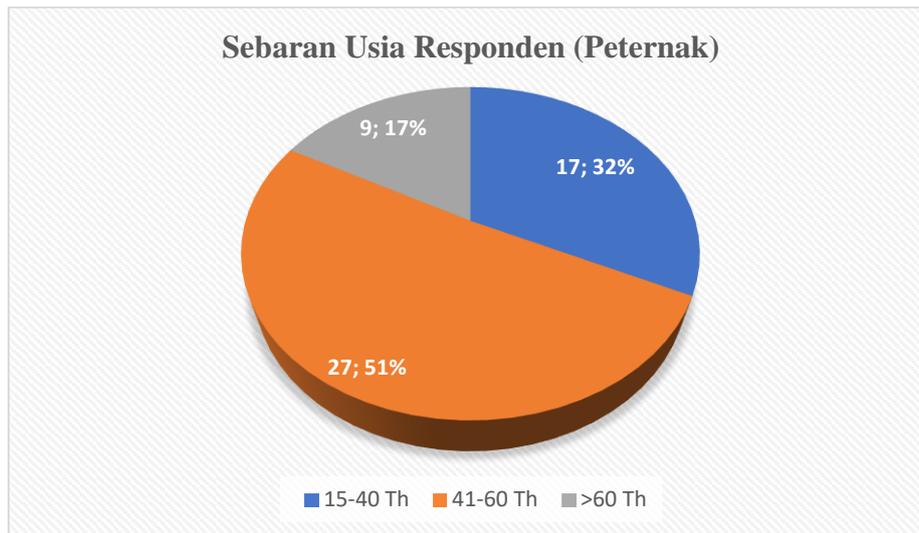
Gambar 1. Persentase Sebaran Responden

Sebaran peternak di Kecamatan Paseh Kabupaten Sumedang diilustrasikan pada Gambar 1. Jumlah anggota dan populasi sapi potong dalam kelompok peternakan dapat mempengaruhi potensi emisi gas rumah kaca secara signifikan. Sebagai contoh, kelompok Mayang Tanjung Mekar di Desa Pasir Reungit memiliki populasi sapi terbesar (35 ekor) dan jumlah anggota yang relatif banyak (24 orang). Populasi yang lebih besar cenderung menghasilkan lebih banyak gas rumah kaca, terutama metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O), karena peningkatan jumlah ternak berhubungan langsung dengan peningkatan produksi gas dari proses pencernaan dan pengelolaan limbah (Moss *et al.*, 2000). Penelitian Smith *et al.* (2007) juga menunjukkan bahwa populasi ternak yang lebih besar berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih tinggi jika tidak diimbangi dengan teknologi pengelolaan limbah yang efisien.

Metode pengelolaan limbah di masing-masing kelompok juga mempengaruhi emisi gas rumah kaca. Kelompok dengan jumlah anggota yang lebih banyak mungkin memiliki lebih banyak sumber daya untuk menerapkan teknologi pengelolaan limbah yang lebih efisien, seperti sistem biogas atau pengomposan yang dikelola dengan baik. Sebaliknya, kelompok dengan anggota yang lebih sedikit mungkin mengandalkan metode pengolahan limbah yang

lebih sederhana, yang dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca (Veldkamp *et al.*, 2009). Dalam penelitian ini, kelompok Cipondoh di Desa Padanaan dengan populasi sapi terendah (10 ekor) mengalami emisi gas rumah kaca yang relatif lebih rendah dibandingkan kelompok Mayang Tanjung Mekar, jika metode pengelolaan limbah yang digunakan tidak signifikan berbeda.

Sebaran Usia Responden



Gambar 2. Sebaran Usia Responden

Sumber: Data Primer diolah (2024)

Berdasarkan Gambar 2. bahwa mayoritas responden (51% dan 32%) berusia antara 41-60 tahun dan 15-40 tahun, yang merupakan kelompok usia produktif. Kelompok usia ini cenderung lebih terlibat dalam kegiatan pengelolaan limbah dan pengambilan keputusan dalam peternakan (Foley *et al.*, 2011). Kemampuan dan keterampilan kelompok usia ini dalam mengelola limbah dapat mempengaruhi efisiensi sistem pengelolaan limbah dan, pada gilirannya, emisi gas rumah kaca. Penelitian oleh Koirala *et al.* (2018) menunjukkan bahwa kelompok usia produktif lebih cenderung mengadopsi teknologi baru dan praktik pengelolaan limbah yang lebih efisien, yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dari peternakan, namun, dengan hanya 17% responden berusia di atas 60 tahun, ada kemungkinan keterbatasan pengalaman dan pengetahuan dalam pengelolaan limbah yang lebih canggih. Kelompok usia ini mungkin memiliki keterbatasan fisik yang mempengaruhi kemampuan mereka dalam mengelola limbah secara efektif (Smith *et al.*, 2009).

Menurut Van Ginkel *et al.*, (2009), keberadaan anggota keluarga yang lebih tua dalam sistem pengelolaan limbah dapat memberikan perspektif berharga, tetapi mereka mungkin memerlukan dukungan tambahan untuk mengadaptasi teknologi baru. Dengan mayoritas anggota kelompok berusia antara 15-64 tahun, peternakan di Kecamatan Paseh kemungkinan memiliki kapasitas yang lebih baik untuk menerapkan praktik pengelolaan limbah yang efisien, jika didukung dengan pelatihan dan pendidikan yang tepat.

Efisiensi pengelolaan limbah sangat bergantung pada keterampilan dan pengetahuan individu dalam menggunakan teknologi dan metode yang mengurangi emisi gas rumah kaca. Kelompok usia produktif memiliki potensi lebih besar untuk terlibat dalam pelatihan dan adopsi teknologi pengelolaan limbah yang inovatif (Smith *et al.*, 2008).

Penelitian oleh Houghton *et al.*, (2005) menunjukkan bahwa adopsi teknologi pengelolaan limbah yang lebih efisien oleh peternak dapat mengurangi emisi metana dan

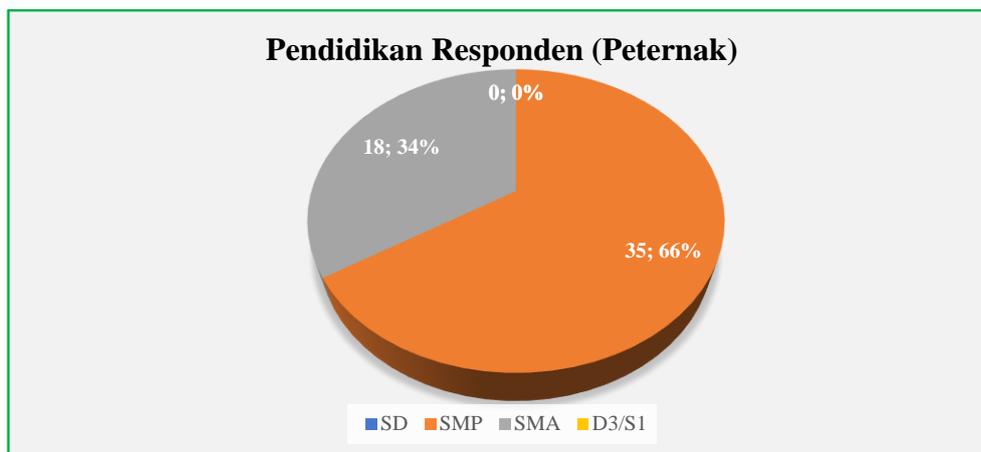
dinitrogen oksida secara signifikan. Kelompok peternakan dengan mayoritas responden berusia produktif mungkin memiliki keuntungan dalam mengimplementasikan teknologi ini dibandingkan dengan kelompok dengan proporsi anggota usia tua yang lebih tinggi.

Kelompok usia yang lebih tua seringkali memiliki pengalaman lebih banyak, namun mungkin tidak sefleksibel kelompok usia yang lebih muda dalam mengadopsi teknologi baru. Oleh karena itu, penting untuk mengintegrasikan pengalaman kelompok usia lebih tua dengan inovasi yang dibawa oleh kelompok usia produktif (Moss *et al.*, 2000).

Kombinasi antara pengetahuan tradisional dan teknologi baru dapat membantu meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Penting untuk menyediakan pelatihan dan pendidikan yang sesuai untuk semua kelompok usia dalam komunitas peternakan. Program pelatihan harus dirancang untuk meningkatkan keterampilan dan pengetahuan baik untuk kelompok usia produktif maupun yang lebih tua (Foley *et al.*, 2011). Program intergenerasional dapat membantu menggabungkan pengalaman kelompok usia yang lebih tua dengan kemampuan kelompok usia produktif untuk mengadopsi teknologi baru (Moss *et al.*, 2000).

Pendidikan Responden

Aktivitas peternakan sapi potong turut dipengaruhi oleh tingkat pendidikan. Menurut Mantra (2004), tingkat pendidikan seseorang akan mempengaruhi kreativitas dan kemampuan seseorang dalam menerima atau mengadopsi inovasi. Tingkat pendidikan pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sebaran Tingkat pendidikan responden peternak di Kecamatan Paseh
Sumber: Data Primer diolah (2024)

Gambar 3. menunjukkan bahwa mayoritas responden (66,04%) memiliki tingkat pendidikan SMP, sedangkan 33,96% memiliki pendidikan SMA. Tidak ada responden yang memiliki pendidikan D3/S1. Tingkat pendidikan responden dapat mempengaruhi kemampuan mereka dalam mengelola limbah dan mengadopsi teknologi baru dalam peternakan (Moss *et al.*, 2000).

Penelitian oleh Choudhury *et al.*, (2010) menunjukkan bahwa tingkat pendidikan yang lebih tinggi seringkali berhubungan dengan pemahaman yang lebih baik tentang pengelolaan limbah dan teknologi ramah lingkungan. Responden dengan pendidikan SMA mungkin lebih mampu memahami dan menerapkan teknik pengelolaan limbah yang efisien dibandingkan dengan mereka yang hanya memiliki pendidikan SMP, meskipun tingkat pendidikan rata-rata responden adalah SMP dan SMA, ini tidak berarti bahwa mereka tidak dapat efektif dalam pengelolaan limbah. Pendidikan formal adalah satu aspek dari keterampilan; pengalaman

praktis dan pelatihan juga memainkan peran penting (Giller *et al.*, 2009).

Tingkat pendidikan dapat mempengaruhi kemampuan responden untuk mengadopsi teknologi pengelolaan limbah yang lebih baru dan lebih efisien. Peternak dengan pendidikan SMA mungkin lebih terbuka terhadap informasi dan teknologi baru dibandingkan dengan peternak dengan pendidikan SMP (Zhou *et al.*, 2013).

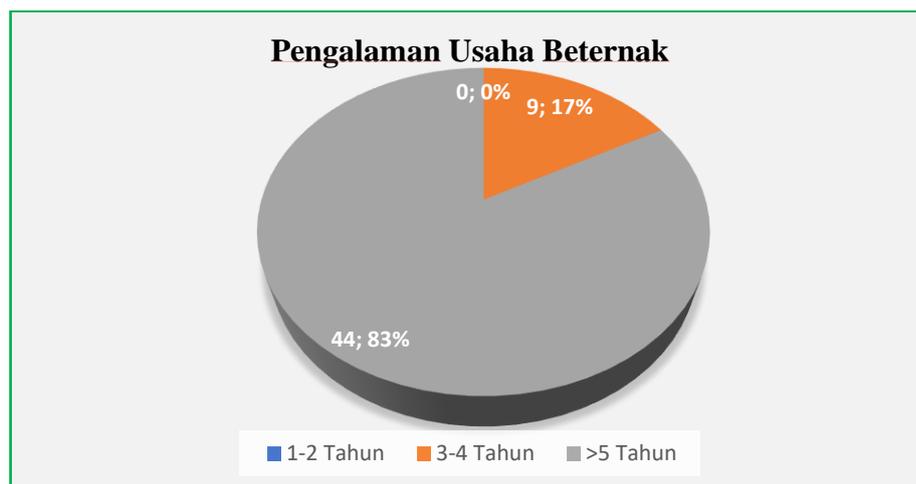
Penelitian DeFries *et al.*, (2012) menunjukkan bahwa peternak dengan tingkat pendidikan lebih tinggi lebih cenderung mengadopsi teknologi baru yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, seperti sistem biogas atau teknologi pengomposan yang lebih baik. Sebaliknya, peternak dengan tingkat pendidikan lebih rendah mungkin lebih bergantung pada metode tradisional yang mungkin kurang efisien dalam mengelola limbah, meskipun tidak ada responden dengan pendidikan tinggi (D3/S1), pendidikan SMA di antara sebagian besar responden menunjukkan potensi untuk implementasi teknologi yang lebih baik jika diberikan pelatihan yang memadai (Moss *et al.*, 2000).

Program pelatihan dan pendidikan yang difokuskan pada pengelolaan limbah dan teknologi ramah lingkungan dapat meningkatkan kemampuan peternak dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah dan mengurangi emisi gas rumah kaca, penting untuk menyediakan pelatihan yang sesuai bagi peternak dengan berbagai Tingkat pendidikan. Pelatihan ini harus mencakup aspek teknis dan praktis dari teknologi pengelolaan limbah (Moss *et al.*, 2000).

Program pendidikan yang berbasis praktek dapat membantu peternak memahami dan mengimplementasikan teknologi baru dengan lebih baik. Sebagai contoh, program pelatihan yang mencakup teknik pengomposan yang lebih baik atau sistem biogas dapat bermanfaat untuk responden dengan pendidikan SMA (Giller *et al.*, 2009).

Pengalaman Usaha Beternak Responden

Pengalaman usaha merupakan waktu seseorang dalam menempuh pekerjaan atau usaha sebelumnya. Pengalaman usaha merupakan salah satu penentu dalam keberhasilan kegiatan beternak sapi potong di Kecamatan Paseh. Sebaran pengalaman usaha atau pengalaman beternak responden peternak sapi potong di Kecamatan Paseh dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sebaran pengalaman usaha responden peternak di Kecamatan Paseh
Sumber: Data Primer diolah (2023)

Gambar 4 menunjukkan bahwa pengalaman usaha responden yang diperoleh dari penelitian, terdapat variasi dalam lama usaha peternakan sapi potong di Kecamatan Paseh, Kabupaten Sumedang. Data tersebut menunjukkan bahwa tidak ada peternak yang memiliki

pengalaman usaha 1-2 tahun, sementara 16,98% peternak memiliki pengalaman usaha 3-4 tahun, dan mayoritas, yaitu 83,02%, memiliki pengalaman usaha lebih dari 5 tahun. Temuan ini menunjukkan bahwa sebagian besar peternak di wilayah tersebut memiliki pengalaman yang cukup panjang dalam menjalankan usaha peternakan sapi potong.

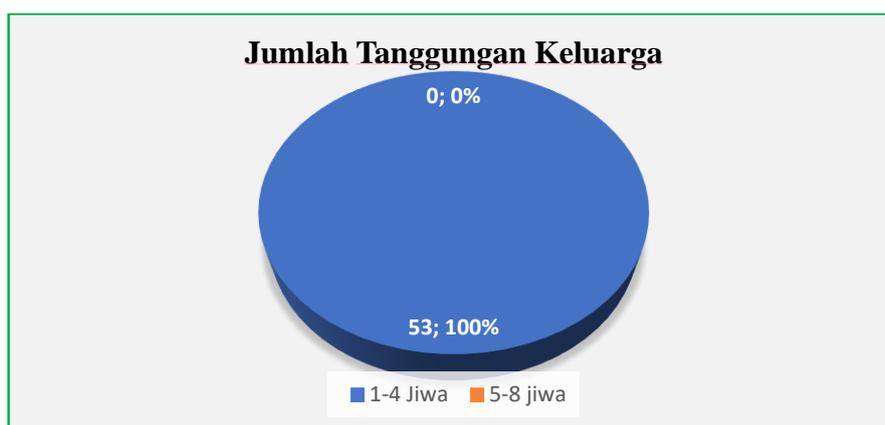
Mayoritas peternak di Kecamatan Paseh memiliki pengalaman usaha lebih dari 5 tahun. Hal ini mengindikasikan adanya keberlanjutan dan stabilitas dalam usaha peternakan sapi potong di wilayah ini. Pengalaman yang lebih panjang cenderung terkait dengan peningkatan pengetahuan dan keterampilan dalam mengelola peternakan, yang pada gilirannya dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas usaha (Gillespie *et al.*, 2016). Selain itu, peternak dengan pengalaman lebih lama biasanya lebih terampil dalam menangani tantangan operasional dan lingkungan, termasuk pengelolaan limbah ternak secara efektif.

Sebanyak 16,98% peternak memiliki pengalaman usaha antara 3-4 tahun. Kelompok ini mungkin masih dalam fase belajar dan penyesuaian, baik dari segi manajemen usaha maupun pengelolaan limbah. Meski begitu, mereka sudah memiliki dasar yang cukup untuk memahami aspek penting dalam peternakan, termasuk potensi dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan oleh limbah ternak (Luning & Marcelis, 2009).

Tidak adanya peternak dengan pengalaman usaha 1-2 tahun bisa mencerminkan beberapa hal. Pertama, mungkin ada hambatan tertentu yang menyebabkan kurangnya minat untuk memulai usaha peternakan sapi potong dalam jangka pendek, seperti keterbatasan modal, pengetahuan awal yang rendah, atau tantangan pasar. Kedua, hal ini bisa menunjukkan bahwa peternak baru lebih banyak yang bergabung dengan peternakan yang sudah mapan atau memilih untuk beralih ke usaha lain jika tidak segera melihat keuntungan yang signifikan (Morgan *et al.*, 2009).

Tanggungjawab Keluarga Responden

Menurut Nahrianti (2008), jumlah anggota keluarga petani/peternak akan berpengaruh bagi petani/peternak dalam perencanaan dan pengambilan keputusan petani dalam hal usahatani, karena anggota keluarga petani/peternak merupakan sumber tenaga kerja dalam kegiatan usahatani terutama anggota keluarga yang produktif. Sebaran jumlah tanggungan keluarga peternak sapi potong di Kecamatan Paseh dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Jumlah tanggungan keluarga responden peternak di Kecamatan Paseh
Sumber: Data Primer diolah (2023)

Berdasarkan Gambar 5. jumlah tanggungan keluarga responden, diperoleh informasi bahwa seluruh peternak yang menjadi responden penelitian memiliki jumlah tanggungan keluarga antara 1-4 jiwa. Tidak ada responden yang memiliki tanggungan keluarga antara 5-8

jiwa. Temuan ini memberikan gambaran mengenai struktur keluarga dari para peternak di Kecamatan Paseh, Kabupaten Sumedang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa 100% responden memiliki tanggungan keluarga antara 1-4 jiwa. Jumlah tanggungan keluarga yang lebih sedikit ini dapat mempengaruhi berbagai aspek kehidupan rumah tangga peternak, termasuk alokasi sumber daya, kebutuhan ekonomi, serta fokus pada usaha peternakan. Keluarga dengan tanggungan lebih sedikit mungkin memiliki kebutuhan finansial yang lebih rendah, yang dapat mempengaruhi keputusan dalam alokasi pendapatan dari usaha peternakan untuk investasi dalam teknologi pengelolaan limbah yang lebih baik (Haddad *et al.*, 1997). Selain itu, tanggungan yang lebih sedikit memungkinkan peternak untuk lebih fokus dan memiliki waktu lebih banyak untuk mengelola usaha peternakan mereka secara langsung.

Tidak Adanya Tanggungan Keluarga yang Lebih Banyak (5-8 Jiwa): Tidak adanya peternak dengan tanggungan keluarga 5-8 jiwa mungkin mencerminkan beberapa hal. Pertama, mungkin ada preferensi atau kecenderungan dalam struktur keluarga di wilayah tersebut yang menghasilkan ukuran keluarga yang lebih kecil. Kedua, usaha peternakan sapi potong mungkin lebih menarik bagi individu atau keluarga dengan sedikit tanggungan karena potensi risiko dan ketidakpastian pendapatan yang lebih mudah dikelola (Dillon & Hardaker, 1993). Dengan demikian, keluarga dengan tanggungan lebih banyak mungkin memilih usaha lain yang menawarkan pendapatan lebih stabil.

Struktur keluarga dengan tanggungan yang lebih sedikit dapat berimplikasi positif terhadap pengelolaan limbah ternak dan emisi gas rumah kaca. Dengan tanggungan yang lebih sedikit, peternak mungkin memiliki lebih banyak waktu dan energi untuk memperhatikan aspek keberlanjutan usaha, termasuk manajemen limbah ternak. Pengelolaan limbah yang baik sangat penting dalam mengurangi emisi gas rumah kaca seperti metana (CH_4) dan nitrous oxide (N_2O), yang seringkali terkait dengan praktik pembuangan limbah yang tidak tepat (O'Mara, 2011). Oleh karena itu, dengan memiliki waktu yang lebih, peternak dapat lebih terlibat dalam praktik-praktik pengelolaan limbah yang efisien dan berkelanjutan.

Jumlah tanggungan keluarga juga dapat mempengaruhi kesejahteraan dan kualitas hidup peternak. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Anik *et al.*, (2012), ditemukan bahwa ukuran keluarga yang lebih kecil sering kali berkorelasi dengan kesejahteraan ekonomi yang lebih baik, karena pendapatan yang dihasilkan dari usaha peternakan dapat lebih banyak dialokasikan untuk investasi atau tabungan dibandingkan dengan memenuhi kebutuhan keluarga yang lebih besar. Ini berarti peternak dengan tanggungan lebih sedikit mungkin memiliki kesempatan lebih besar untuk meningkatkan usahanya, termasuk mengadopsi teknologi ramah lingkungan.

Pola Pemeliharaan Terhadap Pengolahan Limbah dan Emisi Gas Rumah Kaca di Kecamatan Paseh Kabupaten Sumedang

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara pada penelitian ini terdapat pengaruh pola pemeliharaan sapi potong terhadap pengolahan limbah, hal ini berimbas pada emisi gas. Dua pola pemeliharaan utama yang diterapkan adalah pola pemeliharaan intensif dan semi-intensif. Setiap pola pemeliharaan memiliki implikasi yang berbeda terhadap jumlah dan jenis limbah yang dihasilkan, serta emisi gas rumah kaca seperti metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O).

Pola pemeliharaan Intensif

Pola pemeliharaan intensif melibatkan pengurungan ternak di dalam kandang sepanjang waktu, dengan pakan yang disediakan secara rutin oleh peternak. Dalam sistem ini, kontrol terhadap pakan dan kondisi lingkungan ternak lebih mudah dilakukan. Beberapa karakteristik penting dari pola pemeliharaan intensif yang berhubungan dengan pengolahan limbah adalah:

Produksi Limbah yang Terpusat. Pada sistem intensif, feses dan urin sapi terkumpul di satu tempat, memudahkan pengelolaan limbah. Limbah ini dapat dikumpulkan secara rutin dan diolah menggunakan metode yang lebih terencana, seperti kompos, biogas, atau teknologi anaerobik lainnya. Penanganan limbah yang terpusat dapat mengurangi emisi metana dari fermentasi enterik karena kondisi yang lebih terkontrol dan penerapan teknologi yang lebih efisien (Garnett *et al.*, 2017).

Pengurangan Emisi Metan. Menurut penelitian, pengelolaan limbah dengan biogas atau pengomposan dapat mengurangi emisi metana hingga 50% dibandingkan dengan pembuangan langsung ke lingkungan (Möller *et al.*, 2018).

Dalam sistem intensif, pengolahan limbah melalui biodigester menghasilkan biogas yang tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca tetapi juga dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif.

Peningkatan Emisi N₂O: Meskipun pola pemeliharaan intensif dapat mengurangi emisi metana, emisi N₂O mungkin meningkat karena penumpukan limbah dalam satu area. Limbah yang menumpuk dan dikelola dengan kurang baik dapat menjadi sumber emisi N₂O yang signifikan akibat aktivitas nitrifikasi dan denitrifikasi oleh mikroba (IPCC, 2006).

Pola Pemeliharaan Semi-Intensif

Dalam pola pemeliharaan semi-intensif, sapi dibiarkan merumput di lahan terbuka selama sebagian hari dan dikandangkan pada malam hari atau pada saat tertentu. Pola ini menggabungkan aspek penggembalaan dengan pengurungan, sehingga memiliki karakteristik pengelolaan limbah yang berbeda.

Limbah ternak dalam pola semi-intensif tersebar di lahan penggembalaan, yang dapat menjadi sumber kesuburan alami bagi tanah. Namun, distribusi limbah yang tidak terkontrol ini dapat meningkatkan emisi N₂O karena adanya area penggembalaan yang terkena deposisi nitrogen, terutama jika lahan tersebut memiliki kelembaban tinggi (Oenema *et al.*, 2005).

Penggembalaan dapat membantu dalam pengendalian emisi metana melalui penyebaran kotoran, penguraian bahan organik di lapangan terbuka masih dapat menghasilkan emisi metana. Namun, jumlah emisi ini biasanya lebih rendah dibandingkan dengan emisi dari limbah yang terkumpul di kandang dalam pola intensif, terutama jika lahan memiliki drainase yang baik (Smith *et al.*, 2008).

Keuntungan Ekologis dan Kesehatan Ternak: Pola semi-intensif memungkinkan ternak untuk berperilaku alami dengan merumput, yang dapat meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan ternak. Namun, kontrol terhadap pakan dan manajemen kesehatan ternak menjadi lebih menantang. Emisi gas rumah kaca dari pola ini cenderung lebih bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti jenis pakan, manajemen penggembalaan, dan kondisi lingkungan (Herrero *et al.*, 2016).

Berdasarkan hasil penelitian dapat diasumsikan bahwa pola intensif menghasilkan lebih banyak emisi CH₄ per unit limbah karena fermentasi enterik yang lebih terkontrol. Namun, dengan pengelolaan yang tepat seperti penggunaan biodigester, emisi ini dapat diminimalkan. Sebaliknya, pola semi-intensif memungkinkan penyebaran emisi metana yang lebih rendah tetapi lebih tersebar.

Pola pemeliharaan intensif cenderung memiliki emisi N₂O lebih tinggi dari pengolahan limbah terpusat. Pola semi-intensif mungkin memiliki emisi N₂O lebih rendah di tingkat kandang tetapi berpotensi menghasilkan emisi N₂O di lahan penggembalaan akibat deposisi nitrogen dari feses dan urin.

Emisi Gas Rumah Kaca dari Peternakan dan Pengelolaan Feses Sapi Potong di Kecamatan Paseh Kabupaten Sumedang

Tabel 2. Emisi Gas CH₄ dan N₂O dari Peternakan Sapi potong di Indonesia

Kelompok	Populasi (ekor)	Animal Unit	Emisi Gas CH ₄ (Gg/Tahun)		Emisi N ₂ O (Gg/Tahun)		
			Emisi gas CH ₄ dari Fermentasi Enterik (Gg CO ₂ -eq/Tahun)	Emisi gas CH ₄ dari Pengolahan Limbah (Gg CO ₂ -eq/Tahun)	Emisi N ₂ O Langsung dari pengolahan Limbah Feses Sapi Potong (Kg CO ₂ -eq/Tahun)	Emisi N ₂ O Tidak Langsung dari pengolahan Limbah Feses Sapi Potong (Kg CO ₂ -eq/Tahun)	
Mayang Mekar	Tanjung	35	25,2	0,0272	0,00057	185,613	18,5613
Cipondoh		10	7,2	0,0077	0,00016	53,032	5,3032
Pasir Randu		25	18	0,0194	0,00041	132,581	13,2581
Kondang Jaya		8	5,76	0,0062	0,00013	42,426	4,2426
Salak Mukti		8	5,76	0,0062	0,00013	42,426	4,2426
Total	86	61,92		0,0669	0,0014	456,079	45,608

Sumber: Data diolah (2024)

Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan gas-gas yang berpengaruh terhadap efek rumah kaca yang menyebabkan perubahan iklim (Syarifah & Widiawati, 2017). Jenis gas dan kontribusinya yang memberikan efek terhadap rumah kaca adalah H₂O (65%), karbon dioksida (CO₂) (33%), dan lainnya, yaitu metana (CH₄), dinitro oksida (N₂O), dan ozon (O₃) sebesar 2% (Jarraud & Steiner, 2014; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] 2014).

Hasil perhitungan nilai faktor emisi (FE) digunakan dalam mengestimasi kontribusi GRK dari sapi potong. Nilai FE CH₄ enterik, gas CH₄ dan gas N₂O dari pengelolaan limbah menggunakan pendekatan metode Tier-1 dari IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) 2006 (Somogyi *et al.*, 2006).

Fermentasi enterik terjadi di dalam sistem pencernaan sapi, khususnya di rumen, di mana mikroorganisme mencerna bahan organik dan menghasilkan metana sebagai produk sampingan. Ini adalah salah satu sumber utama emisi metana dari sektor peternakan. Berdasarkan hasil perhitungan pada penelitian ini (Tabel 2) kelompok Mayang Tanjung Mekar, emisi CH₄ dari fermentasi enterik tercatat sebesar 0,0272 Gg CO₂-eq/tahun. Kelompok ini memiliki populasi ternak terbesar (35 ekor), yang sejalan dengan emisi metana yang lebih tinggi dibandingkan kelompok lain. Secara total, emisi CH₄ dari fermentasi enterik di seluruh Kecamatan Paseh mencapai 0,0669 Gg CO₂-eq/tahun.

Emisi CH₄ dari Pengelolaan feses Sapi Potong di Kecamatan Paseh

Tabel 2 terlihat bahwa hasil total emisi gas metana (CH₄) dari pengelolaan kotoran ternak dari seluruh sektor peternakan yang ada di Kecamatan Paseh yaitu sebesar 0,0014 Gg CO₂-eq/tahun. Kelompok Mayang Tanjung Mekar menjadi penyumbang terbanyak emisi gas metana (CH₄) dari pengelolaan kotoran ternak dengan total emisi gas metana (CH₄) yang dihasilkan sebesar 0,00057 Gg CO₂-eq/tahun dan yang paling sedikit adalah Kelompok Kondang Jaya dan Salak Mukti 0,00013 Gg CO₂-eq/tahun. Limbah peternakan sapi potong

yang tidak dikelola dengan baik juga menghasilkan metana melalui proses dekomposisi anaerob, pada sistem pengelolaan limbah ternak sapi potong secara konvensional dengan cara limbah/feses sapi potong dibiarkan mengering di lapangan terbuka atau disebut dengan metode *dry lot*, kondisi ini dapat menghasilkan emisi metana.

Emisi N₂O secara langsung dan tidak langsung dari Pengelolaan feses Sapi Potong di Kecamatan Paseh

Emisi N₂O langsung berasal dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi dalam pengelolaan limbah ternak sapi potong. Nitrifikasi merupakan proses biokimia yang melibatkan oksidasi amonia (NH₃) menjadi nitrit dan nitrat oleh bakteri di tanah, sedangkan denitrifikasi adalah proses di mana nitrat diubah menjadi gas nitrogen (N₂) dan dinitrogen oksida (N₂O) oleh bakteri anaerobik (Norton, 2015). Emisi N₂O langsung dari kotoran ternak sapi potong di Kecamatan Paseh sekitar 456,079 Kg CO₂-eq/tahun.

Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa pengelolaan kotoran ternak yang diterapkan pada ternak sapi potong adalah tumpuk kering (kotoran yang dihasilkan dari ternak ditumpuk hingga kering untuk beberapa jangka waktu tertentu). Kotoran yang ditumpuk ini biasanya akan digunakan para pemilik ternak untuk dijual dan sebagai pupuk tanaman.

Feses yang telah ditumpuk kering, cukup banyak masyarakat yang berminat membeli feses yang telah matang menjadi kompos tersebut untuk sektor pertanian. Jangka waktu penyimpanan kotoran yang di tumpuk kering ini bisa satu sampai tiga bulan bahkan lebih tergantung kebutuhan dari pemilik itu sendiri maupun permintaan dari luar kecamatan Paseh.

Emisi N₂O tidak langsung dari kotoran ternak feses sapi potong di Kecamatan Paseh (Tabel 4.2) sekitar 45,608 Kg CO₂-eq/tahun. Emisi N₂O tidak langsung terjadi ketika nitrogen hilang dari kotoran ternak dalam bentuk amonia (NH₃) dan nitrat (NO₃) ke lingkungan. Proses ini sering terjadi melalui volatilisasi amonia dan pencucian nitrat ke dalam air tanah dan air permukaan (Lam *et al.*, 2017). Potensi emisi N₂O tidak langsung akibat pengendapan NH₃ dan NO_x diperkirakan sama besarnya dengan emisi N₂O langsung (Denmead *et al.*, 2008).

Emisi dinitrogen oksida (N₂O) langsung dan tidak langsung dari pengelolaan kotoran ternak dihitung pada setiap kelompok yang ada di Kecamatan Paseh menggunakan metode Tier-1 IPCC (2006) dengan jumlah emisi N₂O yang dihasilkan sebanyak 501,687 Kg CO₂-eq/tahun. Hasil dari perhitungan, dilakukan perbandingan pada setiap kelompok sehingga dapat diketahui kelompok mana yang menjadi penyumbang terbesar dan terkecil emisi gas dinitrogen oksida (N₂O) langsung dan tidak langsung dari pengelolaan kotoran ternak. Hasil perhitungan total emisi gas dinitrogen oksida (N₂O) langsung dan tidak langsung di kelompok-kelompok yang ada di Kecamatan Paseh (Tabel 9) terlihat kelompok Mayang Tanjung Mekar menghasilkan emisi N₂O tertinggi sebesar 204,1743 Kg CO₂-eq/tahun dan terendah pada kelompok Kondang Jaya dan Slak Mukti yang hanya menghasilkan 46,6686 Kg CO₂-eq/tahun.

Perbedaan ini dipengaruhi dari jumlah populasi ternak sapi potong yang dipelihara, artinya jumlah populasi yang banyak akan semakin menambah kontribusi terhadap emisi gas rumah kaca baik dari emisi gas CH₄ dari fermentasi enteric ataupun dari pengelolaan feses sapi potong (Wang, 2017), begitupun emisi N₂O secara langsung atau pun secara tidak langsung dari pengolahan feses sapi potong dipengaruhi dari jumlah populasi sapi yang dipelihara.

Ambang Batas Normal menurut Pedoman IPCC (2006), bahwa emisi metana dari ternak ruminansia rata-rata berkisar antara 0,025 hingga 0,042 Gg CH₄ per tahun per 1.000 ekor sapi. Data yang diperoleh dari Kecamatan Paseh menunjukkan angka yang berada dalam kisaran ini, jika dikonversi ke tingkat populasi yang lebih besar. Namun, dalam skala peternakan kecil, jumlah emisi ini masih perlu diperhatikan, terutama terkait dengan praktik pengelolaan yang dapat meningkatkan atau mengurangi emisi.

Dinitrogen Oksida (N₂O): Emisi N₂O yang diamati juga relatif kecil bila dibandingkan dengan emisi dari sektor lain seperti pertanian tanaman pangan. Namun, mengingat potensi pemanasan global (GWP) N₂O yang tinggi, bahkan emisi dalam jumlah kecil pun signifikan. IPCC (2019) mengidentifikasi bahwa pengelolaan limbah yang baik dan penggunaan teknologi dapat mengurangi emisi N₂O secara substansial.

Upaya Mitigasi dan Adaptasi pada Sektor Peternakan di Kecamatan Paseh Kabupaten Sumedang

Berdasarkan hasil penelitian mengenai emisi gas rumah kaca (GRK) dari peternakan sapi potong di Kecamatan Paseh, Kabupaten Sumedang, terlihat jelas bahwa sektor ini berkontribusi terhadap emisi metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O). Untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan, diperlukan upaya mitigasi dan adaptasi yang tepat. Berikut ini adalah strategi yang dapat diterapkan untuk mengurangi emisi GRK dan meningkatkan keberlanjutan sektor peternakan di Kecamatan Paseh.

1. Mitigasi Emisi CH₄ dari Fermentasi Enterik
Fermentasi enterik adalah sumber utama emisi metana di sektor peternakan. Untuk mengurangi emisi ini, beberapa pendekatan dapat dilakukan diantaranya : Peningkatan Efisiensi Pakan. Pakan yang lebih berkualitas dapat mengurangi produksi metana di dalam rumen sapi. Menurut FAO (2013), pakan dengan kandungan serat yang lebih rendah dan protein yang lebih tinggi dapat mengurangi emisi metana. Selain itu, penggunaan aditif pakan seperti lipid dan senyawa anti-metanogenik dapat menghambat produksi metana.
 - a. Penggunaan Suplemen Pakan
Suplemen pakan seperti probiotik dan enzim juga dapat mengurangi emisi metana. Probiotik dapat meningkatkan keseimbangan mikroba dalam rumen sehingga mengurangi produksi metana.
 - b. Seleksi Genetik dan Peningkatan Manajemen Ternak
Seleksi genetik untuk sapi yang lebih efisien dalam mencerna pakan dapat mengurangi produksi metana per unit produk yang dihasilkan. Manajemen ternak yang lebih baik, seperti meningkatkan kesehatan hewan dan efisiensi reproduksi, juga dapat mengurangi jumlah ternak yang diperlukan untuk mencapai tingkat produksi yang sama, sehingga mengurangi total emisi.
2. Mitigasi Emisi CH₄ dan N₂O dari Pengolahan Limbah
Emisi metana dan dinitrogen oksida dari pengolahan limbah juga merupakan masalah yang signifikan. Berikut adalah beberapa pendekatan yang dapat diterapkan:
 - a. Pengelolaan Limbah dengan Teknologi Anaerobik
Penggunaan teknologi anaerobik seperti biodigester dapat mengubah limbah ternak menjadi biogas, yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif. Proses ini tidak hanya mengurangi emisi metana, tetapi juga menghasilkan energi terbarukan yang dapat digunakan untuk keperluan rumah tangga atau dijual untuk pendapatan tambahan.
 - b. Kompos dan Manajemen Limbah Padat
Pengomposan limbah ternak dapat mengurangi emisi N₂O dan menghasilkan pupuk organik yang bermanfaat bagi tanah pertanian. Proses pengomposan yang terkontrol dapat mengurangi emisi GRK dan meminimalkan bau serta penyebaran penyakit.
 - c. Pengelolaan Nutrien
Mengelola aplikasi pupuk kandang ke lahan secara lebih tepat dapat mengurangi emisi N₂O. Penerapan nitrogen dengan tepat waktu dan dosis yang sesuai dapat

- mengurangi kehilangan nitrogen ke atmosfer sebagai N₂O serta mencegah pencemaran air tanah dan air permukaan.
3. Adaptasi terhadap Perubahan Iklim
Adaptasi terhadap perubahan iklim adalah aspek penting lainnya untuk memastikan keberlanjutan sektor peternakan. Beberapa langkah yang dapat diambil termasuk:
 - a. Peningkatan Infrastruktur dan Teknologi
Mengembangkan infrastruktur yang lebih baik, seperti penyediaan fasilitas penyimpanan pakan yang baik, pengolahan air minum yang higienis, dan penanganan limbah yang efisien dapat membantu peternak beradaptasi dengan perubahan iklim. Teknologi yang mendukung, seperti sistem informasi manajemen peternakan, dapat membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik.
 - b. Pengembangan Sistem Peternakan Terintegrasi
Sistem peternakan yang terintegrasi dengan pertanian, seperti agrosilvopastoral, dapat meningkatkan ketahanan pangan dan ekonomi lokal. Sistem ini memungkinkan diversifikasi produk, penggunaan lahan yang lebih efisien, dan pengurangan risiko dari variabilitas iklim.
 - c. Edukasi dan Pelatihan Peternak
Memberikan edukasi dan pelatihan kepada peternak mengenai praktik-praktik peternakan yang berkelanjutan dan adaptasi terhadap perubahan iklim sangat penting. Program pelatihan dapat mencakup manajemen pakan, kesehatan hewan, dan teknologi pengelolaan limbah.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Sumber utama emisi GRK adalah fermentasi enterik dengan emisi sebesar 0,0669 Gg CO₂-eq per tahun, diikuti oleh pengolahan limbah yang menghasilkan 0,0014 Gg CO₂-eq per tahun. Emisi N₂O secara langsung dan tidak langsung dari pengolahan feses masing-masing sebesar 456,079 Kg CO₂-eq per tahun dan 45,608 Kg CO₂-eq per tahun.
2. Pengelolaan limbah yang efektif di peternakan rakyat dapat berkontribusi signifikan dalam pengurangan emisi metana dan dinitrogen oksida.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa dalam proses publikasi artikel ini Oki Imanudin dan Aaf Falahudin sebagai Section Editor keduanya tidak ada konflik kepentingan pada jurnal ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah turut membantu selama proses penelitian sampai menjadi artikel ilmiah ini, khususnya kepada Dekan dan sivitas akademika Fakultas Pertanian Universitas Majalengka, keluarga tercinta, dan tim sukses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anifah, E. M., Rini, I. D. W. S., Hidayat, R., & Ridho, M. (2021). *Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (Grk) Kegiatan Pengelolaan Sampah Di Kelurahan Karang Joang, Balikpapan*. Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan, 13(1), 17–33. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol13.iss1.art2>
- Choudhury, A., & Patel, K. (2010). The role of education in enhancing waste management practices. *Journal of Environmental Management*, 91(8), 1784-1790.
- DeFries, R. S., & Karanth, K. U. (2012). Education and technology adoption in agriculture.

- Global Environmental Change, 22(4), 854-861.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., & Brauman, K. A. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342.
- Garnett, T., Godde, C., Muller, A., Rööös, E., Smith, P., de Boer, I. J. M., Zu Ermgassen, E., Herrero, M., van Middelaar, C. E., Schader, C., & van Zanten, H. H. E. (2017). Grazed and confused? Ruminating on cattle, grazing systems, methane, nitrous oxide, the soil carbon sequestration question – and what it all means for greenhouse gas emissions. Food Climate Research Network, University of Oxford.
- Giller, K. E., & Njoroge, J. (2009). Managing agricultural waste for better productivity. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(11), 2231-2237.
- Gillespie, J., Nehring, R., Hallahan, C., & Sandretto, C. (2016). Pasture-Based Dairy Systems: Who Are the Producers and Are Their Operations More Profitable Than Conventional Dairies *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 41(3), 523-545.
- IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change). 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2 -Energy*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. And Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan
- Mantra, I.B. 2004. Demografi Umum. Penerbit Pustaka Pelajar: Yogyakarta.
- Möller, K., & Müller, T. (2018). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, 12(3), 242-257.
- Morgan, S. L., Cumbie, B. A., & Van Dyk, J. L. (2009). Practice-Oriented Research for Agricultural Development. *Agricultural Economics*, 40, 289-295.
- Moss, A.R, Jean-Pierre. Jouany, and J. Newbold.2000. *Methane Production by Ruminants: its contribution to Global Warming*. *Annual Zootechnology*, 49(5): 231-253
- Oenema, O., Wrage, N., Velthof, G. L., van Groenigen, J. W., Dolfing, J., & Kuikman, P. J. (2005). Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 72(1), 51-65.
- Prabowo, S., Pranoto, & Budiastuti, S. (2019). *Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca yang dihasilkan dari Bioeksperimen*, 5(1), 21–23. <https://doi.org/10.23917/bioeksperimen.v5i1.2795>
- Smith, P., Davis, S., & Misselbrook, T. (2008). Mitigation of greenhouse gas emissions from agriculture. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 36-48.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., & Sirotenko, O. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 789-813.
- Sunusi, A., Hermami, A., Purwaningsih, Y., & Setiawan, A. (2022). *Pengukuran Gas Rumah Kaca (Grk) Pada Lahan Budidaya Bawang Merah*.
- Zhou, Y., & Liu, L. (2013). Impact of education on technology adoption in agriculture. *Agricultural Economics*, 44(3), 361-373.