

Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca dari Limbah Peternakan di Provinsi Bengkulu

Yurike^{1*}, Yudha Saktian Syafruddin²

¹Program Studi Pengeolaan Sumber Daya Alam Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia.

²Rimbo Pangan Lestari, Nagari Sirukam Kabupaten Solok, Sumatera Barat, Indonesia.

*Email Co-Authors: yurike@unib.ac.id

Info Artikel	
Kata Kunci: Emisi Gas Rumah Kaca Limbah Peternakan, Lingkungan, Metana.	Abstrak: Sektor peternakan merupakan salah satu kontributor utama dalam penyediaan pangan di Indonesia, tetapi juga memiliki dampak lingkungan yang signifikan, terutama dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK). Limbah peternakan, seperti kotoran hewan, urin, dan sisa pakan, dapat melepaskan gas metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O) yang memiliki potensi pemanasan global lebih tinggi dibandingkan karbon dioksida (CO_2). Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi besaran emisi gas rumah kaca (GRK), khususnya metana (CH_4), yang berasal dari aktivitas peternakan di Provinsi Bengkulu dalam periode tahun 2020 hingga 2024. Emisi dihitung berdasarkan dua sumber utama, yaitu fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran, dengan menggunakan pendekatan estimasi emisi berbasis data populasi ternak dari Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan Kemeterian Pertanian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total emisi metana mengalami peningkatan signifikan dari 182,78 Gg $\text{CO}_2\text{-eq}$ pada tahun 2020 menjadi 251,66 Gg $\text{CO}_2\text{-eq}$ pada tahun 2024. Sapi potong merupakan penyumbang emisi terbesar, mencapai lebih dari 87% total emisi pada tahun 2024, sejalan dengan peningkatan populasi ternak tersebut. Emisi dari ternak lain seperti kerbau, kambing, dan unggas juga memberikan kontribusi, meskipun dalam skala yang lebih kecil. Berdasarkan temuan ini, strategi mitigasi yang direkomendasikan mencakup perbaikan manajemen pakan, pengolahan limbah melalui teknologi biogas, serta penerapan kebijakan peternakan rendah emisi yang didukung oleh edukasi dan insentif kepada peternak. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar perumusan kebijakan pengendalian emisi GRK sektor peternakan di tingkat daerah.
Riwayat Artikel: Diterima: 20 April 2025 Revisi: 10 Mei 2025 Diterima: 30 Mei 2025	Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi CC-BY-SA . 

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global yang ditandai dengan peningkatan suhu rata-rata bumi merupakan salah satu tantangan lingkungan terbesar abad ini (Mohanty & Mohanty, 2009). Salah satu penyebab utamanya adalah peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK), seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O), di atmosfer(Dhillon et al., 2013). Di antara berbagai sektor penyumbang emisi GRK, sektor pertanian—khususnya subsektor peternakan—menjadi penyumbang signifikan, terutama dalam bentuk gas metana yang berasal dari fermentasi enterik dan pengelolaan limbah organik ternak (FAO, 2017).

Menurut laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2019), sektor peternakan menyumbang sekitar 14,5% dari total emisi GRK global, dan metana dari fermentasi enterik ternak ruminansia menyumbang lebih dari 44% dari total emisi sektor ini. Di Indonesia, berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2022), sektor pertanian menyumbang sekitar 24,5% dari total emisi nasional, dengan limbah peternakan menjadi salah satu kontributor utama.

Provinsi Bengkulu sebagai salah satu wilayah dengan potensi pengembangan peternakan yang tinggi di Sumatera, memiliki populasi ternak yang terus berkembang, terutama sapi potong, kambing, dan unggas. Namun, hingga saat ini kajian ilmiah yang mengukur secara kuantitatif kontribusi limbah peternakan terhadap emisi GRK di daerah ini masih terbatas. Oleh karena itu, penting dilakukan penelitian untuk mengestimasi emisi metana dari limbah peternakan di Provinsi Bengkulu sebagai dasar pengambilan kebijakan yang berbasis bukti ilmiah.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung total emisi metana dari aktivitas peternakan di Bengkulu dalam periode 2020 hingga 2024 berdasarkan data populasi ternak dan pendekatan estimasi emisi berbasis IPCC Guidelines (2006). Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi kontribusi masing-masing jenis ternak terhadap total emisi, serta merumuskan strategi mitigasi yang dapat diterapkan untuk menurunkan emisi sektor peternakan di tingkat daerah.

METODE PENELITIAN

Metode, Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan meta analisis, yang merupakan teknik statistik yang menggabungkan temuan berbagai penelitian dalam satu penelitian untuk menghasilkan kesimpulan yang lebih komprehensif dan kuat (Sigman, 2011). Dengan demikian, diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dampak gas rumah kaca terhadap perubahan iklim global dan membantu peneliti serta membuat kebijakan dalam merumuskan strategi mitigasi yang efektif.

Data yang dianalisis menggunakan data sekunder dari buku, jurnal, dan literatur yang relevan, serta data dari Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan Kementerian Pertanian dari tahun 2020 sampai 2024.

Analisis Data

Metode Tier-1 dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) digunakan untuk menghitung emisi metana. Untuk parameter default seperti faktor emisi dan perubahan karbon, persamaan dan nilainya telah tersedia secara global dan dapat digunakan. Selain itu, Tier-1 digunakan sebagai perhitungan sederhana yang membutuhkan data aktivitas berupa populasi ternak (IPCC, 2006). Alasan menggunakan metode Tier 1 karena belum adanya data spesifik terkait emisi ternak di Provinsi Bengkulu.

Menurut IPCC (2006), metode penghitungan emisi metana di Tier 1 adalah sebagai berikut: Pertama, hitung jumlah populasi ternak (*animal unit*) dengan mengalikan jumlah individu ternak dengan faktor koreksi yang ditetapkan untuk jenis ternak tersebut. Faktor koreksi untuk berbagai jenis ternak diantaranya: sapi pedaging = 0,72, sapi perah = 0,75, kerbau = 0,72, kuda, domba, kambing, babi dan unggas = 1 (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Untuk menghitung *animal unit*, rumus penghitungannya sebagai berikut:

$$N(T) \text{ dalam } Animal \ Unit = N(X) \times k(T)$$

Dimana,

$N(T)$ = Total ternak dalam animal unit;

$N(X)$ = Total populasi ternak dalam ekor;

$k(T)$ = Faktor koreksi; (sapi pedaging = 0,72, sapi perah = 0,75, kerbau = 0,72),
kuda, domba, kambing, babi dan unggas = 1;

T = Jenis ternak (kerbau, sapi perah, dan sapi pedaging).

Selanjutnya menentukan faktor emisi hewan tersebut. Pada Tabel 1 dapat di lihat faktor emisi gas metana (CH_4) pada berbagai jenis ternak.

Tabel 1. Faktor Emisi Gas Metana (CH_4) Pada Berbagai Jenis Ternak

Jenis Ternak	Faktor Emisi Gas Metana (CH_4) dari fermentasi enteric (kg/ekor/tahun)	Faktor Emisi Gas Metana (CH_4) dari pengelolaan kotoran ternak (kg/ekor/tahun)
Sapi Pedaging	47	1,0
Sapi Perah	61	31
Kerbau	55	2
Kuda	18	2,19
Kambing	5	0,22
Domba	5	0,2
Babi	1	7
Unggas	0	0,22

Sumber: IPCC (2006)

Setelah itu, menghitung emisi gas CH_4 dari fermentasi enterik. Rumus penghitungannya sebagai berikut :

$$H_4 \text{ Enteric} = EF(T) \times N(T) \times 10^{-6}$$

Dimana,

$CH_4 \text{ Enteric}$ = Emisi gas metana dari fermentasi enterik, Gg CH_4 /tahun;

$EF(T)$ = Faktor emisi populasi jenis ternak tertentu, kg/ekor/tahun;

$N(T)$ = Total populasi jenis ternak tertentu, satuan ternak (*animal unit*); dan

T = Jenis ternak.

Lebih lanjut, menghitung jumlah emisi metana yang dihasilkan oleh pengelolaan kotoran. Untuk menghitung emisi metana dari pengelolaan kotoran ternak, berikut rumus yang digunakan:

$$CH_4 \text{ Manure} = EF(T) \times N(T) \times 10^{-6}$$

Dimana,

$CH_4 \text{ Manure}$ = Emisi gas metana dari pengelolaan kotoran ternak, Gg CH_4 /tahun;

$EF(T)$ = Faktor emisi populasi jenis ternak tertentu, kg/ekor/tahun;

$N(T)$ = Total populasi jenis ternak tertentu, satuan ternak (*animal unit*); dan

T = Jenis ternak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkembangan Populasi Ternak di Provinsi Bengkulu

Populasi ternak di Provinsi Bengkulu menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan selama periode tahun 2020 hingga 2024. Data ini penting untuk dianalisis dalam konteks estimasi emisi gas rumah kaca (GRK) karena populasi ternak berkorelasi langsung dengan jumlah limbah organik yang dihasilkan dan potensi emisi gas metana (CH_4) serta dinitrogen oksida (N_2O). Berdasarkan data Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan Kementerian Pertanian dan Badan Pusat Statistik Provinsi Bengkulu, perkembangan populasi ternak selama tahun 2020, 2022, dan 2024 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Jumlah Populasi Ternak di Provinsi Bengkulu Tahun 2020-2024

Tahun	Sapi Perah (Ekor)	Sapi Potong (Ekor)	Kerbau (Ekor)	Kuda (Ekor)	Kambing (Ekor)	Domba (Ekor)	Babi (Ekor)	Unggas (Ekor)
2020	283	154405	28975	52	207036	9572	1706	12841674
2022	140	155609	40161	53	221491	9902	1645	13862561
2024	86	276812	15168	48	93.305	1457	1512	12104330

Sumber: Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan Kementerian Pertanian, 2020, 2022, 2024

Pada Tabel 2 terlihat bahwa sapi potong mengalami peningkatan signifikan dari 154.405 ekor pada tahun 2020 menjadi 276.812 ekor pada tahun 2024. Kenaikan ini mengindikasikan adanya pengembangan sektor peternakan sapi potong di Provinsi Bengkulu, yang juga berdampak besar terhadap potensi emisi CH_4 dari proses fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran.

Ternak Sapi Perah dan Kerbau terlihat bahwa kedua jenis ternak ini justru mengalami penurunan populasi yang cukup drastis. Sapi perah menurun dari 283 ekor (2020) menjadi hanya 86 ekor (2024), sementara kerbau mengalami fluktuasi dan kemudian turun drastis dari 40.161 ekor (2022) menjadi 15.168 ekor (2024). Penurunan ini mengindikasikan adanya tantangan atau kurangnya minat pada peternakan tradisional/semi-intensif.

Kambing dan Domba terjadi penurunan tajam terutama pada tahun 2024, khususnya pada domba yang turun dari 9.902 ekor menjadi hanya 1.457 ekor. Penurunan ini perlu dicermati karena kambing dan domba juga merupakan kontributor signifikan terhadap emisi metana dari limbah padat mereka.

Populasi unggas sempat mengalami peningkatan dari 12,8 juta (2020) menjadi 13,8 juta (2022), namun kembali turun ke 12,1 juta (2024). Meskipun unggas menyumbang lebih sedikit emisi GRK per ekor dibanding ternak ruminansia, jumlahnya yang sangat besar tetap memberikan kontribusi yang signifikan secara kumulatif.

Populasi Babi dan Kuda relatif stabil dengan fluktuasi kecil. Meskipun kontribusi emisinya lebih kecil, limbah babi memiliki kandungan nitrogen yang tinggi dan dapat menjadi sumber emisi N_2O bila tidak dikelola dengan baik.

Perkembangan populasi ternak di Bengkulu menunjukkan pergeseran komposisi populasi ternak dari jenis kecil dan perah ke sapi potong sebagai dominan. Tren ini perlu menjadi pertimbangan utama dalam perhitungan emisi GRK berbasis sektor peternakan, terutama untuk perencanaan mitigasi yang berbasis data. Pergeseran dinamika populasi ternak ini menimbulkan pertanyaan penting mengenai keberlanjutan praktik peternakan di Provinsi Bengkulu. Karena fokus semakin tertuju pada sapi, menjadi penting untuk mempertimbangkan implikasi lingkungan dari transisi semacam itu, terutama dalam hal emisi gas rumah kaca.

Kenaikan jumlah sapi, meskipun bermanfaat untuk produksi daging, dapat memperburuk emisi metana, mengharuskan penerapan strategi pengelolaan limbah yang efektif untuk mengurangi efek ini (van Groenigen *et al.*, 2008). Selain itu, penurunan ternak tradisional dapat mencerminkan perubahan sosial ekonomi yang lebih luas, seperti pergeseran permintaan pasar atau dampak perubahan iklim pada praktik pertanian, menunjukkan perlunya strategi adaptif yang tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga mempromosikan keseimbangan ekologis (Naskar *et al.*, 2015). Memahami faktor-faktor yang saling berhubungan ini akan sangat penting untuk mengembangkan kebijakan komprehensif yang ditujukan untuk pengelolaan ternak berkelanjutan di wilayah tersebut.

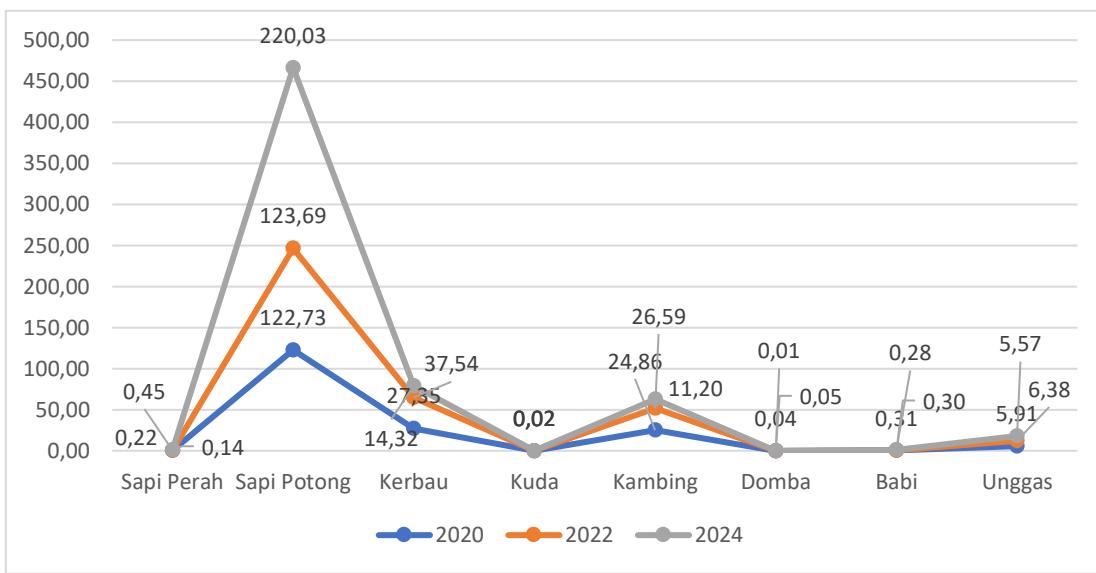
Estimasi Metana Pada Ternak di Provinsi Bengkulu

Emisi gas rumah kaca dari sektor peternakan di Provinsi Bengkulu merupakan salah satu aspek penting dalam menilai kontribusi sektor ini terhadap perubahan iklim. Salah satu gas utama yang dihasilkan dari aktivitas peternakan adalah metana (CH_4), yang berasal dari dua sumber utama: fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran. Fermentasi Enterik merupakan proses biologis dalam sistem pencernaan ternak ruminansia (sapi, kerbau, kambing, dan domba) yang menghasilkan metana. Ini merupakan sumber utama emisi dari sapi potong dan kerbau. Pengelolaan Kotoran merupakan proses dekomposisi anaerobik dari limbah ternak yang menghasilkan CH_4 . Semua jenis ternak berkontribusi pada kategori ini

Tabel 3. Emisi Metana (CH_4) dari Ternak di Provinsi Bengkulu 2020, 2022, 2024
Berdasarkan Sumber Emisi

Jenis Ternak	Sumber Emisi	Tahun		
		2020	2022	2024
Sapi Perah	Enterik	0,30	0,15	0,09
	Kotoran	0,15	0,07	0,05
Sapi Potong	Enterik	120,18	121,11	215,45
	Kotoran	2,56	2,58	4,58
Kerbau	Enterik	26,39	36,58	13,82
	Kotoran	0,96	0,96	0,50
Kuda	Enterik	0,02	0,02	0,02
	Kotoran	0,00	0,00	0,00
Kambing	Enterik	23,81	25,47	10,73
	Kotoran	1,05	1,12	0,47
Domba	Enterik	1,10	1,14	0,17
	Kotoran	0,04	0,05	0,01
Babi	Enterik	0,04	0,04	0,03
	Kotoran	0,27	0,26	0,24
Unggas	Enterik	0,00	0,00	0,00
	Kotoran	5,91	6,38	5,57
Total		182,78	195,93	251,73

Sumber: Data diolah, 2025



Gambar 1. Emisi Metana (CH₄) dari Ternak di Provinsi Bengkulu 2020, 2022, 2024 Berdasarkan Jenis Ternak.

Sumber: Data diolah, 2025.

Pada tahun 2024, total emisi metana (CH₄) dari sektor peternakan di Provinsi Bengkulu mencapai sekitar 251,66 Gg CO₂-eq. Dari jumlah tersebut, sapi potong menjadi penyumbang dominan, dengan emisi mencapai 220,03 Gg CO₂-eq, atau sekitar 87,4% dari total emisi. Hal ini sejalan dengan peningkatan signifikan populasi sapi potong pada tahun tersebut, yang hampir dua kali lipat dari dua tahun sebelumnya. Kontribusi besar ini menunjukkan bahwa fermentasi enterik dan limbah dari sapi potong merupakan sumber utama gas metana dalam sektor peternakan.

Kerbau menyumbang sekitar 14,32 Gg CO₂-eq atau 5,7%, mengalami penurunan dibanding tahun 2022, karena populasi kerbau juga menurun drastis. Sementara itu, kambing menyumbang 11,20 Gg CO₂-eq atau sekitar 4,5%, menurun akibat penurunan jumlah populasi kambing secara signifikan.

Unggas, meskipun tidak menghasilkan metana dari fermentasi enterik, tetap memberikan kontribusi sebesar 5,57 Gg CO₂-eq (sekitar 2,2%) dari pengelolaan limbah kotoran yang masif, mengingat populasinya yang mencapai lebih dari 12 juta ekor. Jenis ternak lainnya seperti sapi perah, domba, babi, dan kuda, hanya menyumbang emisi dalam jumlah yang sangat kecil secara individu, masing-masing kurang dari 0,5% terhadap total emisi, dan secara kolektif hanya sekitar 0,2%.

Peningkatan emisi terbesar terjadi antara 2022 dan 2024, yang disebabkan oleh:

- Lonjakan populasi sapi potong dari 155.609 ekor (2022) menjadi 276.812 ekor (2024).
- Penurunan populasi ternak kecil seperti kambing dan domba menyebabkan penurunan kontribusi mereka terhadap emisi.
- Stabilnya populasi unggas menyebabkan kontribusi emisi dari limbah unggas tetap relatif tinggi dan konsisten.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan populasi sapi potong menjadi faktor dominan dalam naiknya emisi gas rumah kaca di Provinsi Bengkulu. Oleh karena itu, pengelolaan limbah peternakan yang lebih efisien dan adopsi teknologi rendah emisi sangat penting, terutama pada peternakan sapi. Evaluasi rutin dan pendekatan berbasis data diperlukan dalam upaya mitigasi emisi GRK dari sektor ini.

Tabel 3. Total Emisi metana (CH_4) dari Ternak di Provinsi Bengkulu Tahun 2020, 2022, 2024

Tahun	Fermentasi enterik (Gg CO ₂ -eq/tahun)	Pengelolaan kotoran (Gg CO ₂ -eq/tahun)	Total Emisi Metana (Gg CO ₂ -eq/tahun)
2020	171,84	10,94	182,78
2022	189,56	11,42	195,93
2024	246,16	11,43	251,73

Sumber: Data diolah, 2025.

Total emisi metana dari seluruh jenis ternak menunjukkan peningkatan signifikan dari tahun 2020 hingga 2024: Kenaikan total emisi ini mencerminkan meningkatnya populasi ternak tertentu, khususnya sapi potong, yang memiliki kontribusi paling besar terhadap total emisi, terutama melalui fermentasi enterik. Meskipun demikian, perlu diingat bahwa pengelolaan yang baik dapat mengurangi emisi ini, seperti penerapan metode pemeliharaan yang lebih efisien dan penggunaan pakan yang berkualitas.

Strategi Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Peternakan di Provinsi Bengkulu

Berdasarkan hasil analisis emisi metana dari berbagai jenis ternak, khususnya dominasi emisi dari sapi potong, beberapa strategi mitigasi perlu diterapkan guna mengurangi dampak sektor peternakan terhadap perubahan iklim, diantaranya:

1. Optimalisasi Manajemen Pakan Ternak

Pakan yang berkualitas tinggi, serta penambahan aditif seperti tannin, minyak nabati, dan bahan penghambat metanogenesis seperti 3-NOP (3-nitrooxypropanol), dapat mengurangi produksi metana dari fermentasi enterik hingga 30–40% (Hristov et al., 2013; Gustiani, 2014). Penggunaan pakan fermentasi berbasis hijauan lokal dan dedak sebagai sumber energi efisien.

2. Pengelolaan Kotoran yang Ramah Lingkungan

Teknologi biogas seperti anaerobic digester mampu menurunkan emisi CH₄ dari limbah ternak hingga 60% dan sekaligus menghasilkan energi terbarukan (FAO, 2017). Kompos aerobik juga terbukti lebih rendah emisi dibanding fermentasi anaerobik terbuka.

3. Pemanfaatan Teknologi Peternakan Rendah Emisi

Penerapan smart farming dan precision livestock farming (PLF) dapat membantu memantau emisi secara real-time, sehingga pengambilan keputusan manajemen bisa lebih akurat (Berckmans, 2014). Teknologi seperti fermentasi pakan, alat monitoring emisi, dan sistem kandang terintegrasi membantu menekan emisi langsung dan tidak langsung dari aktivitas peternakan (Hristov et al., 2013).

4. Pengendalian Populasi dan Peningkatan Produktivitas

Pendekatan "produksi rendah emisi" (*low emission development*) yang didorong oleh Kementerian Pertanian Indonesia menekankan peningkatan produktivitas per ekor, bukan peningkatan jumlah ternak (Kementan, 2020). Jumlah ternak sapi potong juga mempengaruhi emisi gas metana (Rofiq, 2016; Akhadiarto, 2017; Yurike, 2024). Mengurangi jumlah ternak yang tidak produktif dan menggantinya dengan ternak

berproduksi tinggi akan menurunkan rasio emisi per satuan produk (daging/susu) FAO – Menyatakan bahwa intensifikasi produksi ternak dapat menurunkan emisi per kg produk hingga 30%. Dalam konteks local dapat dilakukan dengan Program inseminasi buatan dan seleksi genetik untuk meningkatkan efisiensi produksi sapi potong.

5. *Edukasi dan Pelatihan Peternak*

Pemberdayaan peternak melalui pelatihan teknis dan penyuluhan menjadi strategi kunci dalam meningkatkan adopsi teknologi rendah emisi di tingkat tapak (World Bank, 2021).

6. *Kebijakan dan Dukungan Pemerintah Daerah*

Penerapan Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAD-GRK) yang memasukkan sektor peternakan sebagai prioritas mitigasi daerah perlu diintegrasikan dalam RPJMD dan kebijakan pembangunan berkelanjutan Provinsi Bengkulu.

KESIMPULAN

Emisi gas rumah kaca dari sektor peternakan di Provinsi Bengkulu mengalami peningkatan signifikan dalam kurun waktu 2020 hingga 2024, dengan sapi potong menjadi kontributor utama emisi metana melalui proses fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran, mencapai lebih dari 87% dari total emisi tahun 2024. Penurunan emisi dari ternak kecil seperti kerbau, kambing, dan domba menunjukkan adanya korelasi langsung antara populasi ternak dan besarnya emisi yang dihasilkan. Oleh karena itu, upaya mitigasi yang efektif perlu difokuskan pada pengelolaan populasi ternak besar, perbaikan manajemen pakan dan limbah, serta penerapan teknologi rendah emisi dan biogas, yang didukung oleh kebijakan daerah dan edukasi berkelanjutan kepada peternak.

REFERENSI

- Akhadiarto, S. 2017. Estimasi emisi gas metana dari fermentasi enterik ternak ruminansia menggunakan metode tier-1 di Indonesia. *Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT*, 18(1): 1-8. DOI:10.29122/jtl.v18i1.38
- Bappenas (2019). *Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian*. Jakarta: Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Bappenas.
- Berckmans, D. (2014). "Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems." *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 33(1), 189–196.
- Dhillon, G. S., Ajila, C. M., Kaur, S., Brar, S. K., Verma, M. P., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2013). Greenhouse Gas Contribution on Climate Change. ASCE Book Series- Environ. & Water Resour. Engg. <https://doi.org/10.1061/9780784412718.CH03>
- Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan Tahun 2020. Kementerian Pertanian RI.
- Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan Tahun 2022. Kementerian Pertanian RI.
- Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan Tahun 2024. Kementerian Pertanian RI.
- FAO (2017). *Greenhouse Gas Emissions and Mitigation in the Livestock Sector*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Gustiani, E. 2014. Pengurangan emisi gas rumah kaca dari peternakan melalui pemanfaatan bahan pakan lokal yang mengandung tanin. Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner.
- Hristov, A. N., Oh, J., Firkins, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H. P., Adesogan, A. T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P. J., Henderson, B., & Tricarico, J. M. (2013). Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of animal science*, 91(11), 5045–5069. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583>
- IPCC. (2019). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*.
- Kementerian Pertanian RI. (2020). *Strategi Nasional Pertanian Rendah Emisi Gas Rumah Kaca*. Jakarta: Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan.
- Kementerian Pertanian RI. (2020). *Strategi Nasional Pertanian Rendah Emisi Gas Rumah Kaca*. Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan.
- KLHK. (2022). *Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional 2022*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Mohanty, S., & Mohanty, B. P. (2009). Global climate change: a cause of concern. National Academy Science Letters-India
- Naskar, S., Gowane, G. R., & Chopra, A. (2015). Strategies to Improve Livestock Genetic Resources to Counter Climate Change Impact. Springer, India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2265-1_25
- Rofiq, M.N. 2016. Estimasi emisi gas metana dari fermentasi enterik ternak ruminansia di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Peternakan Berkelanjutan 2016, 1-8.
- Sigman, M. (2011). A meta-analysis of meta-analyses. *Fertility and Sterility*, 96(1): 11-14. <https://doi.org/10.1016/J.FERTNSTERT.2011.05.029>
- van Groenigen, J. W., Schils, R., Velthof, G. L., Kuikman, P., Oudendag, D. A., & Oenema, O. (2008). Mitigation strategies for greenhouse gas emissions from animal production systems: synergy between measuring and modelling at different scales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2): 46-53. <https://doi.org/10.1071/EA07197>
- World Bank (2021). *Transforming the Livestock Sector Through Climate-Smart Practices*. Washington, DC.
- Yurike. (2024). Estimasi Emisi Metana (CH₄) pada Ternak Sapi Potong di Kabupaten Bengkulu Utara. *Buletin Peternakan Tropis*, 5(1): 99-106. Doi: <https://doi.org/10.31186/bpt.5>.