



Estimasi Emisi Metana (CH₄) pada Ternak Sapi Potong di Kabupaten Bengkulu Utara.

(Estimation of methane (CH₄) emissions in Beef Cattle in North Bengkulu Regency)

Yurike¹.

¹ Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Jalan Raya WR Supratman, Kadang Limun, Kota Bengkulu.

* Penulis Korespondensi (yurike@unib.ac.id)

Dikirim (*received*): 05 Maret 2023; dinyatakan diterima (*accepted*): 25 April 2024; terbit (*published*): 31 Mei 2024. Artikel ini dipublikasi secara daring pada https://ejournal.unib.ac.id/index.php/buletin_pt/index

ABSTRACT

This research aims to analyze estimates of methane (CH₄) emissions in beef cattle in North Bengkulu Regency, as well as factors that influence these emissions based on meta-analysis studies. The research method uses a meta-analysis approach. The data used is secondary data from the North Bengkulu Regency Central Statistics Agency and literature studies from various journals. Calculation of methane emissions is carried out using the Tier 1 method based on the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The reason for using the Tier 1 method is that specific data regarding emissions from beef cattle farms in North Bengkulu Regency is not yet available. The data obtained was then processed descriptively. The research results show that from 2019 to 2022, methane emissions from enteric fermentation of beef cattle in North Bengkulu Regency averaged 32.02 Gg CO₂-eq/year and methane emissions from cow manure management averaged 0.68 Gg CO₂-eq/year. It appears that there is a unidirectional relationship between the level of beef cattle population and the estimated value of the emissions it produces. Factors that influence methane emissions on beef cattle farms include the type of feed, number of livestock, manure management system, and medication administration. Collaboration between governments, livestock farmers and other stakeholders is needed to implement effective solutions to reduce the environmental impact of beef cattle farming and contribute to global climate change mitigation efforts.

Key words: Beef Cattle, Green House Gases, methane emissions

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis estimasi emisi metana (CH₄) pada ternak sapi potong di Kabupaten Bengkulu Utara, serta faktor-faktor yang mempengaruhi emisi tersebut berdasarkan studi meta analisis. Metode penelitian menggunakan pendekatan meta analisis. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Bengkulu Utara dan studi literatur dari berbagai jurnal. Penghitungan emisi metana dilakukan dengan menggunakan metode Tier 1 berdasarkan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Alasan penggunaan metode Tier 1 adalah belum tersedianya data spesifik mengenai emisi dari peternakan sapi potong di Kabupaten Bengkulu Utara. Data yang diperoleh kemudian diolah secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan pada tahun 2019 hingga 2022, emisi metana dari fermentasi enterik sapi potong di Kabupaten Bengkulu Utara rata-rata sebesar 32,02 Gg CO₂-eq/tahun dan emisi metana dari pengelolaan kotoran sapi rata-rata sebesar 0,68 Gg CO₂-eq/tahun. Terlihat ada hubungan searah antara tingkat populasi sapi potong dengan nilai estimasi emisi yang dihasilkannya. Faktor-faktor yang mempengaruhi emisi metana pada peternakan sapi potong diantaranya jenis pakan, jumlah ternak, sistem pengelolaan kotoran, dan pemberian obat-obatan. Diperlukan kolaborasi antara pemerintah, peternak, dan pemangku kepentingan lainnya untuk mengimplementasikan solusi-solusi yang efektif guna

mengurangi dampak lingkungan dari peternakan sapi potong dan berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim secara global.

Kata kunci: Sapi Potong, Gas Rumah Kaca, Emisi Metana.

PENDAHULUAN

Emisi gas rumah kaca (GRK) dari sektor peternakan merupakan salah satu kontributor utama peningkatan pemanasan global (Rofiq, 2016; Zuratih & Widiawati, 2020). Peternakan sapi potong merupakan sektor yang mempunyai potensial berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca (GRK), khususnya gas metana (CH₄) (Nugrahaeningtyas *et al.*, 2018). Efek gas rumah kaca dari metana sangat kuat, memiliki kemampuan untuk mempercepat pemanasan global sekitar 28-36 kali lebih tinggi daripada CO₂ dalam jangka waktu 100 tahun. Peternakan sapi potong diidentifikasi sebagai salah satu sumber utama emisi metana.

Peternakan sapi potong merupakan sektor yang signifikan di Indonesia, dengan sektor ini menyumbang 24,1% dari total emisi GRK yang bersumber dari sektor pertanian (Gustiar *et al.*, 2014). Berdasarkan beberapa hasil studi menunjukkan ternak sapi potong adalah salah satu sumber utama emisi gas metana (CH₄) yang signifikan. Selama proses eruktasi, hewan ruminansia seperti sapi memiliki sistem pencernaan khusus digunakan selama proses eruktasi, yang memungkinkan pelepasan gas metana (CH₄) ke atmosfer. Pada tahun 2013, diperkirakan emisi gas CH₄ dari fermentasi enterik ruminansia di Indonesia sebesar 1.066,63 Gg CH₄/tahun, atau 22,40 Gg CO₂-eq/tahun. Dengan emisi gas metana dari fermentasi enterik sebesar 8,675 Gg CO₂-eq/tahun, gas CH₄ dari kotoran ternak menyumbang 0,303 Gg CO₂-eq/tahun, dan emisi N₂O yang hanya dikeluarkan dari pengelolaan kotoran ternak sebesar 0,092 Gg CO₂-eq/tahun (Rofiq, 2016; Zuratih dan Widiawati, 2020).

Kabupaten Bengkulu Utara mempunyai populasi ternak sapi potong tertinggi di Provinsi Bengkulu yaitu sebanyak 43.019 ekor pada tahun 2022 (BPS Bengkulu Utara, 2023). Untuk itu mengetahui estimasi emisi metana dari ternak sapi potong secara akurat dapat membantu dalam identifikasi strategi mitigasi GRK yang efektif. Estimasi emisi metana dapat digunakan sebagai basis bagi monitoring dan evaluasi efektivitas implementasi solusi mitigasi GRK. Memahami pentingnya estimasi emisi metana dapat membawa peternak dan pemerintah kepada penguasaan informasi yang lebih baik tentang dampak GRK dari peternakan sapi potong, serta cara untuk menguranginya (Rofiq, 2016; Zuratih dan Widiawati, 2020). Di duga semakin Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis estimasi emisi metana (CH₄) pada ternak sapi potong di Kabupaten Bengkulu Utara, serta faktor-faktor yang mempengaruhi emisi tersebut berdasarkan studi meta analisis. Hipotesisnya adalah terdapat hubungan antara faktor-faktor tertentu seperti jumlah ternak sapi, jenis pakan yang diberikan, dan metode manajemen limbah ternak dengan tingkat emisi metana yang dihasilkan oleh ternak sapi potong.

BAHAN DAN METODE

Metode, Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan meta analisis, yang merupakan teknik statistik yang menggabungkan temuan berbagai penelitian dalam satu penelitian (Retnawati *et al.*, 2018). Data yang dianalisis menggunakan data sekunder dari buku, jurnal, dan literatur yang relevan, serta data dari Badan Pusat Statistik. Data ini

dikumpulkan dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Bengkulu Utara dari tahun 2019 hingga 2022.

Analisis Data

Metode Tier-1 dari Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) digunakan untuk menghitung emisi metana. Untuk menghitung metode ini, ternak muda digunakan sebagai standar. 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 pada sapi potong di Kabupaten Bengkulu Utara.

Menurut IPCC (2006), metode penghitungan emisi metana di Tier 1 adalah sebagai berikut: Pertama, hitung jumlah populasi sapi potong (animal unit) dengan mengalikan jumlah individu sapi dengan faktor koreksi yang ditetapkan untuk jenis ternak tersebut. Faktor koreksi untuk sapi potong/pedaging adalah 0,72 (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Untuk menghitung animal unit, rumus penghitungannya sebagai berikut:

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

Dimana,

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

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

$k(T)$ = Faktor koreksi; dan

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

Selanjutnya menentukan faktor emisi hewan tersebut. IPCC (2006) menyatakan bahwa nilai faktor untuk emisi metana enterik fermentasi untuk sapi potong yaitu 47 sedangkan nilai faktor emisi untuk

pengelolaan kotoran sapi pedaging sebesar 1,0 yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Setelah itu, menghitung emisi gas CH₄ dari fermentasi enterik. Rumus penghitungannya sebagai berikut :

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

Dimana,

$CH_4 \text{ Enteric}$ = Emisi gas metana dari fermentasi enterik, Gg CH₄/tahun;

$EF(T)$ = Faktor emisi populasi jenis ternak tertentu, kg CH₄ ekor/tahun (47);

$N(T)$ = 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:

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkembangan Populasi Sapi Potong di Kabupaten Bengkulu Utara

Populasi sapi global sangat berkorelasi dengan emisi gas metana dari fermentasi enterik dan pupuk kandang, dengan negara-negara berkembang mengalami peningkatan terbesar dalam populasi sapi (Oikawa et al., 2023). Kabupaten Bengkulu Utara memiliki jumlah populasi ternak sapi potong tertinggi diantara semua kabupaten/kota di Provinsi Bengkulu. Perkembangan sapi potong di Kabupaten Bengkulu Utara cenderung meningkat dari 36.333 ekor pada tahun 2019 menjadi 43.103 ekor pada tahun 2021. Pada tahun 2022 sedikit mengalami penurunan berkurang 84 ekor menjadi 43.019 ekor sapi. Jumlah populasi tertinggi adalah pada tahun 2021 dan populasi

Tabel 1. Faktor Emisi Gas Metana (CH₄) Pada Berbagai Jenis Ternak

No	Jenis Ternak	Faktor Emisi Gas Metana (CH ₄) dari fermentasi enterik (kg/ekor/tahun)	Faktor Emisi Gas Metana (CH ₄) dari pengelolaan kotoran ternak (kg/ekor/tahun)
1	Sapi Pedaging	47	1,0
2	Sapi Perah	61	31
3	Kerbau	55	2
4	Kuda	18	2,19
5	Kambing	5	0,22
6	Domba	5	0,2
7	Babi	1	7

Sumber: IPCC (2006)

terendah pada tahun 2019, seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Andrade *et al.*, (2020) dan Kozicka *et al.*, (2023) dalam studinya mengemukakan bahwa emisi CH₄ dari peternakan, terutama dari produksi ternak selama fermentasi enterik dan dari pupuk kandang, berkontribusi signifikan terhadap total emisi gas rumah kaca antropogenik. Populasi sapi global sangat berkorelasi dengan emisi metana dari sapi dan kotorannya. Negara-negara seperti Amerika Selatan, Afrika, dan Asia Tenggara, yang telah mengalami peningkatan terbesar dalam populasi sapi, menunjukkan korelasi yang kuat dengan populasi manusia. Di sisi lain, negara-negara maju dengan populasi sapi yang stabil memiliki korelasi yang tidak konsisten dan relatif lemah antara variabel produksi ternak dan populasi sapi. Dalam waktu dekat, akan ada peningkatan lebih lanjut terkait populasi sapi dan emisi metana, terutama di negara berkembang dengan pertumbuhan populasi yang tinggi (Andrade *et al.*, 2020).

Estimasi Metana Pada Ternak Sapi Potong di Kabupaten Bengkulu Utara

Fermentasi enterik pada ternak sapi potong merujuk pada proses pencernaan khusus yang memungkinkan pelepasan gas metana (CH₄) ke atmosfer oleh mikroorganisme dalam sistem pencernaan hewan ruminansia seperti kerbau, kambing, domba, dan sapi (Rofiq, 2016; Akhadiarto, 2017). Lebih lanjut, Zuratih & Widiawati

(2020) menambahkan fermentasi enterik ternak ruminansia adalah penyumbang terbesar emisi GRK dari sektor peternakan.

Berdasarkan data populasi sapi potong dan perhitungan emisi pada Tabel 3, menyajikan emisi metana dari fermentasi enterik sapi di Kabupaten Bengkulu Utara pada tahun 2019 hingga 2022, dengan rata-rata setara 32,02 Gg CO₂-eq/tahun. Emisi gas tertinggi dari fermentasi enterik berada pada tahun 2021 sebesar 33,55 Gg CO₂-eq/tahun dan terendah sebesar 28,28 Gg CO₂-eq/tahun pada tahun 2019. Perkembangan gas metana di Kabupaten Bengkulu Utara dari fermentasi enterik cenderung meningkat dari tahun 2019 sampai 2021, hanya tercatat sedikit penurunan pada tahun 2023 menjadi 33,48 Gg CO₂-eq/tahun.

Emisi gas metana (CH₄) dari pengelolaan kotoran ternak sapi terjadi melalui proses eruktasi, yaitu gas metana yang dilepaskan oleh ternak ruminansia seperti, sapi, domba, kerbau dan kambing melalui sistem pencernaan khusus mereka (Rofiq, 2016; Akhadiarto, 2017). Emisi metana yang berasal dari pengelolaan kotoran pada sapi potong di Kabupaten Bengkulu Utara rata-rata sebesar 0,68 Gg CO₂-eq/tahun dari tahun 2019 hingga tahun 2022. Nilai emisi metana tertinggi dari pengelolaan kotoran pada tahun 2021 dan 2022 hampir tidak berubah yaitu sebesar 0,71 Gg CO₂-eq/tahun dan nilai terendah sebesar 0,60 Gg CO₂-eq/tahun pada tahun 2019. Rata-Rata

Tabel 2. Jumlah Populasi Ternak Sapi Potong di Kabupaten Bengkulu Utara Tahun 2019-2022

Variabel	Tahun			
	2019	2020	2021	2022
Populasi	36333	42110	43103	43019
Satuan Ternak	26160	30319	31034	30973,68

Tabel 3. Emisi metana (CH₄) dari sapi potong di Kabupaten Bengkulu Utara tahun 2019-2022

Tahun	Fermentasi enterik Gg CO ₂ -eq/tahun	Pengelolaan kotoran Gg CO ₂ -eq/tahun	Total Emisi Metana Gg CO ₂ -eq/tahun
2019	28,28	0,60	28,88
2020	32,78	0,70	33,48
2021	33,55	0,71	34,26
2022	33,48	0,71	34,20
Rata-Rata	32,02	0,68	32,70

secara keseluruhan estimasi gas metana dari tahun 2019-2022 sebesar 32,70 Gg CO₂-eq/tahun.

Emisi CH₄ dari pengelolaan kotoran ternak sapi dapat berdampak pada lingkungan dan kesehatan manusia, serta menjadi kontributor utama peningkatan pemanasan global (Artiningrum & Havianto, 2021; Nurjaya & Rachmanto, 2023). Emisi CH₄ yang berasal dari pengelolaan kotoran pada tahun 2019 sampai 2022 memiliki pola peningkatan dan penurunan yang sama seperti pada emisi metana dari fermentasi enterik.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Emisi Metana Pada Peternakan Sapi Potong

Emisi metana pada peternakan sapi potong dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya: Faktor pertama yang mempengaruhi emisi metana pada peternakan sapi potong adalah jenis pakan. Produksi gas metana pada ternak sangat dipengaruhi oleh jenis pakan yang mereka makan. Ternak yang mengkonsumsi pakan rumput menghasilkan lebih banyak gas metana daripada ternak yang mengkonsumsi pakan hijauan leguminosa. Rasio hijauan terhadap konsentrasi dalam pakan ternak juga memiliki pengaruh besar pada komposisi mikrobiota rumen dan massa metana yang dihasilkan (Miller et al., 2023). Pemanfaatan bahan pakan lokal yang

mengandung tanin seperti kaliandra dapat menjadi alternatif untuk mengurangi produksi gas metana (Gustiani, 2014).

Faktor kedua adalah jumlah ternak. Jumlah ternak sapi potong juga mempengaruhi emisi gas metana. Semakin banyak ternak, semakin tinggi emisi gas metana yang dihasilkan. Pertumbuhan populasi ternak ruminansia di Indonesia mempengaruhi estimasi gas metana dari fermentasi enterik. Indonesia memiliki tingkat pertumbuhan ternak ruminansia yang cukup tinggi, sehingga estimasi emisi gas metana juga meningkat (Rofiq, 2016; Akhadiarto, 2017).

Faktor ketiga yang mempengaruhi emisi metana pada peternakan sapi potong adalah sistem pengelolaan kotoran. Emisi gas metana juga terkait dengan sistem pengelolaan kotoran ternak. Limbah seperti kotoran sapi yang terakumulasi dalam bentuk kotoran padat dan cair merupakan sumber potensial metana jika tidak dikelola dengan baik. Pengelolaan kotoran ternak yang baik, misalnya dengan mengolahnya menjadi biogas, dapat membantu mengurangi emisi gas metana (Zuratih dan Widiawati, 2020).

Faktor keempatnya adalah pemberian obat-obatan. Pemberian obat-obatan pada ternak juga dapat mempengaruhi emisi gas metana, namun pengaruhnya mungkin tidak sebesar faktor-faktor lain. Dengan

memperhatikan faktor-faktor ini, peternak dapat mengambil langkah-langkah untuk mengurangi emisi gas metana dari peternakan sapi potong, contohnya pemilihan jenis pakan yang tepat, pengelolaan kotoran ternak, dan penggunaan inovasi-inovasi lain dalam sistem peternakan.

Strategi Pengurangan Emisi Metana pada Peternakan Sapi Potong

Berbagai upaya bisa dilakukan untuk mengurangi emisi metana ternak ruminansia, diantaranya: pertama, mengurangi emisi metana ternak ruminansia dengan pemilihan jenis pakan. Ternak yang mengkonsumsi rumput menghasilkan lebih banyak gas metana daripada ternak yang mengkonsumsi hijauan leguminosa (Gustiani, 2014). Beberapa jenis pakan yang bisa dimanfaatkan guna mengurangi emisi metana dari fermentasi enterik ternak ruminansia antara lain : (a). Hijauan leguminosa: pemberian hijauan leguminosa seperti alfalfa, kacang hijau, dan kacang tanah dapat mengurangi produksi gas metana (Gustiani, 2014); (b). Bahan pakan lokal yang mengandung tanin: penggunaan kaliandra atau bahan pakan lokal lainnya yang memiliki kandungan tanin dapat mengurangi produksi gas metana (Gustiani, 2014). Penambahan tanin sebagai suplemen makanan telah menunjukkan harapan dalam meningkatkan fermentasi ruminal, mengurangi emisi CH₄, dan meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen (Firsoni et al., 2017); (c) Isi rumen: Isi rumen dapat digunakan sebagai pakan karena isi rumen mengandung mikroba sehat (probiotik) yang diperlukan untuk meningkatkan kemampuan mikroba untuk mencerna serat kasar. Fermentasi dengan isi rumen dapat menurunkan produksi gas sehingga tidak banyak kehilangan karbohidrat dalam bentuk gas CO₂ dan CH₄ (Firsoni et al., 2017); (d) Penggunaan aditif alami dalam makanan

sapi (Rofiq, 2016). Solusi potensial lainnya adalah penggunaan 3-nitrooxypropanol (3-NOP) sebagai aditif pakan, yang telah ditemukan menurunkan hasil metana pada sapi jantan (Gustiar et al., 2014; Kim et al., 2019). Aroujo et al., (2023) mengemukakan bahwa pemberian 3-nitrooxypropanol (3-NOP) telah terbukti secara efektif mengurangi emisi metana pada sapi tanpa mengganggu kinerjanya.

Upaya selanjutnya dengan menambah jumlah konsentrat dalam pakan. Menambah jumlah konsentrat dalam pakan dapat meningkatkan daya cerna pakan dan mengurangi produksi gas metana. Produksi gas metana dari pencernaan bisa dikurangi melalui pemberian pakan sapi yang terdiri dari 20% hijauan dan 80% konsentrat (Gustiar et al., 2014). Selain itu dengan upaya pemanfaatan teknologi. Teknologi seperti penggunaan probiotik dan prebiotik dalam pakan ternak dapat membantu mengurangi produksi gas metana (Gustiani, 2014). Selain itu, penggunaan biofilter pada kandang ternak juga dapat membantu mengurangi emisi gas metana (Sutaryo dan Sutrisno, 2019).

Upaya lainnya dengan pengelolaan kotoran ternak. Memanfaatkan kotoran sapi menjadi biogas yang bisa dimanfaatkan untuk sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, merupakan salah upaya untuk mengurangi emisi gas metana (Firsoni et al., 2014). Selain itu, dengan upaya peningkatan efisiensi produksi ternak. Peningkatan efisiensi produksi ternak dapat membantu mengurangi produksi gas metana per unit ternak. Untuk mencapai hal ini diperlukan peningkatan kualitas pakan, kesehatan ternak, dan manajemen peternakan yang baik (Rofiq, 2016)

Untuk itu diperlukan kolaborasi antara pemerintah, peternak, dan pemangku kepentingan lainnya untuk mengimplementasikan solusi-solusi yang efektif guna mengurangi dampak lingkungan dari peternakan sapi potong.

Dengan implementasi strategi yang tepat, harapannya dapat mengurangi dampak lingkungan dari peternakan sapi potong dan berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim secara global

KESIMPULAN

Perkembangan emisi gas metana di Kabupaten Bengkulu Utara terjadinya kecenderungan peningkatan emisi metana dari tahun 2019 sampai 2022 dan terjadi sedikit penurunan emisi metana pada tahun 2022. Rata-rata emisi gas metana dari hasil fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran sebesar 32,70 Gg CO₂-eq/tahun. Hasil emisi metana dari peternakan sapi potong merupakan salah satu kontributor penting terhadap perubahan iklim global. Faktor-faktor yang mempengaruhi emisi metana pada peternakan sapi potong diantaranya jenis pakan, jumlah ternak, sistem pengelolaan kotoran, dan pemberian obat-obatan. Beberapa strategi pengurangan emisi metana pada peternakan sapi potong diantaranya pemilihan jenis pakan, menambah jumlah konsentrat dalam pakan, pemanfaatan teknologi, pengelolaan kotoran ternak yang baik dan peningkatan efisiensi produksi ternak. Dengan adopsi praktek-praktek pengelolaan yang berkelanjutan dan strategi pengurangan emisi, potensi emisi metana dari sektor ini dapat dikurangi secara signifikan. Diperlukan kolaborasi antara pemerintah, peternak, dan pemangku kepentingan lainnya untuk mengimplementasikan solusi-solusi yang efektif guna mengurangi dampak lingkungan dari peternakan sapi potong. Dengan implementasi strategi yang tepat, harapannya dapat mengurangi dampak lingkungan dari peternakan sapi potong dan berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim secara global.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Andrade, B.G.N., H. Afli, F.A. Bressani, R.R.C. Cuadrat, P.S.N. de Oliveira, G.B. Mourão, L.L. Coutinho, J.M. Reecy, J.E. Koltos, M.M. de Souza, A.Z. Neto, S.R., de Medeiros, A. Berndt, J.C.P. Palhares, and L. C. \A. Regitano. 2020. Fecal and ruminal microbiome components associated with methane emission in beef cattle. stool and ruminal microbiome components associated with methane emission and feed efficiency in nelore beef cattle. DOI: 10.21203/RS.3.RS-74103/V1
- Araujo, T.L.D.R.D., C.H.S. Rabelo, A.D.S. Cardoso, V.V. de Carvalho, T.S. Acedo L.F. Tamassia, G.F. Vasconcelos, S. Duval, M. Kindermann, V.N. Gouvea, M.H.M.R. Fernanades, dan R.A. Reis. 2023. Feeding 3-nitrooxypropanol reduces methane emissions by feedlot cattle on tropical conditions. *Journal of Animal Science*. DOI: 10.1093/jas/skad225
- Artiningrum, T., dan C.A. Havianto. 2021. Potensi emisi grk dari sektor peternakan desa Cikalong, Kab. Bandung Barat Tahun 2016-2021. *Geoplanart*, 3(2): 134-149 DOI: <http://dx.doi.org/10.35138/gp.v3i2.355>
- Firsoni, S., I. Sugoro, W.T. Sasongko, T. Wahyono, N.W.H. Shintia, E.I. Kosasih, L. Nuniek., Dinardi, D. Ansori, dan U. Siman. 2017. *Dokumen Teknis Pembuatan Pakan Ternak Ruminansia dan Ikan*. Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Baan Tenaga Nuklir Nasional.
- Gustiani, E. 2014. Pengurangan emisi gas rumah kaca dari peternakan melalui pemanfaatan bahan pakan lokal yang mengandung tanin. *Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*.

- Gustiar, F., R.A. Suwignyo, Suheryanto, dan Munandar. 2014. Reduksi gas metan (CH₄) dengan meningkatkan komposisi konsentrat dalam pakan ternak sapi. Prosiding Seminar Nasional Peternakan Berkelanjutan 2014, 1-8.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories – a primer. IGES, Kanagawa
- Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). 2012. Pedoman penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca nasional. Buku II Volume 3. Kementerian Lingkungan Hidup Press, Jakarta
- Kim, S.H., C. Lee, H.A. Pechtl, J.M. Hettick., M.R. Campler., M.D.P. Garcia, K.A. Beauchemin, P. Celi, dan S. Duval. 2019. Effects of 3-nitrooxypropanol on enteric methane production, rumen fermentation, and feeding behavior in beef cattle fed a high-forage or high-grain diet. *Journal of Animal Science*, 97(7): 2687-2699. DOI: 10.1093/JAS/SKZ140
- Kozicka, K., J. Žukovskis., Elzbieta, dan W. Gront. 2023. Explaining global trends in cattle population changes between 1961 and 2020 directly affecting methane emissions. *Sustainability*, 15(13):10533-10533. DOI: 10.3390/su151310533
- Miller, G.A., M.D. Auffret., R. Roehe., H. Nisbet, dan M.M. Alvaro. 2023. Different microbial genera drive methane emissions in beef cattle fed with two extreme diets. *Frontiers in Microbiology*, 14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1102400>
- Nugrahaeningtyas, E., C.Y. Baek, J.H. Jeon, H.J. Jo, dan K.H. Park. 2018. Greenhouse gas emission intensities for the livestock sector in Indonesia, based on the national specific data. *Sustainability*, 10(6): 1912. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10061912>
- Nurjaya, L.A.N.W., dan T.A. Rachmanto. 2023. Potensi produksi gas metana (CH₄) dari kegiatan landfilling di TPA Bengkala Kabupaten Buleleng dengan Kombinasi Permodelan LandGEM, IPCC, dan LCA. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 15(2): 114-123. DOI: <https://doi.org/10.33005/envirotek.v15i2.262>
- Oikawa, K., T. Suzuki., Y. Kamiya, M. Higuchi, T. Yamada, M. Kamiya, dan F. Terada. 2023. Prediction of methane emissions from fattening cattle using the methane-to-carbon dioxide ratio. *Animal Science Journal*, 94 1(1): e13828-e1382. DOI: 10.1111/asj.13828
- Retnawati, H., E. Apino, H. Djidu, dan R. D. Anazifa. 2018. Pengantar Analisis Meta. Parama Publishing, Yogyakarta.
- Rofiq, M.N. 2016. Estimasi emisi gas metana dari fermentasi enterik ternak ruminansia di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Peternakan Berkelanjutan 2016, 1-8.
- Sutaryo, S., dan C. I. Sutrisno. 2019. Pengurangan emisi gas metana pada kandang ternak dengan teknologi biofilter. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner* 24(2): 87-94.
- Zuratih, Z., dan Y. Widiawati, Y. 2020. Estimasi emisi gas rumah kaca dari sapi potong di Bangka Belitung. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner, 142-150. DOI:10.14334/pros.semnas.tpv-2019-p.130-137.