

Mitigasi Emisi Metana Enterik melalui Modifikasi Pakan dan Manipulasi Rumen

(Mitigation of Enteric Methane Emission through Feed Modification and Rumen Manipulation)

Agustin Herliatika dan Y Widiawati

Balai Penelitian Ternak, PO Box 221, Bogor 16720
Korespondensi e-mail: tikaagustinherlia@gmail.com

(Diterima 4 Januari 2021 – Direvisi 15 Februari 2021 – Disetujui 25 Februari 2021)

ABSTRACT

The major of gas emission in the livestock sector are in the form of methane produced by microbial activity in the rumen. The emission of methane cause global warming and is predicted to keep increasing. Feed modification and rumen manipulation are important ways that can be used to mitigate methane emission. Based on this condition, this paper aims to describe several ways to mitigate methane emission using feed and rumen modification for smallholder farmers. Feed modification can be done using high Non-Fiber Carbohydrate (NFC) content in feed and also using balance nutrient feed. Meanwhile, rumen modification can be done through inclusion of feed additive, microbial products, and oils. Providing feed contains high NFC as much as 21.8-53%DM would decrease methane emission by 3.03-28.33%. While providing feed contains balance nutrients would potentially decrease 21.87% of methane emission. Feed additive addition as much as 0.0011-12%DM decreased 0.59-78% of methane emission. Bacterial inclusion as much as 0.7×10^8 – 3.6×10^{11} CFU decreased 0-18.57% of methane emission. Oil or fat inclusion as much as 6%DM decreased 6.02-24.53% of methane emission. A combination of methods can be used to optimize methane mitigation and it can be applicable for farmers to raise their livestock in friendly environment.

Key words: Enteric methane, rumen modification, feed modification

ABSTRAK

Emisi gas pada sektor peternakan sebagian besar berupa gas metana yang dihasilkan oleh aktivitas mikroba di dalam rumen. Peningkatan emisi gas metana ini akan berdampak pada pemanasan global dan jumlahnya diprediksi akan terus meningkat. Pendekatan terhadap manajemen pakan dan manipulasi rumen menjadi sangat penting dalam upaya mengurangi emisi gas metana ini. Berdasarkan kondisi tersebut maka makalah ini bertujuan untuk mendeskripsikan beberapa cara mitigasi gas metana melalui modifikasi pakan dan manipulasi rumen yang aplikatif bagi peternak. Modifikasi pakan dapat dilakukan dengan menggunakan pakan tinggi bahan ekstrak tanpa nitrogen (BETN) maupun pakan dengan kandungan nutrisi yang berimbang. Manipulasi rumen dapat dilakukan dengan penambahan bahan pakan aditif, mikroba, dan minyak. Penggunaan pakan dengan kandungan pati 21,8-53%BK dapat menurunkan produksi gas metana sebesar 3,03-28,33%. Penggunaan pakan dengan kandungan nutrisi berimbang berpotensi menurunkan gas metana hingga 21,87%. Penambahan zat aditif sebesar 0,0011-12%BK berpotensi menurunkan gas metana sebesar 0,59-78%. Penambahan mikroba sebanyak $0,7 \times 10^8$ – $3,6 \times 10^{11}$ CFU berpotensi menurunkan gas metana sebesar 0-18,57%. Penambahan minyak atau lemak sebesar 6%BK berpotensi menurunkan gas metana sebesar 6,02-24,53%. Penggunaan metode mitigasi ini dapat dilakukan secara kombinasi untuk mengoptimalkan upaya mitigasi gas metana dan dapat dimanfaatkan secara aplikatif oleh peternak dalam memelihara ternak yang ramah lingkungan.

Kata kunci: Metana enterik, manipulasi rumen, modifikasi pakan

PENDAHULUAN

Emisi gas metana pada ruminansia bersumber dari fermentasi enterik di dalam rumen dan *manure* ternak. Produksi gas metana enterik memberikan sumbangan terbesar dalam produksi gas metana di ruminansia dibandingkan dengan gas metana dari *manure*. Gas metana enterik di Indonesia mengalami peningkatan sebesar 22,51% pada tahun 2012 jika dibandingkan dengan emisi gas metana pada tahun 2008 (FAO 2015).

Dari sektor peternakan, kontribusi gas metana di Indonesia mencapai 52,77% dari produksi gas metana peternakan di Asia Tenggara, yang meliputi Indonesia, Malaysia, Vietnam dan Thailand (Boonyanuwat et al. 2013). Emisi gas metana enterik dari tahun 2006-2012 sekitar 15 juta ton CO₂-eq/th dan diproyeksikan meningkat menjadi 35 juta ton CO₂-eq/th pada tahun 2013-2020 (Agus et al. 2013). Nilai prediksi tersebut juga diperkirakan terus meningkat hingga mencapai

hampir 40 juta ton CO₂-eq/th pada tahun 2025 (Widiawati et al. 2019).

Gas metana yang diemisikan ke udara jika terjadi terus menerus dapat meningkatkan pemanasan global. Hal ini dikarenakan gas metana mempunyai potensi pemanasan global 28 kali (IPCC 2014) lebih besar dibandingkan karbondioksida. Meskipun masih lebih rendah jika dibandingkan gas nitrogen oksida yang mempunyai potensi pemanasan global 265 kali dari karbondioksida. Sebuah skenario yang dibangun oleh Collins et al. (2018) memperlihatkan bahwa pengurangan emisi gas metana ke atmosfer dapat mempertahankan kenaikan suhu bumi tetap sekitar 1,5°C. Oleh karena itu, upaya mengurangi kontribusi emisi gas metana dari sub sektor peternakan dapat membantu mengurangi peningkatan suhu bumi.

Selain berkontribusi negatif terhadap lingkungan, produksi gas metana dari enterik juga mengindikasikan jumlah energi pakan yang terbuang dan tidak termanfaatkan oleh ternak. Produksi gas metana ini menunjukkan inefisiensi penggunaan pakan oleh ternak atau pemborosan energi sehingga perlu diminimalisasi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pakan bagi ternak.

Peningkatan populasi dan produksi ternak akan terus dilakukan guna memenuhi permintaan produk peternakan yang akan terus mengalami peningkatan sejalan dengan peningkatan populasi penduduk dunia. Namun, dampak negatif akibat peningkatan kegiatan peternakan yang berupa pemanasan global perlu dikurangi. Upaya meminimalkan dampak negatif ini dapat dilakukan melalui mitigasi, yakni upaya meminimalkan energi pakan menjadi gas metana, dimana mitigasi dapat dilakukan dengan fokus pada peningkatan produksi ternak (Monteny et al. 2006).

Mempertimbangkan emisi gas metana terbesar dari ternak ruminansia yang dihasilkan dari fermentasi enterik selama proses pencernaan pakan, maka pendekatan terhadap manajemen pakan dan manipulasi rumen menjadi sangat penting. Berdasarkan hal tersebut, maka makalah ini bertujuan untuk mendeskripsikan beberapa cara yang dapat digunakan untuk mitigasi gas metana enterik melalui modifikasi pakan dan manipulasi rumen. Makalah ini juga dapat bermanfaat untuk memberikan informasi mengenai mitigasi gas metana yang aplikatif bagi peternak dan dapat dilaksanakan dalam jangka pendek.

PRODUKSI GAS METANA ENTERIK DAN FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHINYA

Ternak ruminansia secara alamiah akan menghasilkan gas metana dalam proses biologisnya. Kerja bakteri metanogen yang merangkaikan kerangka karbon (CO₂) dengan atom hidrogen sebagai hasil

perombakan glukosa, protein pakan, maupun reaksi pembentukan VFA (asetat) akan menghasilkan gas metana. Metanogen ini hidup menempel pada protozoa atau bebas di dalam cairan rumen.

Proses perombakan karbohidrat di dalam rumen dimulai dengan pemotongan rantai karbohidrat menjadi unit monomer yaitu glukosa. Dari molekul glukosa diubah menjadi 2 asam piruvat akan menghasilkan 4 atom hidrogen (H), pembuatan 1 mol asetat dari 1 mol piruvat dan 1 mol air (H₂O) akan menghasilkan 2 atom hidrogen (H), pembuatan 1 mol propionat membutuhkan 1 mol piruvat dan 4 atom hidrogen (H) dengan hasil samping berupa 1 mol air (H₂O), pembuatan 1 mol butirir juga dapat dihasilkan melalui reaksi 2 mol asetat dan 4 atom hidrogen (H) dengan hasil samping berupa 2 mol air (H₂O), sedangkan produksi 1 mol gas metana (CH₄) membutuhkan 1 mol CO₂ dan 8 atom hidrogen (H) dengan hasil sampingan berupa 2 mol air (H₂O) (Moss et al. 2000).

Produksi gas metana pada ternak dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu bahan pakan ternak, pengaruh suplementasi pakan, bangsa ternak, suhu lingkungan, umur dan status fisiologis ternak (Haryanto & Thalib 2009). Bahan pakan ternak termasuk jenis hijauan yang begitu beragam mempengaruhi produksi gas metana. Hidalgo et al. (2014) melaporkan bahwa ternak yang digembalakan di padang rumput *perennial ryegrass* dan pastura rumput-legum (*white clover*) (1:1) menghasilkan emisi gas metana yang berbeda, yakni sebesar 24,5 dan 21,5 g CH₄/kg BK pakan.

Perbedaan produksi gas metana berdasarkan bangsa ternak dapat dilihat dari perbedaan nilai faktor emisi gas metana enterik (kg CH₄/ekor/tahun) dalam IPCC (2006) yang mencerminkan nilai prediksi produksi gas metana pada masing-masing bangsa ternak. Bangsa ternak di negara-negara berkembang yang berbeda dengan negara maju di Eropa akan mengemisikan CH₄ lebih rendah per ekornya, Emisi CH₄ di negara-negara berkembang sekitar 150,7 ; 21,9 dan 13,7 g/ekor/hari untuk sapi; domba dan kambing (Sejian et al. 2011). Sedangkan emisi CH₄ dari ternak di negara Eropa adalah 27,5-566 ; 3,69-55,2 dan 4,67-36,3 g/ekor/hari untuk sapi; domba, dan kambing (Benaouda et al. 2019). Selain bangsa ternak yang berbeda, perbedaan dan variasi emisi CH₄ pada ternak yang sama di negara berkembang dan maju, disebabkan juga oleh perbedaan bobot badan yang mempengaruhi konsumsi bahan kering, jenis pakan yang berbeda kualitasnya. Emisi kerbau hanya dilaporkan dari negara berkembang yaitu sekitar 137 g/ekor/hari (Sejian et al. 2011). Selain bangsa sapi, ada kelompok sapi dengan tingkat efisiensi penggunaan pakan yang tinggi akan menggunakan gross energi terkonsumsi lebih rendah untuk memproduksi gas metana (18,6 g CH₄/Kg BK terkonsumsi) dibandingkan dengan kelompok sapi

yang tingkat efisiensi penggunaannya rendah (25,1 g CH₄/kg BK terkonsumsi) (Arndt et al. 2015).

Perbedaan suhu lingkungan dapat berdampak pada produksi gas metana di manur ternak, yakni secara umum produksi metana dari *manure* akan meningkat dengan semakin meningkatnya suhu lingkungan (IPCC 2006). Saat musim panas, emisi gas metana enterik pada sapi Jersey di awal laktasi yang digembalakan dan diberi pakan tambahan konsentrat adalah sebesar 280-313 g/ekor/hari (van Wyngaard et al. 2018a). Sedangkan saat musim semi sebesar 400-405 g/ekor/hari (van Wyngaard et al. 2019). Lokasi yang berbeda dengan musim yang berbeda juga menyebabkan perbedaan CH₄ seperti yang dilaporkan terjadi pada sapi perah di Eropa, Amerika, dan Australia sebesar 89,7-711 g/ekor/hari, 223-732 g/ekor/hari, dan 145-612 g/ekor/hari (Benaouda et al. 2019).

Perbedaan produksi gas metana yang terjadi karena perbedaan umur dan kondisi fisiologis ternak, dipengaruhi oleh perbedaan kebutuhan pakan dan nutrisi ternak tersebut. Emisi gas metana enterik pada sapi umur 1 tahun, hasil persilangan *Hereford* - *Friesian*, sebesar 135,6-161,9 g/ekor/hari (Laubach et al. 2014) sedangkan pada sapi perah masa laktasi emisi metana sebanyak 278-456 g/ekor/hari (Garnsworthy et al. 2012).

Manajemen pemeliharaan ternak yang meliputi, manajemen kandang dan pakan akan mempengaruhi produksi gas metana (Knapp et al. 2014). Manajemen kandang akan berpengaruh pada produksi gas metana ternak terutama yang terkait dengan komposisi, jumlah dan jenis (bangsa dan kondisi fisiologis) ternak yang dipelihara dalam kandang tersebut. Manajemen pakan yang mempengaruhi produksi metana adalah teknis pengolahan pakan seperti pengolahan hijauan menjadi silase yang bertujuan untuk memodifikasi VFA atau kondisi rumen. Ternak yang diberi silase rumput yang dicacah dengan ukuran >3 cm menghasilkan gas metana yang lebih rendah dibandingkan dengan ternak yang diberi silase rumput yang dicacah dengan ukuran <1 cm. Hal ini diakibatkan karena peningkatan jumlah lignoselulosa tercerna (Wall et al. 2015). Cara ini dapat juga dijadikan salah satu upaya untuk mitigasi gas metana dari ternak ruminansia.

STRATEGI MITIGASI GAS METANA ENTERIK

Upaya mitigasi gas metana enterik ini dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya 1) modifikasi nutrisi dan pakan, 2) manipulasi rumen, dan 3) perbaikan manajemen pemeliharaan dan genetik ternak. Penurunan produksi gas metana melalui perbaikan manajemen dan genetik membutuhkan teknologi mahal untuk memodifikasi efisiensi pakan ternak. Peluang penurunan produksi gas metana

melalui perbaikan manajemen pemeliharaan dan genetik mencapai 15-30%, sedangkan melalui modifikasi pakan dan nutrisi peluang penurunan produksi gas metana sebesar 2,5-15%, dan lebih kecil lagi jika menggunakan manipulasi rumen (Knapp et al. 2014). Pembahasan strategi mitigasi gas metana enterik pada makalah ini akan difokuskan pada modifikasi pakan serta manipulasi rumen untuk menekan produksi gas metana enterik. Hal ini dilakukan untuk mendeskripsikan upaya mitigasi yang paling praktis yang akan digunakan.

Modifikasi pakan

Modifikasi pakan adalah penggunaan atau penambahan sejumlah pakan berkualitas untuk meningkatkan pencernaan pakan atau memodifikasi pembentukan VFA (Knapp et al. 2014). Dalam kondisi demikian, akan terjadi peningkatan efisiensi penggunaan pakan sehingga persentase gas metana yang diproduksi tiap satuan produksi ternak (produksi gas metana/produksi susu atau produksi gas metana/produksi daging ternak) dapat menurun.

Teknik mitigasi gas metana enterik dengan pakan tinggi Bahan Ekstrak Tanpa Nitrogen (BETN)

Karbohidrat merupakan nutrisi paling besar dalam konsentrat. Komponen karbohidrat terdiri dari BETN dan serat kasar (SK). BETN yang tinggi dalam konsentrat merupakan ciri pembeda antara konsentrat dengan hijauan. Perbedaan kandungan pati (termasuk dalam BETN) di dalam konsentrat akan mempengaruhi perbedaan emisi gas metana. Ternak yang mengkonsumsi pati (BETN) sebesar 2,777 kg (dalam konsentrat tinggi) akan mengemisikan gas metana sebesar 0,099 g/g pati konsumsi, lebih rendah dibandingkan emisi gas metana sebesar 0,209 g/g pati konsumsi dari ternak yang mengkonsumsi pati 1,505 kg/hari (dalam konsentrat medium) (Casanas et al. 2015). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi pati pakan dapat menyebabkan penurunan produksi gas metana. Mekanisme mitigasi terjadi karena peningkatan konsumsi pati ini menyebabkan peningkatan produksi propionat di dalam rumen yang berdampak pada penurunan jumlah H₂ sebagai prekursor pembentukan gas metana di rumen (Lan & Yang 2019).

Pada penelitian (Casanas et al. 2015), emisi gas metana dikaitkan dengan jumlah bahan kering pakan yang dikonsumsi, yang tercerna dan yang dimanfaatkan ternak untuk kegiatan produksi karena produksi gas metana enterik akan terus bertambah seiring dengan semakin meningkatnya produksi ternak. Berdasarkan hal tersebut, guna mengetahui tingkat efisiensi penggunaan pakan dalam kegiatan mitigasi, maka

produksi gas metana harus dihitung dalam satuan produksi gas metana enterik per satuan produksi ternak.

Beberapa penelitian terdahulu terkait penggunaan pati dalam upaya mitigasi metana dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil tabulasi kegiatan mitigasi menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian mengidentifikasi adanya penurunan enterik metana sebesar 3,03-28,33% akibat peningkatan BETN maupun pati dalam pakan.

Bahan pakan yang memiliki kandungan BETN tinggi dan mudah untuk ditemukan di Indonesia adalah jagung dan bungkil inti sawit (BIS). Kandungan pati dalam silase jagung dapat mencapai 55,9% (Judy et al. 2018), namun penggunaan bahan pakan ini terkendala dengan harga yang mahal akibat bersaing dengan pangan dan pakan unggas. Bahan lainnya adalah BIS, yang memiliki kandungan BK lebih dari 85%, kandungan PK lebih dari 16%, nilai pencernaan BK dan BO lebih dari 63%, BETN bungkil inti sawit yang diperoleh dari proses pengepresan sebesar 46,67%, sedangkan BETN bungkil inti sawit yang diperoleh dari proses ekstraksi menggunakan sebesar 46,99% (O'Mara et al. 1999). Bungkil inti sawit yang berkualitas baik diharapkan tidak terkontaminasi atau dicampur dengan cangkang karena akan meningkatkan kandungan serat kasar yang akan menurunkan kandungan BETN nya. Oleh karena itu, bungkil inti sawit yang berkualitas baik dapat digunakan sebagai bahan pakan dalam upaya mitigasi gas metana melalui pendekatan peningkatan BETN dengan kualitas protein kasar (PK) yang cukup baik. Penggunaan BIS dalam upaya mitigasi gas metana juga dapat menggantikan

sejumlah konsentrat yang dibutuhkan sehingga berpotensi untuk menurunkan biaya pakan jika digunakan dalam upaya mitigasi gas metana. Pakan dengan kandungan BETN (energi) tinggi harus juga diimbangi dengan PK yang sesuai agar tidak terjadi kelebihan energi yang berdampak pada peningkatan produksi gas metana.

Teknik mitigasi gas metana enterik dengan pakan nutrisi berimbang

Tujuan utama mitigasi untuk kegiatan produksi ternak adalah untuk meminimalisasi sejumlah energi yang hilang dalam bentuk metana sehingga efisiensi pakan dapat tercapai. Efisiensi pakan ini dilakukan salah satunya dengan memperhatikan imbalanced C : N di dalam pakan. Pemberian pakan dengan energi (C) dan protein (N) yang berimbang akan berakibat pada peningkatan efisiensi penggunaan pakan oleh ternak dan meminimalkan produksi gas metana dari fermentasi enterik.

Imbalanced C N ini dapat dihitung berdasarkan imbalanced C : N konsumsi, C : N tercerna, dan C : N termetabolis, namun pendekatan melalui C : N termetabolis dan tercerna akan menunjukkan prediksi imbalanced C : N yang lebih mendekati akurat. Hal ini disebabkan karena tidak seluruhnya pakan yang dikonsumsi ternak dapat tercerna dan termetabolis oleh ternak untuk diserap dan dimanfaatkan dalam kegiatan produksi ternak.

Tabel 1. Pengaruh modifikasi pakan (pakan tinggi pati dan nutrisi berimbang) terhadap produksi gas metana

Penggunaan modifikasi pakan	Metode	Perubahan produksi gas metana*	Sumber
Pakan tinggi pati (53%) dibandingkan dengan pakan rendah pati (27%)	<i>In vitro</i>	Penurunan 18,71%	Hatew et al. (2015b)
Pakan tinggi pati (33,7%) + suplementasi minyak (2,8% dibandingkan dengan pakan rendah pati (7,5%)).	<i>In vivo</i>	Penurunan 19,63%	Eugène et al. (2011)
Pakan tinggi pati (51,8%) dibandingkan dengan pakan rendah pati (27,5%)	<i>In vivo</i>	Penurunan 7,53%	Hatew et al. (2015a)
Pakan tinggi pati (53%) dibandingkan dengan pakan rendah pati (27%)	<i>In vivo</i>	Tidak berbeda nyata	Hatew et al. (2015b)
Pakan tinggi pati (38%) dibandingkan dengan pakan (2%)	<i>In vivo</i>	Tren penurunan 28,33% (P=0,06)	Philippeau et al. (2017)
Pakan tinggi pati (21,8%) dibandingkan dengan pakan rendah pati (10,5%) pada sapi Holstein	<i>In vivo</i>	Penurunan 16,18%	Olijhoek et al. (2018)
Pakan tinggi pati (21,8%) dibandingkan dengan pakan rendah pati (10,5%) pada sapi Jersey		Penurunan 3,03%	
Konsentrat 0, 4, dan 8 kg <i>as fed</i> /hari	<i>In vivo</i>	Tren penurunan produksi CH ₄ /produksi susu sebesar 22,06% pada pemberian 8 kg <i>as fed</i> /hari (P=0,063)	van Wyngaard et al. (2018b)

Penelitian pada kambing perah Murciano-Granadina menunjukkan pada pemberian C : N konsumsi (17,6:1 vs 17:1 yang dihitung) menunjukkan pemberian imbalanced C : N yang lebih rendah mengakibatkan penurunan sejumlah energi yang terbuang dalam bentuk gas metana (g/hari) pada tingkat produksi dan kualitas susu yang sama, bahkan menghasilkan kandungan lemak susu yang lebih tinggi pada pemberian imbalanced C : N yang lebih rendah (Criscioni & Fernández 2016). Penelitian *in vitro* dengan level pemberian C : N konsumsi (16,43 vs 15,57 yang dihitung) mengakibatkan penurunan produksi gas metana enterik sebesar 21,87% pada pemberian imbalanced C : N yang lebih rendah (Romero et al. 2020). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian imbalanced C : N yang tepat akan berdampak pada peningkatan efisiensi pemanfaatan pakan yang mengarah pada penurunan sejumlah energi yang terkonversi menjadi metana. Selain itu, sumber N yang diberikan juga memberikan dampak pada produksi metana yang dihasilkan, sebagai contoh, perubahan urea menjadi nitrat sebagai sumber N berdampak pada penurunan konsumsi N sebesar 20,17% dan penurunan produksi gas metana sebesar 19,77% (Adejoro et al. 2020).

Sapi perah yang diberi hijauan pakan berupa silase jagung dan *hay* Italian ryegrass dibandingkan dengan yang diberi *hay* Italian ryegrass dan *hay* alfalfa (dihitung imbalanced energi tercerna dan protein tercerna dalam pakan sebesar 78,23 MJ/1 kg PK vs 85,18 MJ/1 kg PK) memiliki produksi dan kualitas susu yang serupa. Tetapi retensi N dan energi yang lebih tinggi, serta penggunaan energi untuk produksi gas metana (Mkal/hari) yang lebih rendah pada sapi perah yang diberi hijauan pakan berupa silase jagung dan *hay* dari Italian ryegrass (Gislon et al. 2020). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meningkatnya efisiensi pakan dapat menekan produksi gas metana enterik.

Pemberian ransum pakan berbasis sumber legum kering yang berbeda (*common vetch* dan alfalfa) pada dosis 20% dan 40% menunjukkan imbalanced energi dan protein pakan pada jumlah energi termetabolis sebesar 94,72 dan 106,24 MJ tiap kandungan protein termetabolis sebesar 1 g PK (dihitung) untuk sapi Simmental persilangan. Nilai retensi Energi/GE konsumsi (MJ/MJ) dan retensi N/N dikonsumsi (g/g) dari kedua perlakuan ini tidak berbeda, namun produksi gas metana enterik/kg konsumsi pakan menunjukkan nilai berbeda pada jenis dan level legum berbeda (Du et al. 2019). Dalam kasus ini menunjukkan efisiensi pakan tidak selalu berdampak dengan penurunan produksi gas metana/BB termetabolis ternak. Hal ini dapat disebabkan karena adanya peran zat aktif yang berbeda pada level pemberian legum yang berbeda.

Beberapa legum berpotensi digunakan sebagai salah satu strategi emisi gas metana yang ditunjukkan

dengan produksi gas metana yang rendah hasil *in vitro*. Selain itu penggunaan legum banyak diterapkan di negara tropis berkembang untuk memperbaiki kualitas hijauan yang rendah (Ginting 2011; Pal et al. 2015). Bahan yang berpotensi untuk digunakan dalam upaya mitigasi gas metana adalah *Indigofera* sp. Hijauan sumber protein ini memiliki kandungan PK sebesar 27,75% dengan tingkat pencernaan BK dan BO sebesar 75,14% dan 72,83% (Abdullah 2010). Pakan dengan nilai pencernaan tinggi diharapkan mampu untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pakan. Meskipun total gas metana yang diproduksi lebih tinggi, namun total produksi gas metana/produksi ternak akan lebih rendah pada pakan dengan nilai pencernaan tinggi dibandingkan dengan pakan pencernaan rendah.

Manipulasi rumen

Manipulasi rumen adalah usaha mitigasi gas metana pada ternak ruminansia melalui penambahan bahan aditif pakan atau pakan tertentu yang dapat membunuh atau menghambat kinerja dari metanogen sebagai penghasil gas metana di dalam rumen (Knapp et al. 2014), mengurangi populasi protozoa sebagai inang metanogen di dalam rumen, dan menekan ketersediaan H₂ untuk pembentukan gas metana. Usaha ini dapat dilakukan dengan menambah bahan aditif, memodifikasi proporsi bakteri di dalam rumen, maupun *coating* pakan.

Teknik mitigasi gas metana enterik menggunakan bahan aditif

Modifikasi rumen dapat dilakukan dengan suplementasi bahan aktif seperti saponin, nitrat, asam propionat, tanin, maupun senyawa metabolit sekunder tanaman atau senyawa fenolik lainnya untuk menurunkan emisi gas metana, namun pemberian bahan aditif tersebut dapat menurunkan pencernaan bahan kering pakan serta berpeluang menimbulkan toksik jika tidak diberikan dalam dosis yang sesuai (Garrido et al. 1991; Jayanegara et al. 2011; Patra & Yu 2013a; Jayanegara et al. 2015). Teknik mitigasi ini dapat menurunkan produksi enterik metana melalui mekanisme penurunan populasi metanogen sebagai penghasil gas metana di rumen, maupun penurunan populasi protozoa sebagai inang metanogen dan penyumbang H₂ tersedia di rumen untuk produksi gas metana.

Level pemberian saponin memberikan respon yang berbeda. Perbedaan ini sangat dipengaruhi oleh jenis saponin, sumber saponin, jenis pakan yang dikonsumsi ternak. Penambahan saponin, yang berasal dari berbagai bahan pada ransum menyebabkan perubahan pada fermentasi rumen yaitu penurunan produksi gas metana, penurunan populasi protozoa

diikuti dengan peningkatan bakteri (Manatbay et al. 2014; Galindo et al. 2016) dan perubahan komposisi VFA (Szczechowiak et al. 2013; Kang et al. 2016); peningkatan pencernaan bahan kering dan protein (Aazami et al. 2013; Singh & Kaur 2020); dan pada respon pada ternak (Li & Powers 2012; Jadhav 2014). Penambahan saponin sebesar 2,5% BK pada bahan pakan pucuk tebu, silase pucuk tebu, pelepah sawit, silase pelepah sawit, jerami jagung, silase jerami jagung, jerami padi, dan silase jerami padi yang diuji secara *in vitro* mengakibatkan penurunan produksi gas metana dalam produksi total gas (%) yakni masing-masing sebesar 16,41%; 15,24%; 4,75%; 4,64%; 4,26%; 8,51%; 11,68%; 9,43% (Widiawati & Puastuti 2016). Besarnya respon ternak yang terjadi akibat penambahan saponin sangat bervariasi, mulai dari respon negatif maupun positif. Hal ini sangat ditentukan oleh jenis dan sumber saponin yang digunakan, jenis pakan yang diberikan dan interaksi diantaranya (Patra & Saxena 2010). Level saponin murni tertinggi yang pernah diberikan pada ternak tanpa memberikan dampak negatif adalah pada domba sebanyak 6 gr/ekor/hari (Hu et al. 2006) dan sapi 30 gr/ekor/hari (Ramírez-Restrepo et al. 2016).

Selain itu zat bioaktif lain yang biasanya digunakan adalah tanin. Tanin terbagi dalam 2 kelompok, yaitu tanin yang dapat dihidrolisis dan tanin terkondensasi. Kandungan tanin yang dapat dihidrolisis terdapat pada beberapa tanaman, seperti *chestnut* dan *sumach* (sejenis tanaman bunga), sedangkan tanin terkondensasi dapat ditemukan pada tanaman *mimosa* (putri malu) dan *quebracho* (sejenis tanaman berkayu). Tanin memiliki kondisi yang berbeda didasarkan pada kemampuan terhidrolisis di dalam saluran pencernaan. Hal ini yang dapat menentukan peluang toksisitas tanin bagi ternak dan efektivitas tanin dalam mitigasi gas metana. Tanin yang dapat dihidrolisis akan lebih tinggi kemampuannya dalam mitigasi gas metana dibandingkan dengan tanin terkondensasi. Namun pengamatan secara parsial pada 27 tanaman tropika menunjukkan korelasi hubungan yang sama besar antara kandungan tanin terhidrolisis atau tanin terkondensasi dengan penurunan produksi gas metana per unit bahan kering tercerna. Nilai korelasi keduanya lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengaruh senyawa fenol non tanin pada penurunan produksi gas metana per unit bahan kering tercerna (Jayanegara et al. 2011). Efek negatif dari tanin di dalam rumen dalam menekan produksi gas metana dapat melalui dua tahapan, yaitu dengan menurunkan pencernaan serat sehingga menekan produksi H₂ atau dengan menekan pertumbuhan metanogen (Jayanegara et al. 2015).

Pemberian tanin pada level 0,25; 0,75; dan 1 mg/380mg pakan memberikan pengaruh pada penurunan pencernaan bahan kering *in vitro* dengan semakin meningkatnya dosis yang diberikan.

Penurunan asam lemak rantai pendek juga akan semakin meningkat dengan peningkatan dosis tanin, kecuali pada *sumach*. Penurunan asam lemak rantai pendek, berupa asetat, terjadi lebih banyak pada tanin terkondensasi. Hal ini disebabkan karena senyawa seperti serat, masih terikat oleh tanin jenis tersebut. Meski demikian, pemberian tanin dalam bentuk dapat dihidrolisis akan memiliki resiko toksisitas yang lebih tinggi. Penambahan tanin selain menyebabkan penurunan populasi metanogen, juga berakibat pada penurunan bakteri pencerna serat kasar seperti *Ruminococcus flavefaciens*, *Fibrobacter succinogenes* serta fungi anaerobik, terutama dengan penambahan tanin dapat terhidrolisis (Jayanegara et al. 2015). Hasil pengujian 17 jenis tanaman yang mengandung tanin terhadap produksi gas metana secara *in vitro* menunjukkan bahwa terdapat korelasi negatif antara total tanin dengan produksi gas metana (%), dengan nilai korelasi sebesar -0,6 (Jayanegara et al. 2009). Nilai negatif pada korelasi ini menunjukkan penurunan produksi gas metana tiap kenaikan kandungan tanin dalam pakan. Hasil ini sejalan dengan pengujian terkait penambahan tanin sebesar 2,5% DM pada bahan pakan pucuk tebu, silase pucuk tebu, pelepah sawit, silase pelepah sawit, jerami jagung, silase jerami jagung, jerami padi, dan silase jerami padi. Dimana penambahan tanin tersebut menurunkan persentase produksi gas metana dalam produksi total gas (%) yakni masing-masing sebesar 17,36%; 19,18%; 11,20%; 4,19%; 6,38%; 12,77%; 12,98%; 13,21% (Widiawati & Puastuti 2016). Beberapa dampak seperti penurunan pencernaan BK akibat penambahan tanin (Garrido et al. 1991; Jayanegara et al. 2011), penurunan pencernaan protein (Garrido et al. 1991), penurunan kandungan amonia, total gas, asam lemak rantai pendek (Jayanegara et al. 2011) yang dihasilkan dari penelitian *in vitro* juga perlu untuk diperhatikan.

Beberapa penelitian terdahulu terkait mitigasi gas metana menggunakan zat aditif dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil tabulasi penelitian dalam tabel ini menunjukkan variasi penurunan gas metana enterik melalui penambahan zat aditif berbeda. Penurunan gas metana pada penelitian *in vitro* sebesar 2,68%-78%, penelitian *in vivo* sebesar 15%-21,44%, dan pada penelitian meta-analisis sebesar 0,59%-17,56%.

Kombinasi usaha mitigasi juga memberikan keuntungan lain berupa peningkatan produksi ternak. Penambahan gamal sebanyak 35% dan konsentrat 30% pada pakan jerami padi memberikan pertambahan bobot hidup harian (PBBH) lebih tinggi yaitu 0,82 kg/ekor/hari dibandingkan kontrol (0,6 kg/ekor/hari), serta menurunkan angka konversi pakan dari 15,4 kg BK pakan/kg PBB pada kontrol menjadi 12,1 BK pakan/kg PBB (Yusriani et al. 2015). Penelitian campuran buah lerak giling/ekstrak + tepung albizia + *Acetonaerobium notarae* pada domba jantan dapat

menurunkan 22% produksi gas metana (Thalib et al. 2010). Kombinasi saponin dan bakteri juga telah dilakukan sebelumnya (Thalib & Widiawati 2008) dan memberikan pengaruh yang positif pada penurunan produksi gas metana enterik.

Penambahan minyak atsiri juga dapat digunakan untuk menurunkan produksi gas metana enterik. Beberapa minyak atsiri yang dapat digunakan, antara lain adalah: minyak cengkeh, minyak kayu putih,

minyak origanum, minyak *peppermint*, dan minyak bawang putih. Minyak atsiri ini tidak digolongkan ke dalam teknik modifikasi rumen dengan menggunakan minyak atau lemak karena minyak atsiri termasuk dalam golongan fenol sehingga dikelompokkan dalam teknik modifikasi rumen dengan menggunakan zat aditif. Penggunaan bahan aditif ini sebesar 2,5-10% dapat menyebabkan penurunan pada produksi gas metana enterik sebesar 2,68-87,74%.

Tabel 2. Respon penggunaan senyawa aditif

Penambahan senyawa aditif dan dosis	Metode	Perubahan produksi gas metana*	Sumber
Saponin 6-12%BK pakan (0,6-1,2 g/L saponin Quillaja kandungan saponin 24,2%) dalam 400mg pakan/ 40 ml campuran rumen dan bufer	<i>In vitro</i>	Penurunan 12-25%	Patra & Yu (2013a)
Asam propionat 2,81%-5,62%BK pakan (4-8mM asam propionat kemurnian 95%) dalam 400mg pakan/40 ml campuran rumen dan bufer	<i>In vitro</i>	Penurunan 67-78%	
Sodium nitrat 4,25%-8,5%BK pakan (5-10mM sodium nitrat dalam 400mg pakan/ 40ml campuran rumen dan bufer)	<i>In vitro</i>	Penurunan 23-43%	
Tepung biji anggur 5%, 10%, dan 20% (kandungan total fenol 1,74, 2,14%, dan 2,78% serta tanin total 0,30%, 0,77%, dan 1,43%)	<i>In vitro</i>	Penurunan secara berurutan 12,83%, 17,65%, dan 13,90%	Khiaosa-ard et al. (2015)
Minyak cengkeh 2,5%; 5%; dan 10%BK pakan		Penurunan secara berurutan 11,49%, 17,62%, dan 34,48%	
Minyak kayu putih 2,5%; 5%; dan 10%BK pakan		Penurunan secara berurutan 2,68%, 8,05%, dan 17,62%	
Minyak bawang putih 2,5%; 5%; dan 10%BK pakan		Penurunan secara berurutan 22,99%, 28,35%, dan 42,91%	
Minyak origanum sebesar 2,5%; 5%; dan 10%BK pakan		Penurunan secara berurutan 12,64%, 38,70%, dan 87,74%	
Minyak <i>peppermint</i> sebesar 2,5%; 5%; dan 10%BK pakan	<i>In vitro</i>	Penurunan secara berurutan r 8,43%, 20,31%, dan 25,67%	Khiaosa-ard et al. (2015)
Tanin dari ekstraksi daun <i>Acacia</i> sebesar 2,5%	<i>In vitro</i>	Penurunan bervariasi 0-19,18% tergantung pada bahan pakan Penurunan paling efektif pada bahan silase pucuk tebu	Widiawati & Puastuti (2016)
Saponin dari ekstraksi lerak sebesar 2,5%		Penurunan bervariasi 0-16,41% tergantung pada bahan pakan Penurunan paling efektif pada bahan pucuk tebu	
Minyak atsiri sebesar 0,2g/ekor/hari	<i>In vivo</i> sapi dara pedaging	Penurunan 15%	Castro-Montoya et al. (2015)
Campuran buah lerak tanpa biji, sesbania, daun albizia sebesar 2% (kandungan saponin 9,12%)	<i>In vivo</i> pada domba	Penurunan 21,44%	Yulistiani et al. (2017)

*Persentase penurunan produksi gas metana dihitung berdasarkan hasil dalam literatur

Bahan aditif lain yang telah lama dan banyak digunakan untuk menurunkan produksi gas metana dan meningkatkan efisiensi pakan adalah monensin. Penggunaan monensin telah dilakukan sejak tahun 1978 untuk meningkatkan efisiensi pakan (Steen et al. 1978). Penggunaan monensin sebagai agen mitigasi gas metana telah diketahui sejak tahun 1981 (Hino 1981). Namun sejak tahun terutama pada sapi perah Sedangkan pada penambahan monensin dari hasil meta analisis oleh Appuhamy et al. (2013) menunjukkan bahwa penambahan monensin sebesar 32 mg/kg pakan dapat menekan produksi gas metana sebesar 19 g/hari pada sapi pedaging, sedangkan pada sapi perah dengan penambahan monensin sebesar 21 mg/kg pakan hanya sebesar 6 g/hari. Penurunan produksi gas metana pada penambahan Monensin lebih disebabkan karena terjadinya peningkatan propionat yang terbentuk dan penurunan produksi asetat selama proses fermentasi pakan oleh mikroba rumen (Duffield et al. 2012). Saat peraturan pemerintah Indonesia melarang penggunaan AGP (*Antibiotic Growth Promoter*), penggunaan monensin turut dilarang untuk dicampurkan ke dalam pakan baik unggas maupun ruminansia karena monensin dalam daftar obat ternak termasuk dalam golongan antibiotik.

Teknik mitigasi gas metana enterik dengan penambahan mikroba

Penurunan produksi gas metana melalui modifikasi rumen dapat dilakukan dengan memanfaatkan beberapa jenis bakteri. Beberapa pendekatan seperti penambahan bakteri *homoacetogen* yang dapat merubah 2 molekul CO₂ menjadi asetat; bakteri pembentuk propionat; bakteri penghasil asam laktat (*Streptococcus bovis*); bakteri pengurang nitrat (mengubah nitrat menjadi nitrit) seperti *W. succinogens*, *S. ruminantium* dan *Veillonella parvula*

bersamaan dengan bakteri yang berperan menekan produksi nitrit seperti bakteri *Denitrobacterium detoxificans* strain NPOH1 untuk mencegah keracunan nitrit berlebih; bakteri yang berperan menekan produksi gas metana karena mampu bersaing untuk mendapatkan H₂ dengan metanogen serta mampu membantu mengubah nitrit menjadi amonia. Penambahan bakteri *Acetoanaero-bium noterae* pada ternak domba mampu menurunkan produksi gas metana (ml CH₄/g bahan organik tercerna) sebesar 20% dan 15%, baik dengan atau tanpa penambahan agen defaunasi (Aksapon SR 0,07% BB), meskipun proporsi propionat:asetat mengalami penurunan. Penambahan bakteri dan agen defaunasi ini mampu meningkatkan pencernaan pakan, efisiensi pakan, serta PBBH ternak domba (Thalib & Widiawati 2008). Penambahan bakteri denitrifikasi juga dilakukan untuk menekan produksi gas metana enterik (Pikoli et al. 2017), maupun penambahan kapang (Durand et al. 2019). Beberapa usaha mitigasi gas metana dengan menambahkan mikroba ke dalam pakan dapat dilihat pada Tabel 3. Penambahan mikroba pada fermentasi rumen secara *in vitro* dan *in vivo* dapat menurunkan produksi gas metana enterik, masing-masing sebesar 0-18,57%.

Teknik mitigasi gas metana enterik dengan penambahan minyak atau lemak

Modifikasi rumen juga dapat dilakukan dengan penambahan minyak atau lemak ke dalam pakan. Penambahan lemak dalam pakan dapat menurunkan emisi gas metana tanpa menurunkan produksi ternak (Grainger & Beauchemin 2011). Kondisi ini dapat terjadi akibat penyelimutan sejumlah partikel pakan dalam rumen oleh lemak sehingga mikroorganisme di dalam rumen tidak dapat memanfaatkan pakan tersebut secara maksimum.

Tabel 3. Penambahan mikroba untuk menekan produksi gas metana

Penambahan mikroba dan dosis	Metode	Perubahan produksi gas metana*	Sumber
<i>Enterococcus faecium</i> masing-masing sebesar 0,1% (0,7×10 ⁸ CFU/ml), dan 0,5%BK (3,5×10 ⁸ CFU/ml)	<i>In vitro</i>	Penurunan masing-masing 18,57% dan 11,34%	Mamuad et al. (2019)
<i>Propionibacterium freudenreichii</i> 53-W (2,9×10 ¹⁰ CFU/ekor/hari)	<i>In vivo</i>	Tidak berbeda nyata dengan kontrol (Penurunan 0%)	Jeyanathan et al. (2019)
<i>Lactobacillus pentosus</i> D31 (3,6×10 ¹¹ CFU/ekor/hari)			
<i>Lactobacillus bulgaricus</i> D1 (4,6×10 ¹⁰ CFU/ekor/hari).			
<i>Propionibacterium acidipropionici</i> strain P169, P5, P54 (5×10 ⁹ CFU/ekor/hari)	<i>In vivo</i>	Penurunan gas metana enterik/BK konsumsi masing-masing 11,67; 8,56; 12,84%	Vyas et al. (2014)

* Persentase penurunan produksi gas metana dihitung berdasarkan hasil dalam literatur

Tabel 4. Suplementasi minyak untuk menekan produksi gas metana secara *in vitro*

Penambahan sumber lemak dan dosis	Perubahan produksi gas metana*	Sumber
Minyak kelapa 0,31; 0,62 l/kg pakan	Tren penurunan (P<0,1) 8,27; 6,77%	Patra & Yu (2013b)
Minyak ikan 0,31; 0,62 l/kg pakan	Tren penurunan (P<0,1) 6,02; 9,02%	
Minyak zaitun 6%BK	Penurunan 24,53%	Vargas et al. (2020)
Minyak bunga matahari 6%BK	Penurunan 23,59%	
Minyak linseed 6%BK	Penurunan 21,70%	

* Persentase penurunan produksi gas metana dihitung berdasarkan hasil dalam literatur

Hasil meta-analisis Patra (2014) menunjukkan bahwa suplementasi lemak dapat menurunkan emisi gas metana mencapai 4,30% pada domba, namun berakibat pada penurunan pencernaan BK dan pencernaan NDF (*Neutral Detergent Fiber*). Penelitian ini juga menunjukkan adanya penurunan kandungan amonia rumen domba dengan penambahan lemak. Efek tersebut secara umum juga memiliki pengaruh yang sama pada ternak sapi. Penurunan pencernaan BK pakan dan adanya kemungkinan toksisitas bahan pada ternak menjadi pertimbangan penting dalam penggunaan modifikasi rumen untuk mitigasi gas metana. Penurunan pencernaan ini dikarenakan adanya penurunan bakteri *Fibrobacter succinogenes* seperti pada penambahan minyak kelapa dan minyak ikan dalam penelitian Patra & Yu (2013b). Selain itu, penambahan minyak menurunkan akses protozoa terhadap pakan di rumen, sehingga sejumlah protozoa akan mati dan jumlahnya berkurang Patra & Yu (2013b). Beberapa usaha mitigasi gas metana dengan menambahkan minyak ke dalam pakan dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil tabulasi penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan jenis dan level minyak yang berbeda mengakibatkan penurunan gas metana sebesar 6,02-24,53%.

MITIGASI GAS METANA ENTERIK DI PETERNAKAN RAKYAT

Praktek mitigasi gas metana enterik di peternakan rakyat telah banyak dilakukan. Meskipun dalam hal ini peternak tidak menyadari bahwa kegiatan pemberian pakan ternaknya termasuk ke dalam aktivitas mitigasi. Saponin dan tanin sebagai bahan aktif penurun gas metana banyak dikandung dalam berbagai jenis tanaman leguminosa seperti kaliandra, akasia, dan daun sepatu. Tanaman tersebut banyak tumbuh di sekitar peternakan dan sudah umum diberikan sebagai bahan pakan suplemen maupun aditif. Demikian pula kegiatan suplementasi pakan basal rumput maupun hijauan lain berupa limbah pertanian dengan bahan sumber karbohidrat. Bahan yang biasa digunakan adalah bungkil inti sawit, polar gandum, dedak, dan lain-lain. Bahan-bahan tersebut mudah ditemukan di peternakan Indonesia. Kandungan BETN yang tinggi pada BIS (Mara et al. 1999) dan harganya yang murah menjadikan BIS sebagai primadona bahan pakan ruminansia.

Pakan berimbang dapat diberikan pula dengan penambahan sumber protein dari tanaman leguminosa lainnya seperti gamal, lamtoro dan indigofera atau bungkil kopra. Penambahan gamal sebanyak 35% dan konsentrat 30% pada pakan jerami padi memberikan pertambahan bobot hidup harian (PBBH) lebih tinggi yaitu 0,82 kg/ekor/hari dibandingkan kontrol (0,6 kg/ekor/hari), serta menurunkan angka konversi pakan dari 15,4 kg BK pakan/kg PBB pada kontrol menjadi 12,1 BK pakan/kg PBB (Yusriani et al. 2015).

Beberapa legum dapat dimanfaatkan sebagai sumber aditif pakan, namun jumlah legum yang dapat diberikan harus tetap memperhatikan dosis toleran saponin dan tanin untuk ternak. Sedangkan penggunaan minyak cengkeh dan minyak kayu putih yang mencapai 10%BK pakan pada uji *in vitro*, perlu diuji kembali secara *in vivo* untuk mendapatkan dosis yang tepat untuk mitigasi gas metana tanpa mengganggu performa ternak. Kombinasi usaha mitigasi juga memberikan keuntungan lain berupa peningkatan produksi ternak.

KESIMPULAN

Modifikasi pakan dapat dilakukan dengan menggunakan pakan tinggi bahan ekstrak tanpa nitrogen (BETN) maupun pakan dengan kandungan nutrisi yang berimbang. Sedangkan manipulasi rumen dapat dilakukan dengan menggunakan bahan pakan aditif, penambahan mikroba, dan penambahan minyak atau lemak. Penggunaan pakan dengan kandungan pati 218-53%BK dapat menurunkan produksi gas metana sebesar 3,03-28,33%. Penggunaan pakan dengan kandungan nutrisi berimbang berpotensi menurunkan gas metana hingga 21,87%. Penambahan zat aditif sebesar 0,0011-20%BK berpotensi menurunkan gas metana sebesar 0,59-78%. Penambahan $0,7 \times 10^8 - 3,6 \times 10^{11}$ CFU mikroba berpotensi menurunkan gas metana sebesar 0-18,57%. Penambahan minyak atau lemak sebesar 6%BK berpotensi menurunkan gas metana sebesar 6,02-24,53%. Aplikasi penggunaan metode mitigasi ini dapat dilakukan secara kombinasi untuk mengoptimalkan upaya mitigasi gas metana. Beberapa bahan pakan yang mungkin dapat dimanfaatkan peternak secara aplikatif dalam mitigasi gas metana adalah legum, BIS, dedak, pollard, konsentrat pakan, minyak kelapa.

DAFTAR PUSTAKA

- Aazami MH, Tahmasbi AM, Ghaffari MH, Naserian AA, Valizadeh R, Ghaffari AH. 2013. Effects of saponins on rumen fermentation, nutrients digestibility, performance, and plasma metabolites in sheep and goat kids. *Ann Rev Res Biol.* 4:596-607.
- Abdullah L. 2010. Herbage production and quality of shrub *Indigofera* treated by different concentration of foliar fertilizer. *Med Pet.* 33:169-175.
- Adejoro FA, Hassen A, Akanmu AM, Morgavi DP. 2020. Replacing urea with nitrate as a non-protein nitrogen source increase lambs' growth and reduces methane production, whereas acacia tannin has no effect. *J Anim Feed Sci Tech.* 259:1-9.
- Agus F, Santoso I, Dewi I, Setyanto P, Thamrin S, Wulan YC, Suryaningrum F. 2013. Pedoman teknis perhitungan baseline emisi dan serapan gas rumah kaca sektor berbasis lahan: Buku I landasan ilmiah. Jakarta (Indonesia): Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Republik Indonesia.
- Arndt C, Powell JM, Aguerre MJ, Crump PM, Wattiaux MA. 2015. Feed conversion efficiency in dairy cows: repeatability, variation in digestion and metabolism of energy and nitrogen, and ruminal methanogens. *J Dairy Sci.* 98:1-13.
- Appuhamy JA, Strathe AB, Jayasundara S, Wagner-Riddle C, Dijkstra, France J, Kebreab E. 2013. Anti-methanogenic effects of monensin in dairy and beef cattle: A meta-analysis. *J Dairy Sci.* 96:5161-5173.
- Benaouda M, Martin C, Li X, Kebreab E, Hristov AN, Yu Z, Yanez-Ruiz DR, Reynolds CK, Crompton LA, Dijkstra J, Bannink A, Schwarm A, Kreuzer M, McGee M, Lund P, Hellwing ALF, Weisbjerg MR, Moate PJ, Bayat AR, Shingfield KJ, Peiren N, Eugene M. 2019. Evaluation of the performance of existing mathematical models predicting enteric methane emissions from ruminants: animal categories and dietary mitigation strategies. *Anim Feed Sci Tech.* 255:1-20.
- Boonyanuwat K, Van KL, Sithambaram S, Widiawati Y. 2013. Improved inventory and mitigation of greenhouse gases in livestock production in south east asia. A final report submitted to Livestock Emissions and Abatement Research Network. Palmerston North (NZ): New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre.
- Casanas MAA, Rangkasene N, Krattenmacher N, Thaller G, Metges CC, Kuhla B. 2015. Methyl-coenzyme M reductase A as an indicator to estimate methane production from dairy cows. *J Dairy Sci.* 98:4074-4083.
- Castro-Montoya J, Peiren N, Cone JW, Zweifel B, Fievez V, Campeneere SD. 2015. *In vivo* and *in vitro* effects of a blend of essential oils on rumen methane mitigation. *J Liv Sci.* 180:134-142.
- Collins WJ, Christopher PW, Peter MC, Chris H, Jason L, Stephen S, Sarah EC, Edward CP, Anna BH, Garry H, Tom P. 2018. Increased importance of methane reduction for a 1.5 degree target. *Environ Res Lett.* 13:1-9. doi: 10.1088/1748-9326/aab89c.
- Criscioni P, Fernandez C. 2016. Effect of rice bran as a replacement for oat grain in energy and nitrogen balance, methane emissions and milk performance of Murciano-Granadina goats. *J Dairy Sci.* 99:280-290.
- Du W, Hou F, Tsunekawa A, Kobayashi N, Ichinohe T, Peng F. 2019. Effects of diet inclusion of common vetch hay versus alfalfa hay on the body weigh gain, nitrogen utilization efficiency energy balance, and enteric methane emissions of crossbred simmental cattle. *Animals.* 9:1-18.
- Duffield TF, Merrill JK, Bagg RN. 2012. Metaanalysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake. *J Anim Sci.* 90:4583-4592. doi: 10.2527/jas.2011-5018.
- Durand FC, Ameilbonne A, Auffret P, Bernard M, Mialon MM, Duniere L, Forano E. 2019. Supplementation of live yeast based feed additive in early life promotes rumen microbial colonization and fibrolytic potential in lambs. *Scientific Report.* 9:19216. doi: 10.1038/s41598-019-55825-0.
- Eugene M, Martin C, Mialon MM, D Krauss, G Renand, M Doreau. 2011. Dietary linseed and starch supplementation decreases methane production of fattening bulls. *J Anim Feed Sci Tech.* 166-167:330-337.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2015. Statistics [Internet]. [disitasi 17 Desember 2020]. Available from www.faostat.fao.org, update November 2015.
- Garnsworthy PC, Craigon J, Hernandez-Medrano JH, Saunders N. 2012. Variation among individual dairy cows in methane measurements made on farm during milking. *J Dairy Sci.* 95:3181-3189.
- Galindo J, Gonzalez N, Abdalla AL, Abberto M, Lucas RC, Dos Santos KC, Santos MR, Louvandini P, Moreira O, Sarduy L. 2016. Effect of a raw saponin extract on ruminal microbial population and *in vitro* methane production with star grass (*Cynodon nlemfuensis*) substrate. *Cuban J Agri Sci.* 50:77-88.
- Garrido A, Gomez-Cabrera A, Guerrero JE, Marquardt RR. 1991. Chemical composition and digestibility *in vitro* of *Vicia faba* L. Cultivars varying in tannin content. *Anim Feed Sci Tech.* 35:205-211.
- Ginting SP. 2011. Teknologi peningkatan daya dukung pakan Kawasan hortikultura untuk ternak kambing. *Wartazoa.* 21:99-107.
- Gislon G, Colombini S, Borreani G, Crovetto GM, Sandrucci A, Galassi G, Tabacco E, Rapetti L. 2020. Milk production, methane emissions, nitrogen, and energy balance of cows fed diets based on different forage systems. *J Dairy Sci.* 103:8048-8061
- Grainger C, Beauchemin KA. 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production?. *Anim Feed Sci Tech.* 166-167:308-320.
- Haryanto B, Thalib A. 2009. Emisi metana dari fermentasi enterik: Kontribusinya secara nasional dan faktor-faktor yang mempengaruhinya pada ternak. 2009. *Wartazoa.* 19:157-165

- Hidalgo DE, Gilliland T, Deighton MH, O'Donovan M, Hennessy. 2014. Milk production and enteric methane emissions by dairy cows grazing fertilized perennial ryegrass pasture with or without inclusion of white clover. *J Dairy Sci.* 97:1400-1412.
- Hatew B, Podesta SC, Van Laar H, Pellikaan WF, Ellis JL, Dijkstra J, Bannink A. 2015a. Effect of dietary starch content and rate of fermentation on methane production in lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 98:486-499.
- Hatew B, Cone JW, Pellikaan WF, Podesta SC, Bannink A, Hendriks WH, Dijkstra J. 2015b. Relationship between *in vitro* and *in vivo* methane production measured simultaneously with different dietary starch sources and starch levels in dairy cattle. *J Anim Feed Sci Tech.* 202:20-31.
- Hino T. 1981. Action of monensin on rumen protozoa. *Jpn J Zootech Sci.* 52:171-179.
- Hu W, Liu J, Wu Y, Guo Y, Ye J. 2006. Effects of tea saponins on *in vitro* ruminal fermentation and growth performance in growing Boer goat. *Archives of Anim Nutr.* 60:89-97.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. Emission from livestock and manure management. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10. p. 10.28-10.29; 10.38-10.39.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. 2013 Supplements to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. T Hiraishi, T Krug, K Tanabe, N Srivastava, J Baasansuren, M Fukuda, TG Troxler, editors. Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jadhav RV. 2014. Studies on effect of supplementation of tea seed saponin on growth performance and nutrient utilization in goats [Thesis]. [Izatnagar (India)]: Indian Veterinary Research Institute.
- Jayanegara A, Togtokhbayar N, Makkar HPS, Becker K. 2009. Tannins determined by various methods as predictor of methane production, reduction potential of plants by an *in vitro* rumen fermentation system. *Anim Feed Sci Tech J Sci Direct.* 150:230-237.
- Jayanegara A, Wina E, Soliva CR, Marquardt S, Kreuzer M, Leiber F. 2011. Dependence of forage quality and methanogenic potential of tropical plants on their phenolic fractions as determined by principal components analysis. *Anim Feed Sci Tech J Sci Direct.* 163:231-243.
- Jayanegara A, Goel G, Makkar HPS, Becker K. 2015. Divergence between purified hydrolysable and condensed tannin effect on methane emission, rumen fermentation, and microbial population *in vitro*. *Anim Feed Sci Tech J sci Direct.* 209:60-68.
- Jeyanathan J, Martin C, Eugene M, Ferlay A, Popova M, Morgavi DP. 2019. Bacterial direct-fed microbials fail to reduce methane emissions in primiparous lactating dairy cows. *J Anim Sci Biotech.* 10:1-9.
- Judy JV, Bachman GC, Brown-Brand TM, Fernando SC, Hales KE, Miller PS, Stowell RR, Kononoff PJ. 2018. Energy balance and diurnal variation in methane production as affected by feeding frequency in Jersey cows in late lactation. *J Dairy Sci.* 101:10899-10910.
- Kang J, Zeng B, Tang S, Wang M, Han X, Zhou C, Tan Z. 2016. Effects of momordica charantia saponins on *in vitro* ruminal fermentation and microbial population. *Asian-Australas J Anim Sci.* 29:500.
- Kebreab E, Clark K, Wagner-Riddle C, France J. 2006. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review. *Can J Anim Sci.* 86:135-158.
- Khiaosa-ard R, Metzler-Zebeli BU, Ahmed S, Muro-Reyes A, Deckardt K, Chizzola R, Bohm J, Zebeli Q. 2015. Fortification of dried distillers grains plus solubles with grape seed meal in the diet modulates methane mitigation and rumen microbiota in ruminants. *J Dairy Sci.* 98:1-16.
- Knapp JR, Laur GL, Vadas PA, Weiss WP, Tricarico JM. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions: Review. *J Dairy Sci.* 97:3231-3261.
- Lan W, Yang C. 2019. Ruminal methane production: associated microorganisms and the potential of applying hydrogen-utilizing bacteria for mitigation. Review. *J Sci Tot Env.* 654:1270-1283.
- Laubach J, Grover SPP, Pinares-Patino CS, Molano G. 2014. A micrometeorological technique for detecting small differences in methane emissions from two groups of cattle. *J Atmospheric Environ.* 98:599-606.
- Li W, Powers W. 2015. Effects of saponin extracts on air emission from steers. *Anim Sci.* 90:4001-4013.
- Mamuad LL, Kim SH, Biswas AA, Yu Z, Cho KK, Kim SB, Lee K, Lee SS. 2019. Rumen fermentation and microbial community composition influenced by live enterococcus faecium supplementation. *AMB Expr.* 9:1-12.
- Manatbay B, Cheng Y, Mao S, Zhu W. 2014. Effect of gynosaponin on rumen *in vitro* methanogenesis under different forage:concentrate ratios. *Asian Australas J Anim Sci.* 27:1088-1097.
- Mara FPO, Mulligan FJ, Cronin EJ, Rath M, Caffrey PJ. 1999. The nutritive value of palm kernel meal measured *in vivo* and using rumen fluid and enzymatic technology. *J Livest Prod Sci.* 60:305-316.
- Monteny GJ, Bannink A, Chadwick D. 2006. Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *Agric Ecosyst Environ.* 112:163-170.
- Moss AR, Jouany JP, Newbold J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. Review. *Ann Zootech.* 49:231-253.
- Olijhoek DW, Lovendahl P, Lassen J, Hellwing ALF, Hoglund JK, Weisbjerg MR, Noel SJ, McLean F, Hojberg O, Lund P. 2018. Methane production, rumen fermentation, and diet digestibility of Holstein and Jersey dairy cows being divergent in residual feed intake and fed at 2 forage-to-concentrate ratios. *J Dairy Sci.* 101:9926-9940.
- Pal K, Patra AK, Sahoo A, Kumawat PK. 2015. Evaluation of several tropic tree leaves for methane production potential, degradability and rumen fermentation *in vitro*. *Livest Sci.* 180:98-105.

- Patra AK. 2014. A meta-analysis of the effect of dietary fat on enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in sheep, and a comparison of these responses between cattle and sheep. *Livest Sci J Sci Direct*. 162:97-103.
- Patra AK, Saxena J. 2010. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*. 72:1198-1222.
- Patra AK, Yu Z. 2013a. Effective reduction of enteric methane production by a combination of nitrate and saponin without adverse effect on feed degradability, fermentation, or bacterial and archaeal communities of the rumen. *Biores Technol J Sci Direct*. 148:352-360.
- Patra AK, Yu Z. 2013b. Effect of coconut and fish oils on ruminal methanogenesis, fermentation, and abundance and diversity of microbial population *in vitro*. *J Dairy Sci*. 96:1782-1792.
- Philippeau C, Lettat A, Martin C, Silberberg M, Morgavi DP, Ferlay A, Berger C, Noziere P. 2017. Effect of bacterial direct-fed microbials on ruminal characteristics, methane emissions, and milk fatty acid composition in cows fed high-or-starch diets. *J Dairy Sci*. 100:2637-2650.
- Pikoli MR, Zadfa FM, Sugoro I. 2017. Bakteri denitrifikasi inaktif sebagai suplemen untuk mengurangi gas metana dari cairan rumen sapi. *J Ilmiah Aplikasi Isotop Radiasi*. 13:69-78.
- Ramírez-Restrepo CA, Tan C, O'Neill CJ, López-Villalobos N, Padmanabha J, Wang J, McSweeney CS. 2016. Methane production, fermentation characteristics, and microbial profiles in the rumen of tropical cattle fed tea seed saponin supplementation. *Anim Feed Sci Technol*. 216:58-67.
- Romero T, Perez-Baena I, Lasen T, Gomis-Tena J, Llor JJ, Fernandez C. 2020. Inclusion of lemon leaves and rice straw into compound feed and its effect on nutrient balance, milk yield, and methane emissions in dairy goats. *J Dairy Sci*. 103:6178-6189.
- Sejian, V, Lal R, Lakritz J, Ezeji T. 2011. Measurement and prediction of enteric methane emission. *Int J Biometeorol*. 55:1-16. doi: 10.1007/s00484-010-0356-7.
- Singh AS, Kaur P. 2020. Effect of saponins mitigation of methane – a review. *Int J Curr Microbiol App Sci*. 9:3310-3324.
- Steen WW, Gay N, Boling J, Bradley N, McCormick J, Pendlum L. 1978. Effect of monensin on performance and plasma metabolites in growing-finishing steers. *J Anim Sci*. 46:350-355. doi: 10.2527/jas1978.462350x.
- Szczechowiak J, Szumacher-Strabel M, Stochmal A, Nadolna M, Pers-Kamczyc E, Nowak A, Cieślak A. 2013. Effect of *Saponaria officinalis* L. Or *Panax ginseng* CA Meyer triterpenoid saponins on ruminal fermentation *in vitro*/wpływ saponin triterpenowych *Saponaria officinalis* L. Lub *Panax ginseng* CA Meyer Na Przemiany Zachodzące W Żwaczu W Warunkach *in vitro*. *Ann Anim Sci*. 13:815-827.
- Thalib A, Widiawati Y. 2008. Efek pemberian bakteri *Acetoanaerobium noterae* terhadap performans dan produksi gas metana pada ternak domba. *JITV*. 13:273-278.
- Thalib A, Widiawati Y, Haryanto B. 2010. Penggunaan *complete rumen modifier (CRM)* pada ternak domba yang diberi hijauan pakan berserat tinggi. *JITV*. 15:97-104.
- Van Wyngaard JDV, R Meeske, LJ Erasmus. 2018a. Effect of dietary nitrate on enteric methane emissions, production performance and rumen fermentation of dairy cows grazing kikuyu-dominant pasture during summer. *J Anim Feed Sci Tech*. 244:76-87.
- Van Wyngaard JDV, R Meeske, LJ Erasmus. 2018b. Effect of concentrate feeding level on methane emissions, production performance and rumen fermentation of Jersey cows grazing ryegrass pasture during spring. *J Anim Feed Sci Tech*. 241:121-132.
- Van Wyngaard JDV, R Meeske, LJ Erasmus. 2019. Effect of dietary nitrate on enteric methane emissions, production performance and rumen fermentation of dairy cows grazing ryegrass pasture during spring. *J Anim Feed Sci Tech*. 252:64-73.
- Vargas JE, Andre S, Ferreras LL, Snelling TJ, Ruiz DRY, Estrada CG, Lopez S. 2020. Dietary supplemental plant oils reduce methanogenesis from anaerobic microbial fermentation in the rumen. *Scientific Report*. 10:1613.
- Vyas D, McGeough EJ, McGinn SM, McAllister TA, Beauchemin KA. 2014. Effect of *Propionibacterium* spp. on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and methane emissions in beef heifers fed a high-forage diet. *J Anim Sci*. 92:2191-2201. doi: 10.2527/jas2013-7492.
- Wall DM, Straccialini B, Allen E, Nolan P, Herrmann C, O'Kiely P, Murphy JD. 2015. Investigation of effect of particle size and rumen fluid addition on specific methane yields of high lignocellulose grass silage. *Bioresour Technol*. 192:266-271.
- Widiawati Y, Puastuti W. 2016. The Effect of Condensed Tannin and Saponin in Reducing Methane Produced During Rumen Digestion of Agricultural Byproducts. Dalam: Wina E, Widiawati Y, Romjali E, Tiesnamurti B, Tarigan S, Sendow I, Wardhana AH, Iskandar S, Priyanto D, Puastuti W, Ginting SP, Anggraeny YN, Hartati, Nolan M, Gatenby R, editors. *Smart Livestock Management to Support Breeding Stock Availability Toward Modern Agriculture*. Proceedings of International Seminar on Livestock Production and Veterinary Technology. Kualanamu, 16-20th October 2018. Bogor (Indonesia): ICARD. p. 139-146.
- Widiawati Y, Herliatika A, Zuratih, saptati RA. 2019. Emisi dari subsektor peternakan. Dalam: Metode penilaian adaptasi dan inventarisasi gas rumah kaca sektor pertanian. Agus F, penyunting. Jakarta (Indonesia): IAARD Press.
- Yulistiani D, Puastuti W, Haryanto B, Purnomoadi A, Kurihara M, Thalib A. 2017. Complete rumen modifier supplementation in corn cob silage basal diet of lamb reduces methane emission. *Indones J Agricult Sci*. 18:33-42.
- Yusriani Y, Elviwirda, Sabri M. 2015. Kajian pemanfaatan limbah jerami sebagai pakan ternak sapi di Provinsi Aceh. *Jurnal Peternakan Indonesia*. 17:1907-1760.