

Kontrol Methanogenesis Pada Ruminansia Dan Kontribusinya Terhadap Pencegahan Polusi Lingkungan

B. Santoso dan Th. Sraun

Jurusan Nutrisi dan Makanan Ternak, Fakultas Peternakan Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Negeri Papua

Abstract

Methane (CH₄) is produced as a result of anaerobic fermentation of the soluble and structural carbohydrates by methanogens in the rumen of ruminant animals, which is released into the environment by eructation. Methane production from ruminant range from 2 to 12% of the gross energy intake and represents a substantial loss in efficiency of animal production. Recently, CH₄ production by ruminants has also received attention due to its contribution to global warming. Much research has been carried out on the manipulation of rumen fermentation to inhibit methanogenesis. Several strategies can be treated to reduce CH₄ production in the rumen such as by feed manipulation (composition, feeding level) or by the use of both chemical and natural feed additives. More biotechnological interventions e.g., defaunation, probiotics and prebiotics, and introduction of reductive acetogenesis in the rumen, are also mentioned. Chemical inhibitors have proved to be effective in decreasing CH₄e production to varying degrees. Problems with chemical inhibitors have been noted, such as rumen microbial adaptation, toxicity to the host, residues in edible products and an inability to increase energetic efficiency.

Key words: methan; ruminant; environment; feed additive.

Pendahuluan

Gas metan (CH₄) merupakan hasil fermentasi anaerob karbohidrat struktural maupun non-struktural oleh methanogen (bakteri penghasil metan) di dalam rumen ternak ruminansia, selanjutnya dikeluarkan ke atmosfer melalui proses eruktasi. Sapi dewasa menghasilkan CH₄ bervariasi dari 2 - 12 % dari konsumsi energi kasar (gross energy intake) atau setara dengan 250 - 500 /ekor/hari (Johnson and Johnson, 1995). Sementara itu dari 1137 data, Pelchen and Peters (1998) menyimpulkan bahwa rata-rata produksi CH₄ (% konsumsi energi kasar) pada ternak domba adalah 7,22 % atau setara dengan 31/ekor/hari. Menurut Brouwer (1965), nilai konversi energi

dari gas CH₄ adalah 39,54 kJ/l. Hal tersebut menunjukkan bahwa produksi serta pengeluaran gas CH₄ dari ternak ruminansia mengindikasikan energi yang hilang dari tubuh ternak. Disamping itu, gas CH₄ yang dihasilkan oleh ternak ruminansia telah mendapat perhatian yang serius dalam beberapa tahun terakhir ini karena berkontribusi terhadap pemanasan global di atmosfer. Menurut Moss (1994), CH₄ mempunyai efektifitas radiasi yang lebih besar dibandingkan CO₂ (21 vs. 1 /molekul), serta waktu paruh di atmosfer lebih pendek daripada CO₂ (10 vs. 200 tahun).

Populasi ruminansia di dunia menghasilkan 77 juta ton CH₄/tahun atau sebesar 12 - 15 % dari total

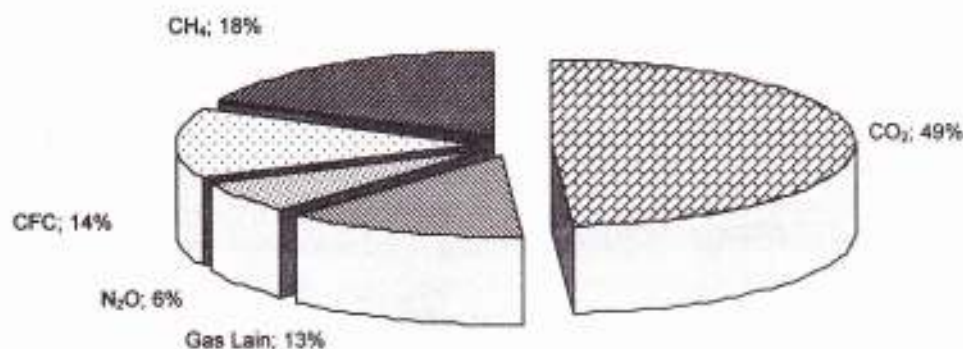
pencemaran CH₄ di atmosfer. Sementara itu, CH₄ menempati urutan kedua (18 %) setelah CO₂ dalam kontribusi terhadap pemanasan global dibandingkan dengan gas lainnya (Moss, 1993), sebagaimana tertera pada Gambar 1.

Methanogenesis Dalam Rumen

Methanogen adalah suatu grup bakteri yang mempunyai sifat halofilik dan thermoasidofilik (Moss, 1993), dikelompokkan dalam kelas *Archae* dengan kingdom *Euryarcaeota* (Balch and Wolfe, 1979). Bakteri methanogen hidup dalam kondisi potensial redoks kurang dari - 300 mV (Stewart and Bryant, 1988) dan sebagian besar hidup dalam keadaan pH netral dengan kisaran pH optimum 6 - 8 (Jones *et al.*, 1987). Bakteri ini dikelompokkan dalam Gram positif

dengan ukuran lebar dan panjang berturut-turut sekitar 1,8 µm dan 1,5 - 2,0 µm (Takahashi, 2001). Enam spesies methanogen telah diisolasi dari dalam rumen dan hanya dua spesies yaitu *Methanobrevibacter ruminantium* dan *Methanosarcina* sp. yang terdapat dalam populasi yang besar lebih dari 1×10^6 /ml (McAllister *et al.*, 1996).

Selama fermentasi karbohidrat dalam rumen, sebagian mikroorganisme rumen menggunakan jalur *Embden-Meyerhoff-Parnas* and *pentose phosphate* dalam memfermentasi polisakarida (heksosa dan pentosa) menjadi piruvat. Selanjutnya piruvat dimetabolisir melalui berbagai jalur dengan hasil akhir seperti format, asetat, propionat, butirat, laktat, suksinat methanol, ethanol, CO₂ dan H₂ (Tabel 1).



Gambar 1. Kontribusi Berbagai Gas Terhadap Pemanasan Global (Sumber: Moss *et al.*, 1993)

Tabel 1. Spesies dan Karakteristik Methanogen yang Diisolasi Dari Rumen

| Organisme | Morfologi, Komposisi Sel Penutup | Sumber Energi |
|---------------------------------------|--|---|
| <i>Methanobrevibacter ruminantium</i> | Batang pendek, membutuhkan KoM, PS | H ₂ /format |
| <i>Methanobrevibacter</i> sp. | Batang pendek, sintesis KoM, PS | H ₂ /format |
| <i>Methanosarcina barkeri</i> | Kokus tidak beraturan Kelompok panjang, HPS+PR | H ₂ /metanol methylamin/asetat |
| <i>Methanosarcina mazei</i> | Kokus, HPS | H ₂ /metanol methylamin/asetat |
| <i>Methanobacterium formicicum</i> | Batang panjang dan berfilamen, PS | H ₂ /format |
| <i>Methanomicrobium mobile</i> | Batang pendek, PR | H ₂ /format |

KoM, koenzim M; PS, pseudomerin; HPS, heteropolisakarida; PR, protein.
Sumber: McAllister *et al.* (1996).

Methanogen seperti *Methanobrevibacter ruminantium* dan *Methanosarcina barkeri* menggunakan H₂ dan CO₂ atau format, asetat, methiamin, dan methanol menjadi CH₄, selanjutnya dikeluarkan ke atmosfer melalui proses eruktasi. Penggunaan H₂ oleh methanogen berperan penting dalam mempertahankan fermentasi yang normal dalam rumen (Mathison *et al.*, 1998) dan homeostasis ekosistem rumen (Takahashi, 2001). Secara sederhana pola fermentasi karbohidrat dalam rumen adalah 57,5 glukosa → 65 asetat + 20 propionat + 15 butirat + 35 CH₄ + 60 CO₂ + 25 H₂O (Wolin, 1979). DiMarco *et al.* (1990) menyatakan dalam reaksi reduksi CO₂ menjadi CH₄ melibatkan enam koenzim melalui tujuh tahap reaksi. Menurut Mathison *et al.* (1998), koenzim M (2 - asam mercaptoethanesulfonat atau CoM) juga dibutuhkan sebagai kofaktor pada reaksi terakhir dari methanogenesis. Gas H₂ dan CO₂ banyak dihasilkan

oleh bakteri ketika ternak mengkonsumsi pakan yang berserat. Substrat yang utama dari pembentukan gas CH₄ adalah karbohidrat struktural yang dapat tercerna seperti hemiselulosa (Gambar 2). Dengan demikian hijauan dengan serat kasar yang tinggi dan dapat dicerna akan menghasilkan gas CH₄ yang tinggi.

Pada proses methanogenesis terjadi transfer H₂ antara bakteri selulolitik (McAllister *et al.*, 1998); bakteri non-selulolitik (Chen and Wolin, 1977); jamur (Joblin *et al.*, 1989) dan protozoa (Stum *et al.*, 1982) dengan methanogen. Transfer H₂ antara mikroorganisme rumen dengan methanogen, tertera pada Tabel 1. Sejumlah methanogen ditemukan pada permukaan protozoa entodiniomorp (Tokura *et al.*, 1997) yang berfungsi dalam mengontrol konsentrasi hydrogen pada cairan rumen, karena lebih dari 50 % digesti pati dilakukan oleh protozoa dan pencernaan fraksi dinding sel (ADF) meningkat sekitar 15 % dengan adanya protozoa

(faunasi) (Jouany and Ushida, 1999). Sementara itu, Stumm *et al.* (1982); Newbold *et al.* (1995) menyimpulkan

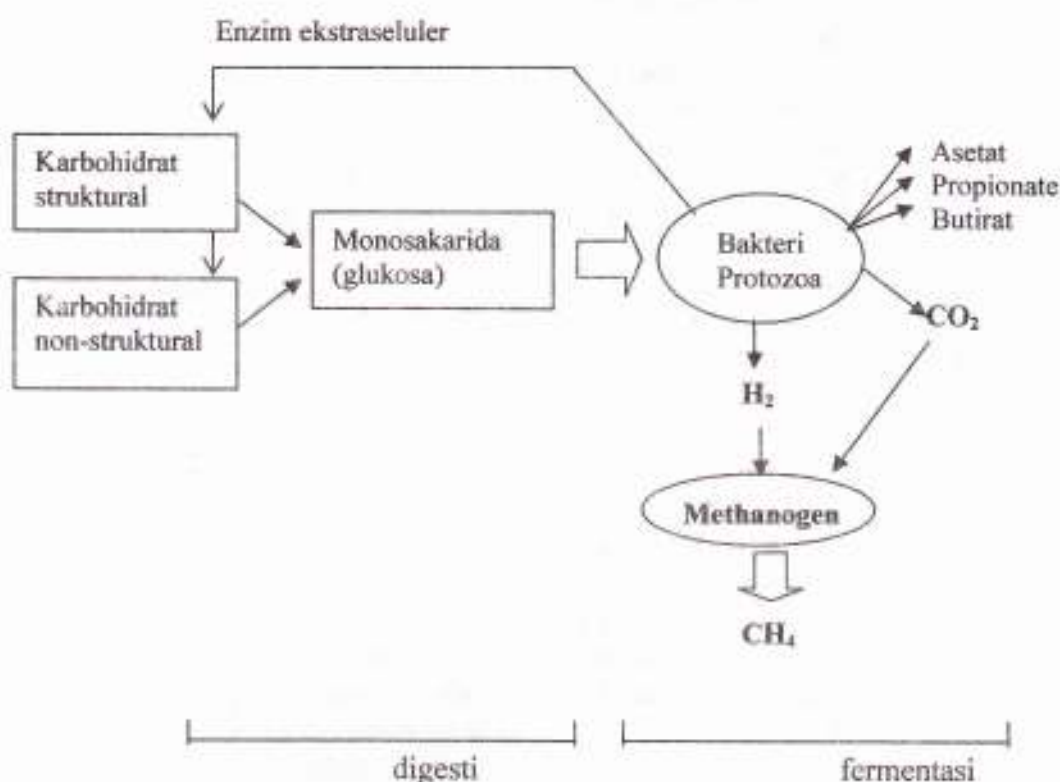
bahwa sekitar 9 – 25 % methanogen bersimbiosis dengan protozoa.

Tabel 2. Transfer H₂ antara Mikroorganisme Rumen dengan Methanogen

| | Substrat | Waktu Inkubasi (hari) | Peningkatan Kecernaan (%) | Perubahan Produk Fermentasi |
|--|------------------|-----------------------|---------------------------|--|
| Bakteri selulolitik | | | | |
| <i>Ruminococcus flavefaciens</i> dengan <i>Methanobrevibacter ruminantium</i> | Selulosa | 7 | TH | A, S↓, F↓, H ₂ ↓, CH ₄ ↑ |
| <i>Ruminococcus albus</i> dengan <i>Methanobrevibacter smithii</i> | Jerami barley | 10 | 4,6 | E↔, H ₂ ↓, CH ₄ ↑ |
| Bakteri non-selulolitik | | | | |
| <i>Selemonas ruminantium</i> dengan <i>Methanobrevibacter ruminantium</i> | Glukosa | 3 | TH | A, L↓, F↓, P↓, CH ₄ ↑ |
| Jamur anaerobik | | | | |
| <i>Neocallimastix frontalis</i> dengan <i>Methanobrevibacter smithii</i> | Jerami barley | 10 | 12,8 | E↓, L↓, H ₂ ↓, CH ₄ ↑ |
| <i>Piromyces communis</i> dengan <i>Methanobrevibacter smithii</i> | Jerami barley | 10 | 5,8 | E↓, L↓, H ₂ ↓, CH ₄ ↑ |
| <i>Neocallimastix patriciarum</i> dengan <i>Methanobrevibacter smithii</i> | Selulosa | 14 | 9 | A↑, E↓, F↓, L↓, S↓, H ₂ ↓, CH ₄ ↑ |
| Protozoa | | | | |
| <i>Isotricha</i> spp. dengan <i>Methanosarcina barkeri</i> | Glukosa | 4 | - | A↑, B↓, P↓, L↓, CH ₄ ↑ |

TH: tidak dihitung; A:asetat; B:butirat; E:ethanol; F:format; L:laktat; P:propionat; ↑:meningkat; ↓:menurun; ↔:jumlah produk tidak berubah dengan adanya methanogen

Sumber : McAllister *et al.* (1996).



Gambar 2. Digesti dan Fermentasi Karbohidrat di Dalam Rumen Oleh Bakteri dan Protozoa, serta Hubungannya dengan Methanogenesis

Tabel 3. Produksi Gas CH₄ pada Heifer, Domba dan Kambing yang Diberi Pakan Hay Rumpun Orchard pada Level 150 % TDN

| | Ternak | | |
|--|--------|-------|---------|
| | Heifer | Domba | Kambing |
| CH ₄ (l/hari) | 230,9 | 34,3 | 25,2 |
| CH ₄ (l/kg BB ^{0,75}) | 2,6 | 1,4 | 1,7 |
| CH ₄ (l/kg konsumsi BK) | 28,4 | 25,9 | 27,1 |

Sumber: Shibata *et al.* (1992b)

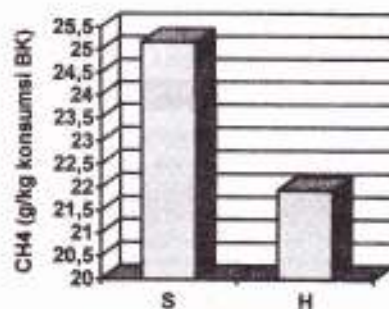
Produksi Gas Methan Ternak Ruminansia

Gas CH₄ yang dihasilkan ternak ruminansia tergantung dari spesies ternak dan dipengaruhi oleh jenis pakan yang dikonsumsi. Sapi (heifer) dapat menghasilkan gas CH₄ sekitar 7 kali dan 9 kali lebih tinggi

dibandingkan domba dan kambing (Shibata *et al.*, 1992b). Perbandingan produksi CH₄ dari ketiga spesies tersebut yang diberi pakan basal hay, tertera pada Tabel 3.

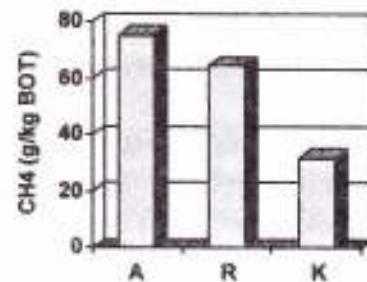
Pada percobaan lain, Shibata *et al.* (1992a) melaporkan bahwa produksi CH₄ dipengaruhi oleh jenis pakan yang dikonsumsi ternak. Rata-

rata produksi CH_4 dari 3 jenis ternak (sapi, domba dan kambing) yang diberi pakan hay dan konsentrat dengan rasio 30:70 (H30) lebih rendah dibandingkan dengan 70:30 (H70). Rendahnya CH_4 pada kelompok H30 disebabkan kandungan selulosa dan pencernaan fraksi serat yang rendah. Disamping itu proporsi konsentrat yang tinggi dalam suatu pakan akan memacu pertumbuhan sel mikroba dan produksi asam propionat. Santoso *et al.* (unpublished data) menyimpulkan bahwa produksi CH_4 dipengaruhi oleh jumlah NDF tercerna. Hal ini terlihat dari produksi CH_4 pada domba yang diberi pakan basal silase rumput timothy (S) lebih tinggi dibandingkan hay rumput timothy (H) dengan jumlah NDF tercerna masing-masing 0,4 dan 0,32 kg/hari (Gambar 3).



Gambar 3. Produksi CH_4 pada domba yang diberi pakan basal silase (S) dan hay (H).

Sementara itu, Kurihara *et al.* (1999) melaporkan bahwa sapi Brahman yang diberi pakan dengan proporsi konsentrat yang tinggi (K) menghasilkan CH_4 lebih rendah dibandingkan yang diberikan rumput Angelton (A) atau rumput Rodhes (R) (Gambar 4), hal ini diduga berhubungan dengan komposisi hemiselulosa dan selulosa dari masing-masing pakan tersebut.



Gambar 4. Produksi CH_4 pada sapi Brahman yang diberi pakan rumput Agelton (A), rumput Rhodes (R) dan alfalfa+konsentrat (K).

Menurut Moe and Tyrrell (1979), terdapat perbedaan dari masing-masing komponen karbohidrat terhadap produksi CH_4 pada sapi. Produksi CH_4 setiap gram selulosa yang tercerna sekitar 3 kali lebih tinggi dibandingkan setiap gram hemiselulosa dan sekitar 5 kali lebih tinggi dibandingkan setiap gram karbohidrat yang mudah larut. Shibata *et al.* (1992b) menyimpulkan bahwa produksi CH_4 pada ruminansia yang diberi pakan kurang dari 1,5 kebutuhan hidup pokok dapat diprediksi melalui konsumsi pakan, namun demikian koefisien determinasi (r^2) akan meningkat dengan menggunakan variabel serat kasar, ADF, pati dan ekstrak tanpa nitrogen, sebagaimana tertera pada Tabel 4.

Strategi Untuk Menurunkan Produksi Methan

1. Manipulasi Pakan tanpa Suplementasi Pakan Aditif (*feed additive*)

Menurut Blaxter and Clapperton (1965), produksi CH_4 (kJ per 100 kJ dalam pakan) menurun sejalan dengan

peningkatan level pemberian pakan. Disamping itu pemberian karbohidrat struktural (selulosa dan hemiselulosa) yang terfermentasi lebih lambat di dalam rumen dibandingkan karbohidrat non-struktural (pati dan gula) menghasilkan CH₄ lebih banyak per unit substrat yang terfermentasi.

Pemberian konsentrat/biji-bijian dengan proporsi yang lebih banyak menurunkan pH dalam rumen sehingga menghambat methanogen dan protozoa. Disamping itu, pemberian biji-bijian menyebabkan penurunan methanogenesis yang diikuti dengan peningkatan proporsi asam propionat, karena terjadi kompetisi penggunaan H₂ pada reaksi pembentukan propionat dan methanogenesis (Van Nevel and Demeyer, 1996). Berdasarkan hubungan tersebut maka dapat dilakukan beberapa manipulasi pakan untuk menurunkan perbandingan asam asetat dan propionat (A : P), misalnya :

- Meningkatkan proporsi karbohidrat mudah terfermentasi dan menurunkan jumlah pakan kasar.
- Melakukan perlakuan fisik seperti grinding dan pelleting terhadap

pakan hijauan, serta pemanasan terhadap biji-bijian.

- Menurunkan frekuensi pemberian pakan sehingga meningkatkan proporsi propionat

2. Manipulasi dengan Pakan Aditif (feed additive)

a. Suplementasi asam lemak tidak jenuh

Methanogen membutuhkan H₂ untuk membentuk CH₄ dan beberapa mikroorganisme dalam rumen menggunakan H₂ untuk menghidrogenasi ikatan rangkap dari asam lemak tidak jenuh. Akibat adanya kompetisi antara methanogen dan mikroorganisme lain terhadap ketersediaan H₂ maka penambahan asam lemak tidak jenuh dalam pakan dapat menghambat produksi CH₄. Pengaruh penambahan asam lemak tidak jenuh terhadap produksi CH₄ disajikan pada Tabel 5.

Data pada Tabel 5 menunjukkan bahwa konsentrasi CH₄ lebih rendah pada kelompok kambing yang diberi asam lemak tidak jenuh dibandingkan kontrol. Pengaruh asam lemak tidak jenuh lebih signifikan sejalan dengan meningkatnya ikatan rangkap dari asam lemak tersebut.

Tabel 4. Analisis Regresi Produksi CH₄ Terhadap Kandungan Nutrien dan Nutrien Tercerna (g/hari).

| Persamaan Regresi | r ² atau R ² | SE |
|--|------------------------------------|------|
| CH ₄ = 0,0305 BK - 4,441 | 98,4 | 13,6 |
| CH ₄ = 0,0356 SK + 0,045 ETN - 4,714 | 98,9 | 11,2 |
| CH ₄ = 0,0470 BKT - 5,364 | 99,1 | 10,1 |
| CH ₄ = 0,0774 SKT + 0,0552 ETNT - 3,836 | 99,2 | 9,7 |
| CH ₄ = 0,135 ADFT + 0,0620 PT - 4,141 | 98,9 | 11,2 |

BKT : bahan kering tercerna; SKT : serat kasar tercerna; ETNT: ekstrak tanpa nitrogen tercerna; ADFT: acid detergent fiber tercerna; PT : pati tercerna; r² atau R²: koefisien determinasi; SE : standard error.

Sumber : Shibata *et al.* (1992b)

Tabel 5. Pengaruh Penambahan Asam Lemak Tidak Jenuh Terhadap Produksi CH₄ pada Kambing yang Diberi Pakan Basal Hay dan Konsentrat (60:40)

| | Perlakuan | | |
|------------------------------------|-----------|----------|----------|
| | Kontrol | C18 : 0* | C18 : 1* |
| Konsumsi BK (g/hari) | 714 | 745 | 744 |
| Koefisien Cerna BK (%) | 64,2 | 64,7 | 65,3 |
| CH ₄ (l/kg konsumsi BK) | 32,4 | 31,2 | 28,8 |

C18 : 0 (asam stearat); C18 : 1 (asam oleat); *suplementasi 31 g BK

Sumber: Kurihara *et al.* (1997)

b. Suplementasi senyawa kimia

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa senyawa kimia dapat digunakan untuk mengeliminasi protozoa dalam rumen seperti dioctylsodium sulfosuccinate (Rowe *et al.*, 1985) dan detergen (Burggraaf and Leng, 1980). Penurunan populasi protozoa dalam rumen akan mengurangi produksi gas CH₄, karena sekitar 37 % dari total produksi CH₄ dihasilkan dari endosimbiotik antara methanogen dan protozoa.

Sementara itu beberapa *feed additive* yang bersifat kimiawi telah dilaporkan mempunyai hubungan secara langsung terhadap methanogen sehingga menurunkan produksi CH₄ baik secara *in vivo* maupun *in vitro* misalnya monensin (van Nevel and Demeyer, 1977; Wedegaertner and Johnson, 1983); α -asam bromoethane-sulfonat (BES) (Balch and Wolfe, 1979); nitrat/nitrit (Takahashi and Young, 1991). Walaupun demikian, penggunaan senyawa tersebut dalam konsentrasi yang tinggi dan dalam jangka waktu yang lama dapat menimbulkan efek toksik terhadap ternak, sehingga menimbulkan kematian (McAllister *et al.*, 1996).

Monensin merupakan senyawa biologi aktif yang dihasilkan oleh jamur *Streptomyces cinamonensis*. Monensin diklasifikasikan sebagai ionophor karena berfungsi sebagai fasilitator transport kation monovalen antar membran. Wedegaertner and Johnson (1983) melaporkan bahwa suplementasi 3 g monensin/kg BB^{0,75} menurunkan produksi CH₄ sebanyak 26,6 % dibandingkan kelompok kontrol (14,1 dibandingkan 19,2 kkal/kg BB^{0,75}/hari) (Wedegaertner and Johnson, 1983).

Fumarat merupakan senyawa intermediet pada sintesis propionat melalui jalur suksinat. Beberapa bakteri seperti *Fibribacter succinogenes*, *Selemonas ruminantium* spp. *ruminantium*, *Selemonas ruminantium* spp. *lactilytica*, *Veillonella parvula* dan *Wollinella succinogenes* mengoksidasi H₂ dengan menggunakan fumarat sebagai penerima elektron terakhir, sehingga terjadi kompetisi dengan methanogen dalam penggunaan H₂. Namun demikian, afinitas bakteri tersebut terhadap H₂ lebih rendah dibandingkan methanogen. Asanuma *et al.* (1999) melaporkan bahwa penambahan fumarat ke dalam pakan ruminansia menurunkan produksi CH₄ dan meningkatkan konsentrasi asam propionat.

Tabel 6. Pengaruh Asam 2-bromoethanolsulfonat (BES) terhadap Persentase Gas Methan dan Hidrogen dalam Rumen Domba

| | CH ₄ (%) | H ₂ (%) |
|-------------------------|---------------------|--------------------|
| Periode kontrol (n = 9) | 34,8 ± 2,9 | 0 |
| Periode BES | | |
| Hari ke 1 | 0,4 | 31,8 |
| 2/3 | 0,8 | 28,1 |
| 4 | 25,5 | 0,2 |
| 5 | 18,6 | 0,2 |
| 6 | 18,6 | 0,1 |
| 7 | 25,1 | 0,1 |

Hari ke 1, 2 g BES dalam 250 ml air diberikan melalui rumen dan infusi kontinyu; Hari ke 4, infusi dihentikan; Hari ke 5, 6 dan 7, diberikan 0,5 g BES

Sumber : Van Nevel and Demeyer (1996)

Tabel 7. Pengaruh Saponin *Y. schidigera* dan *S. saponaria* terhadap Methanogenesis

| Perco- baan | Konsentrasi | Produksi CH ₄ | | Unit | Pustaka |
|----------------|---------------------------------|--------------------------|-------|-------------------------|--------------------------------|
| | | (-) | (+) | | |
| In vitro | 2 ml/l ^a | 430,0 | 250,0 | ml/24 jam | Takahashi <i>et al.</i> , 2000 |
| In vitro | 100 mg/g ^b | 6,18 | 4,95 | mmol/hari | Hess <i>et al.</i> , 2003 |
| In vivo | 30 mg/kg BK ^a | 70,9 | 69,1 | g/kg NDF | Śliwiński <i>et al.</i> , 2002 |
| In vivo | 60 ppm dari pakan ^a | 1,79 | 1,67 | l/kg BB ^{0,75} | Santoso <i>et al.</i> , 2004 |
| In vivo | 120 ppm dari pakan ^a | 1,88 | 1,71 | l/kg BB ^{0,75} | Santoso, 2005 |

^a*Yucca schidigera*; ^b*Sapindus saponaria*;

(-) tanpa saponin; (+) penambahan saponin

c. Suplementasi senyawa saponin dan tanin dari tumbuhan

Penggunaan saponin yang berasal dari tumbuhan *Yucca schidigera* maupun *Sapindus saponaria* sebagai *feed additive* dan pengaruhnya terhadap produksi CH₄ telah dilaporkan baik secara in vitro maupun in vivo, sebagaimana disajikan pada Tabel 7.

Data pada Tabel 7 menunjukkan bahwa penambahan saponin dengan berbagai konsentrasi menurunkan produksi CH₄ baik secara in vitro maupun in vivo. Menurut Hess *et al.* (2003); Santoso *et al.* (2004), mekanisme penurunan produksi CH₄

sebagai akibat dari penurunan populasi protozoa dalam rumen. Membran protozoa (prokaryotic) lebih sensitif terhadap saponin dibandingkan membran bakteri (eukaryotic) karena adanya sterol pada membrane sel protozoa (Williams and Coleman, 1992), sehingga saponin dapat mengikat sterol yang selanjutnya menyebabkan dekstruksi membran sel protozoa (Hostettmann and Marston, 1995). Selanjutnya penurunan populasi protozoa diikuti dengan penurunan produksi CH₄. Sementara itu, penambahan ekstrak *Terminalia chebula* yang mengandung senyawa tanin efektif menurunkan produksi gas CH₄ hingga 95 % dibandingkan

kelompok kontrol (Patra *et al.*, 2006), sebagaimana tertera pada Tabel 8.

Menurut Śliwiński *et al.* (2002) bahwa produksi gas CH₄ (in vitro) per unit bahan organik terfermentasi cenderung menurun, sejalan dengan peningkatan level ekstrak tanin. Penurunan produksi gas metan sebagai respon dari penambahan ekstrak tanin diduga berhubungan dengan konsentrasi H₂. Pada proses methanogenesis, bakteri methanogen menggunakan senyawa H₂ dan CO₂ atau format, asetat, methiamin, dan methanol menjadi CH₄. McSweeney *et al.* (2001) menyatakan bahwa penurunan produksi gas CH₄ dapat pula disebabkan oleh penurunan degradasi karbohidrat struktural akibat terbentuknya suatu kompleks antara tanin dengan selulosa atau hemiselulosa.

d. Suplementasi probiotik dan prebiotik

Menurut Mwenya *et al.* (2004) suplementasi 4 g kultur jamur/hari (probiotik) yang mengandung *Trichosporon sericeum* $1,2-2,3 \times 10^7$ colony forming unit/g menurunkan produksi CH₄ pada domba 10,2 % dibandingkan kontrol. Penurunan ini diduga karena kultur jamur menstimulasi bakteri pembentuk asetat (asetogen) yang juga memanfaatkan H₂, sehingga terjadi kompetisi dengan methanogen dalam penggunaan H₂. Pada percobaan yang sama, Mwenya *et al.* (2004) melaporkan bahwa suplementasi prebiotik yaitu 20 g galakto-oligosakarida menurunkan produksi gas CH₄ pada domba 9,8 % dibandingkan kontrol (33,53 dibandingkan 38,17 l/hari). Galakto-oligosakarida merupakan senyawa campuran antara galaktosa dan glukosa melalui reaksi enzimatis (β -D galaktosidase). Di dalam rumen,

galakto-oligosakarida mudah terdegradasi (Santoso *et al.*, 2003) dan menstimulasi pertumbuhan bakteri bifido yang banyak menghasilkan asam propionat (Ogimoto and Imai, 1981 dan Bouhnik *et al.*, 1997). Dengan demikian terjadi kompetisi secara tidak langsung terhadap ketersediaan H₂ untuk reaksi sintesis propionat dan methanogenesis.

Pada percobaan in vitro dengan suplementasi probiotik (*Saccharomyces cerevisiae* dan *Aspergillus oryzae*), Frumholtz *et al.* (1989) dan Mutsvanga *et al.* (1992) melaporkan penurunan CH₄ sebagai pengaruh dari suplementasi kedua jenis probiotik tersebut bervariasi 10 – 50 %. Chaucheyras *et al.* (1995) menyatakan bahwa *Saccaromyces cerevisiae* mampu menstimulasi bakteri pembentuk asetat (asetogen) dalam menggunakan H₂, sehingga terjadi kompetisi antara asetogen dengan methanogen dalam penggunaan H₂.

3. Acetogenesis

Bakteri asetogen yaitu bakteri yang mampu mengkonversi CO₂ dan H₂ menjadi asetat. Populasi asetogen bervariasi antar spesies ruminansia, sebagaimana dilaporkan oleh Le Van *et al.* (1998) dalam Joblin (1999) bahwa populasi asetogen pada sapi perah yang diberi pakan hay dan konsentrat adalah $2,5 \times 10^5$ /ml. Sementara Morvan *et al.* (1996) dalam Joblin (1999) menyatakan populasi asetogen pada rusa, domba dan bison masing-masing 10^2 , 10^2 , dan 10^3 /ml. Populasi bakteri asetogen tinggi pada domba yang baru lahir (sebelum methanogen beradaptasi) dan pada domba dewasa yang diberi pakan hijauan dalam sedikit. Reduksi CO₂ menjadi asetat (asetogenesis) lebih diharapkan daripada reduksi menjadi

CH₄, karena tidak hanya memperkecil energi yang hilang dari dalam tubuh ternak, sebaliknya menyediakan asam asetat yang bermanfaat sebagai sumber energi bagi ternak ruminansia. Reaksi pembentukan asetat oleh bakteri sebagai berikut :



Sepuluh asetogen telah diisolasi dari domba muda (pre-ruminan) dan

ruminansia dewasa, sebagaimana tertera pada Tabel 9.

Walaupun informasi mengenai asetogen terutama kemampuan memanfaatkan H₂ dan ekologiinya masih sangat terbatas, namun reaksi pembentukan asetat dapat dipertimbangkan dalam strategi mengontrol methanogenesis pada ternak ruminansia.

Tabel 8. Pengaruh Senyawa Tanin terhadap Methanogenesis

| Percobaan | Konsentrasi Tanin | Produksi CH ₄ | | Unit | Pustaka |
|-----------|-----------------------------|--------------------------|------|-------------------|--------------------------------|
| | | (-) | (+) | | |
| In vitro | 0,25 ml/ 30 ml ^a | 31 | 0,3 | ml/g BK | Patra <i>et al.</i> , 2006 |
| In vitro | 160 mg/200 mg ^b | 20 | 14 | % CH ₄ | Roth <i>et al.</i> 2001 |
| In vivo | 15 g/kg PK | 1,55 | 1,30 | mmol/g BOF | Śliwiński <i>et al.</i> , 2002 |

^a*Terminalia chebula*; ^bchestnut

BOF : bahan organik terfermentasi; (-) : tanpa tanin; (+) : penambahan tanin

Tabel 9. Spesies Asetogen yang Disolasi dari Rumen Domba dan Sapi yang Diberi Berbagai Jenis Pakan.

| Isolat | Sumber | Pakan ternak | pH optimum |
|------------------------------------|-------------|--------------------|------------|
| <i>Eubacterium limosum</i> | Rumen domba | Jerami-molases | 7,2 |
| <i>Acetitomaculum ruminis</i> | Rumen sapi | Hay-konsentrat | 6,8 |
| Tidak diketahui | Rumen sapi | Hay-biji-bijian | 6,8 – 7,5 |
| Tidak diketahui | Rumen rusa | Rumput-biji-bijian | 7,0 – 7,5 |
| <i>Peptosteptococcus productus</i> | Domba muda | Susu | - |
| Tidak diketahui | Domba muda | Susu | 6,3 – 6,8 |
| <i>Ruminococcus shinkii</i> | Domba muda | Susu | 6,5 – 7,0 |
| <i>Clostridium difficile</i> | Domba muda | Susu | 6,5 – 7,0 |
| Tidak diketahui | Rumen sapi | Rumput segar | 6,5 – 7,2 |
| Tidak diketahui | Rumen domba | Rumput segar | 6,5 – 7,0 |

Sumber : Joblin (1999)

Kesimpulan

Gas CH₄ merupakan hasil fermentasi anaerob karbohidrat struktural maupun non struktural oleh methanogen di dalam rumen ternak ruminansia, yang dikeluarkan ke atmosfer melalui proses eruktasi. Produksi CH₄ pada ternak sapi bervariasi 250 – 500 l/hari, sedangkan pada ternak kambing sekitar 31 l/hari. Pengeluaran gas CH₄ dari dalam rumen merupakan representasi energi yang hilang dari dalam tubuh dengan rata-rata 6% dari konsumsi energi kasar, serta mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap pencemaran lingkungan. Beberapa strategi/teknik yang dapat dilakukan untuk mereduksi produksi CH₄ yang berasal dari ruminansia antara lain melalui manipulasi pakan tanpa atau dengan pakan aditif seperti (asam lemak tidak jenuh, senyawa kimia, senyawa saponin/tanin dari tumbuhan, probiotik dan prebiotik) serta meningkatkan kompetisi penggunaan H₂ melalui asetogenesis. Walaupun senyawa kimia efektif menurunkan produksi CH₄, namun demikian tidak direkomendasikan untuk digunakan dalam sistem produksi ruminansia karena bersifat toksik terhadap ternak serta dapat menimbulkan residu pada produk ternak.

Daftar Pustaka

- Asanuma, N., M. Iwamoto and T. Hino. 1999. Effect of the addition of fumarate on methane production by ruminal microorganisms in vitro. *J. Dairy Sci.* 82: 780–787.
- Balch, W. E. and R. S. Wolfe. 1979. Specificity and biological distribution of coenzyme M (2-mercaptosulphonic acid). *J. Bacteriol.* 137:260–263.
- Blaxter, K.L. and J.L. Clapperton. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Br. J. Nutr.* 19:81–90.
- Bouhnik, Y., B. Flourie, L. D'Agay-Abensour, P. Pochart, G. Gramet, M. Durand and J. Rambaud. 1997. Administration of transgalacto-oligosaccharides increases fecal Bifidobacteria and modifies colonic fermentation metabolism in healthy humans. *J. Nutr.* 127:444–448.
- Brouwer, E. 1965. Report of subcommittee on constants and factors. In: Proceedings of the 3rd EAAP Symposium on Energy Metabolism. K.L. Blaxter (Ed.). Troon, Publ. 11. Academic Press. pp. 441–413.
- Burggraaf, W. And R. A. Leng. 1980. Antiprotozoal effects of surfactant detergents in the rumen of sheep. *New Zealand J. Agric. Res.* 23:287–291.
- Chaucheyras, F., G. Fonty, G. Bertin and P. Gouet. 1995. In vitro H₂ by a ruminal acetogenic bacterium cultured alone or in association with an Archae methanogen is stimulated by a probiotic strain of *Saccaromyces cerevisiae*. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 3466–3467.
- Chen, M. and M. J. Wolin. 1977. Influence of methane production by *Methanobacterium ruminantium* on the fermentation of glucose and lactate by *Selemonas ruminantium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 34: 756–759.
- DiMarco, A. A., T. A. Bobik and R. S. Wolfe. 1990. Unusual co-

- enzymes of methanogens. *Annu. Rev. Biochem.* 59:355-394.
- Frumholtz, P. P., C. J. Newbold and R. J. Wallace. 1989. Influence of *Aspergillus oryzae* fermentation extract on the fermentation of a basal ration in the rumen simulation technique (Rusitec). *J. Agric. Sci. Camb.* 113: 169-172.
- Hess, H. D., L. M., Monsalve, C. E., Lascano, J. E., Carulla, T. E. Diaz and M. Kreuzer. 2003. Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and *Sapindus saponaria* fruits: effects on in vitro ruminal nitrogen turnover and methanogenesis. *Aust. J. Agric. Res.* 54:703-713.
- Hostettmann, K. and A. Marston. 1995. Saponins. Cambridge: Cambridge University Press.
- Joblin, K. N. 1999. Ruminal acetogens and their potential to lower ruminant methane emissions. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 1307-1313.
- Joblin, K. N., G. P. Campbell, A. J. Richardson and C. S. Stewart. 1989. Fermentation of barley straw by anaerobic rumen bacteria and fungi in axenic culture and in co-culture with methanogens. *Lett. Appl. Microbiol.* 9: 195-197.
- Johnson, K. A. and D. E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 73:2483-2492.
- Jones, W. J., D. P. Jr., Nagle and W. P. Whitman. 1987. Methanogens and the diversity of archaeobacteria. *Microbiol. Rev.* 51:135-177.
- Jouany, J. P. and K. Ushida. 1999. The role of protozoa in feed digestion. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 12: 113-128.
- Kurihara, M., M. Shibata, T. Nishida, A. Purnomoadi and F. Terada. 1997. Methane production and its dietary manipulation in ruminants. In : R. Onodera, H. Itabashi, K. Ushida, H. Yana and Y. Sasaki. *Rumen microbes and Digestive in Ruminants.* Japan Sci. Soc. Press. pp. 199-208.
- Kurihara, M., T. Magner, R.A. Hunter and G.J. Mc Crabb. 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *Br. J. Nutr.* 81:227-234.
- Mathison, G. W., E. K. Okine, T. A. McAllister, Y. Dong, J. Galbraith and O. I. N. Dmytruk. 1998. Reducing methane emissions from ruminants animals. *J. Appl. Anim. Res.* 14:1-28.
- McAllister, T. A., E. K. Okine, G. W. Mathison and K-J. Cheng. 1996. Dietary, environmental and microbiology aspects of methane production in ruminants. *Can. J. Anim. Sci.* 76:231-243.
- McSweeney, C. S., B. Palmer, D. M. McNeill and D. O. Krause. 2001. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 91:83-93.
- Moe, P. W. and H. F. Tyrrell. 1979. Methane production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 62:1583-1586.

- Moss, A. R. 1993. Methane Global Warming and Production by Animals. Chalcombe Publications, Canterbury. p.105.
- Moss, A. R. 1994. Methane production by ruminants-Literature review of I. Dietary manipulation to reduce methane production and II. Laboratory procedures for estimating methane of diets. Nutr. Abstr. Rev. (Series B) 64:785-806.
- Mutsvanga, T., I. E. Edwards, J. H. Topps and G. F. M. Paterson. 1992. The effect of dietary inclusion of yeast culture (Yeast) on patterns of rumen fermentation, food intake and growth in intensively fed bulls. Anim. Prod. 55:35-40.
- Mwenya, B., B. Santoso, C. Sar, Y. Gamo, T. Kobayashi, I. Arai and J. Takahashi. 2004. Effects of including β 1-4 galactooligosaccharides, lactic acid bacteria or yeast culture on methanogenesis, energy and nitrogen metabolism in sheep. Anim. Feed Sci. Technol. 115 : 313-326.
- Newbold, C. J., B. Lassalas and J. P. Jouany. 1995. The important of methanogens associated with ciliate protozoa in ruminal methane production *in vitro*. Lett. Appl. Microbiol. 21:230-234.
- Ogimoto, K., Imai, S., 1981. Atlas of rumen microbiology. Japan Scientific Societies Press.
- Patra, A.K., D.N. Kamra and N. Agarwal. 2006. Effect of plant extracts on *in vitro* methanogenesis, enzyme activities and fermentation of feed in rumen liquor of buffalo. Anim. Feed Sci. Technol. 128:276-291.
- Pelchen, A. and K. J. Peters. 1998. Methane emissions from sheep. Small Rum. Res. 27:137-150.
- Roth, S., H. Steingass, and W. Drochner. 2001. Reducing the methane emission and optimization of N-supply in ruminants by treating feeds with tannins. <http://www.uni-hohenheim.de/wwwgkoll/teilpr/suse/susee.html>, accessed in May 12, 2006.
- Rowe, J. B., A. Davies and A. W. J. Broome. 1985. Quantitative effects of defaunation on rumen fermentation and digestion in sheep. Br. J. Nutr. 54:105-119.
- Santoso, B. 2005. Rumen fermentation characteristics and methanogenesis in sheep fed silage-based diet supplemented with *Yucca schidigera* or *Yucca schidigera* combined with nisin. Buletin Peternakan 28(1):13-18.
- Santoso, B., B., Mwenya, C. Sar, Y. Gamo, T. Kobayashi, R. Morikawa, K. Kimura, H. Mizukoshi and J. Takahashi. 2004. Effects of supplementing galactooligosaccharides, *Yucca schidigera* and nisin on rumen methanogenesis, nitrogen and energy metabolism in sheep. Livest. Prod. Sci. 91: 209-217.
- Santoso, B., S. Kume, K. Nonaka, K. Kimura, H. Mizukoshi, Y. Gamo and J. Takahashi. 2003. Methane emission, nutrient digestibility, energy metabolism and blood metabolites in dairy cows fed silages with and without galactooligosaccharides supplementation. Asian-

- Aust. J. Anim. Sci. 16 (4):534-540.
- Shibata, M., F. Terada, K. Iwasaki, M. Krihara and T. Nishida. 1992a. Methane production in heifers, sheep and goats consuming diets of various hay-concentrate ratios. Anim. Sci. and Technol. 63 (12): 1221 - 1227.
- Shibata, M., F. Terada, M. Kurihara, T. Nishida and K. Iwasaki. 1992b. Estimation of methane production in ruminants. Anim. Sci. and Technol. 64 (8): 790 - 796.
- Śliwiński, B. J., C. R., Soliva, A. Machmüller and M. Kreuzer. 2002. Efficacy of plant extracts rich in secondary constituents to modify rumen fermentation. Anim. Feed sci. and Technol. 101: 101-114.
- Śliwiński, B. J., M. Kreuzer, H. R. Wettstein and A. Machmüller. 2002. Rumen fermentation and nitrogen balance of lambs fed diets containing plant extracts rich in tannins and saponins, and associated emissions of nitrogen and methane. Arch. Anim. Nutr. 56:379-392.
- Stewart, C. S. and M. P. Bryant. 1988. The rumen bacteria. In: P. N. Hobson (ed.) The Rumen Microbiology Ecosystem. Elsevier Applied Science. London. pp. 21-75.
- Stumm, C. K., H. J. Gijzen, and G. D. Vogels. 1982. Association of methanogenic bacteria with ovine rumen ciliates. Br. J. Nutr. 47:95-99.
- Takahashi, J. 2001. Nutritional manipulation of methanogenesis in ruminants. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 14:131-135.
- Takahashi, J. and B. A. Young. 1997. Prophylactic effect of L-cysteine on nitrate-induced alterations in respiratory exchange and metabolic rate in sheep. Anim. Feed Sci. Technol., 35:105-113.
- Takahashi, J., Y. Miyagawa, Y. Kojima and K. Umetsu. 2000. Effects of *Yucca schidigera* extract, probiotics, monensin and L-cysteine on rumen methanogenesis. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 13:499-501.
- Tokura, M., K. Ushida, K. Miyazaki, and Y. Kojima. 1997. Methanogens associated with rumen ciliates. FEMS Microbiol. Ecol. 22:137-143.
- Van Nevel, C. J. and D. I. Demeyer. 1996. Control of rumen methanogenesis. Environ. Monit. Assest. 42:73-97.
- Wedegaertner, T. C. and D. E. Johnson. 1983. Monensin effect on digestibility, methanogenesis and heat increment of a cracked corn-silage diet fed to steers. J. Anim. Sci. 57: 168-177.
- Williams, A. G. and G. S. Coleman. 1991. The Rumen Protozoa. Springer-Verlag New York Inc., New-York, p. 441.
- Wolin, M. J. 1979. The rumen fermentation : a model for microbial interactions in anaerobic ecosystems. Adv. Microbiol. Ecol. 3:49-77.

Alamat Korespondensi: Dr. Ir. Budi Santoso
Jurusan Nutrisi dan Makanan Ternak
Fakultas Peternakan Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Universitas Negeri Papua.

Artikel *diterima* 28 Juli 2006, *disetujui* 25 September 2006