

**Reviu: Pemanfaatan Rumput Laut sebagai Pakan Aditif dalam Menurunkan Metan Ternak Ruminansia**

***A Review: Utilization of Seaweed as Feed Additive in Reducing Methane for Ruminants***

<sup>1</sup>Ridhwan Anshor Alfauzi, <sup>2</sup>Nur Hidayah

<sup>1</sup>*Mahasiswa program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Tidar Jl. Kapten Suparman No. 39, Tuguran, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, (0293) 364113, 56116, Indonesia*

<sup>2</sup>*Dosen program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Tidar Jl. Kapten Suparman No. 39, Tuguran, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, (0293) 364113, 56116, Indonesia*  
<sup>2</sup>*email: nurhidayah@untidar.ac.id*

**ABSTRAK**

Ternak ruminansia berkontribusi dalam menghasikan gas metan akibat dari proses fermentasi pakan oleh bakteri metanogenik di dalam rumen. Metana (CH<sub>4</sub>) merupakan salah satu penyebab terjadinya efek gas rumah kaca dan memiliki efek 25x lebih besar dibandingkan CO<sub>2</sub> dalam menangkap panas yang menyebabkan pemanasan global. Tujuan reviu artikel ini yaitu untuk mengkaji potensi pemanfaatan rumput laut sebagai pakan aditif dalam menurunkan metan ternak ruminansia. Produksi gas metan ternak ruminansia dapat dikurangi melalui suplementasi *feed* aditif pada pakan ternak yang diantaranya melalui ionophores, legum, minyak esensial, senyawa kimia, lemak, probiotik, dan metabolit sekunder pada tanaman (halogenated, phlorotannin, tannin, saponin, iodine). Salah satu komoditas yang berpotensi sebagai *feed* aditif yaitu rumput laut. Rumput laut merupakan salah satu komoditas perikanan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia karena Indonesia adalah negara kepulauan. Produksi rumput laut basah di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 10,32 juta ton. Rumput laut dapat dimanfaatkan sebagai pakan aditif yang memiliki kemampuan dalam menurunkan produksi gas metan ternak ruminansia. Rumput laut mengandung protein, karbohidrat, lemak, vitamin, mineral, minyak, dan asam amino serta senyawa sekunder lainnya (phlorotannin, iodine, dan senyawa halogenasi). Kandungan beberapa senyawa tersebut terbukti mampu menurunkan produksi gas metan pada ternak ruminansia karena sifatnya sebagai anti-metanogenik. Kandungan bromoform pada rumput laut juga terbukti efektif dalam menghambat emisi gas metan saluran pencernaan karena kemampuannya dalam mengganggu proses metanogenesis.

**Kata kunci:** rumput laut, ternak ruminansia, gas metan

## ABSTRACT

*Ruminants contribute to the production of methane gas as a result of the fermentation process of feed by methanogenic bacteria in the rumen. Methane (CH<sub>4</sub>) is one of the causes of the greenhouse gas effect and has a 25x greater effect than CO<sub>2</sub> in capturing heat that causes global warming. The purpose of this article review is to examine the potential use of seaweed as a feed additive in reducing methane in ruminants. The production of methane gas in ruminants can be reduced through feed additive supplementation in animal feed, including through ionophores, legumes, essential oils, chemical compounds, fats, probiotics, and secondary metabolites in plants (halogenated, phlorotannin, tannin, saponin, iodine). One commodity that has the potential as a feed additive is seaweed. Seaweed is a fishery commodity that has great potential to be developed in Indonesia because Indonesia is an archipelagic country. Wet seaweed production in Indonesia in 2018 reached 10.32 million tons. Seaweed can be used as a feed additive which has the ability to reduce the production of methane gas in ruminants. Seaweed contains proteins, carbohydrates, fats, vitamins, minerals, oils, and amino acids as well as other secondary compounds (phlorotannin, iodine, and halogenated compounds). The content of some of these compounds is proven to be able to reduce the production of methane gas in ruminants because of its anti-methanogenic properties. The bromoform content in seaweed has also been shown to be effective in inhibiting the emission of methane gas from the digestive tract due to its ability to interfere with the methanogenesis process.*

**Kata kunci:** seaweed, ruminants, methane

## PENDAHULUAN

Gas Rumah Kaca (GRK) adalah salah satu penyebab terjadinya perubahan iklim dunia sebagai akibat dari meningkatnya suhu pada permukaan bumi. Gas Rumah Kaca (GRK) diartikan sebagai sekumpulan dari gas-gas hasil pemanasan bumi yang dilepaskan ke atmosfer dan membentuk efek rumah kaca. Gas-gas tersebut seperti CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC, HFCs, SF<sub>6</sub>, dan CH<sub>4</sub> merupakan gas yang bersifat radiaktif dan menyebabkan terjadinya pemanasan global serta menjadi faktor utama penyebab terjadinya perubahan iklim (Indradjad & Salyasari, 2017). Pemanasan global diakibatkan oleh berbagai aktivitas seperti industri, sisa pembakaran bahan bakar fosil, hingga aktivitas pertanian. Peternakan termasuk ke dalam salah satu sub sektor pertanian yang turut menyumbang emisi gas rumah kaca khususnya CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O. Sub sektor peternakan global menyumbang 28% dari total emisi gas metana sektor pertanian lainnya (Caro et al., 2014). CH<sub>4</sub> atau gas metana merupakan salah satu gas rumah kaca yang memiliki pengaruh 28 kali lebih kuat dibandingkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) selama 100 tahun serta 80 kali lebih kuat selama 10-20 tahun sejak dilepaskan ke atmosfer (Pachauri et al., 2015). Emisi gas metana dari aktivitas peternakan utamanya bersumber dari ternak ruminansia seperti sapi, kambing, domba, dan kerbau.

Ternak ruminansia merupakan penghasil emisi gas metan yang paling banyak dibandingkan dengan ternak non-ruminansia. Emisi gas metan tersebut berasal dari fermentasi dalam pencernaan ternak (*enteric fermentation*) dan kotoran ternak (*manure*). Rojas-Downing et al., (2017) menjelaskan bahwa emisi sebesar 39,1%

berasal dari *enteric fermentation* dan 4,3% berasal dari *manure management*. Ternak sapi potong menghasilkan emisi gas metan sebesar 47 kg/ekor/tahun sementara sapi perah yaitu 61 kg/ekor/tahun (IPCC, 2006). Data BPS, (2021) menunjukkan bahwa populasi sapi potong di Indonesia mencapai 18,05 juta ekor sedangkan sapi perah 578 ribu ekor, artinya akan terdapat setidaknya 848 juta kg/tahun emisi gas metan dihasilkan dari ternak sapi potong dan 35 juta kg/tahun emisi gas metan dihasilkan dari ternak sapi perah. Emisi gas metan yang dihasilkan oleh ternak tidak hanya membahayakan lingkungan namun juga merugikan ternak karena sebagian energi dari pakan yang dikonsumsi hilang sebagai metana. Hidayah, (2016) melaporkan bahwa terdapat dua alasan penting mengapa penurunan metan ternak ruminansia menjadi penting. Pertama, akan menurunkan jumlah gas metan di atmosfer sehingga mengurangi efek gas rumah kaca. Kedua, meningkatkan produktivitas ternak karena tercapainya efisiensi pakan karena energi yang dihasilkan tidak terbuang menjadi gas metan.

Upaya penurunan produksi gas metan pada ternak ruminansia dapat dilakukan dengan memanfaatkan *feed additive* melalui suplementasi pada pakan ternak. Beberapa senyawa yang telah terbukti mampu menurunkan atau menghambat emisi gas metan diantaranya ionophores, legum, minyak esensial, senyawa kimia, lemak, probiotik, dan metabolit sekunder pada tanaman (halogenated, phlorotannin, tannin, saponin, iodine) (Min et al., 2020; Patra, 2012). Salah satu komoditas yang berpotensi digunakan sebagai *feed additive* yaitu rumput laut. Rumput laut merupakan komoditas ekspor unggulan Indonesia. KKP, (2018) mencatat bahwa produksi rumput laut basah di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 10,32 juta ton. Sementara itu, nilai ekspor rumput laut pada tahun 2020 mencapai 177 ribu ton (BPS, 2021a). Jenis rumput laut yang banyak dibudidayakan di Indonesia yaitu *Euchaeuma cottonii*, *Gracilaria sp*, *Euchaeuma spinosum*, dan *Caulerpa sp*. Kondisi iklim, geografis (tekanan, arus, kaulitas air, kadar garam, sinar matahari) dan perairan Indonesia yang sesuai dengan kebutuhan biologis dan pertumbuhan rumput laut menjadikan rumput laut Indonesia memiliki kualitas yang baik.

Rumput laut dapat dimanfaatkan sebagai pakan aditif yang memiliki kemampuan dalam menurunkan produksi gas metan ternak ruminansia. Rumput laut mengandung protein, karbohidrat, lemak, vitamin, mineral, minyak, dan asam amino serta senyawa sekunder lainnya (phlorotannin, iodine, dan senyawa halogenasi) (Gaillard et al., 2018; Pirian et al., 2017). Kandungan beberapa senyawa tersebut terbukti mampu menurunkan produksi gas metan pada ternak ruminansia karena sifatnya sebagai anti-metanogenik. Penelitian yang dilakukan oleh Hikmawan et al., (2019) bahwa substitusi rumput laut *Euchaeuma cottonii* pada level 4% mampu menghasilkan produksi gas metana terkecil yaitu 18,49mM. Rumput laut *Euchaeuma cottonii* mengandung banyak asam lemak tak jenuh, lemak yang masuk ke dalam rumen akan mengalami proses biohidrogenasi. Pembentukan gas metan membutuhkan adanya hidrogen dan karbondioksida. Proses biohidrogenasi yaitu proses penjumlahan lemak (hidrogenasi) dengan mengalihkan hidrogen, sehingga pembentukan gas metana terhambat. Kandungan bromoform pada rumput laut juga terbukti efektif dalam menghambat emisi gas metan saluran pencernaan karena kemampuannya dalam mengganggu proses metanogenesis. Kinley et al., (2016) dalam penelitiannya penggunaan rumput laut *Aspargopsis toxiformis* sangat efektif dalam menurunkan produksi gas metan pada rumen sapi secara *in vitro* karena kandungan senyawa sekunder berupa bromoform yang mampu memanipulasi mikroba pencernaan enzim yang berperan dalam produksi gas metana.

Melihat kandungan senyawa dalam rumput laut yang berpotensi dimanfaatkan sebagai *feed additive* serta beberapa penelitian telah membuktikan adanya kemampuan rumput laut dalam menurunkan produksi gas metan. Oleh karena itu tujuan revidi artikel ini adalah untuk mengkaji lebih dalam potensi rumput laut sebagai *feed additive* pakan ternak ruminansia guna menurunkan produksi gas metan.

## METODE

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel revidi ini yaitu melalui studi pustaka, teknik pengambilan sumber pustaka dengan membaca buku, jurnal, dan artikel ilmiah dari internet. Selanjutnya dianalisis kajian pustaka.

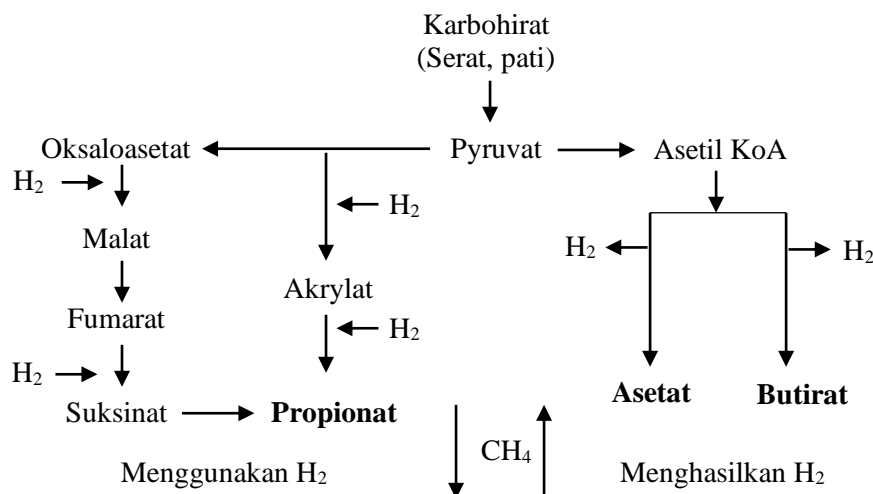
## METAN TERNAK RUMINANSIA

Ternak ruminansia menghasilkan emisi gas metan dari dua sumber yaitu fermentasi dalam saluran pencernaan (*enteric fermentation*) dan kotoran (*manure*). Produksi gas metan enterik paling banyak berada di rumen yaitu 87 sampai 90% dan di usus besar sebanyak 10-13% (Dini et al., 2012). IPCC, (2006) juga melaporkan bahwa 1 ekor sapi potong menghasilkan 47 kg emisi gas metan per tahun sementara 1 ekor sapi potong menghasilkan 61 kg emisi gas metan per tahunnya. Pembentukan gas metan terjadi di dalam rumen ternak ruminansia. Metana terbentuk secara alami sebagai akibat dari proses metanogenesis.

Selama proses tersebut mikroorganisme rumen menggunakannya sebagai sumber energi. Proses metanogenesis dilakukan oleh bakteri metanogenik dengan mereduksi CO<sub>2</sub> bersama H<sub>2</sub> dan membentuk metan kemudian di eksresikan 83% melalui eruktasi, 16% melalui pernafasan, dan 1% melalui anus (Yanuartono et al., 2019) Proses reduksi CO<sub>2</sub> oleh H<sub>2</sub> kemudian dikatalisis oleh enzim dari bakteri metanogenik sehingga terbentuk gas metan. Semakin tinggi ketersediaan hidrogen maka akan berbanding lurus dengan ketersediaan substrat pembentuk gas metana. Gas metan enterik ternak ruminansia merupakan akibat dari terjadinya proses fermentasi anaerob bahan organik pakan oleh mikroba dan menghasilkan substrat berupa CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> yang selanjutnya dimanfaatkan oleh metanogen dalam jalur reduksi. Metana yang berasal dari fermentasi enterik merupakan hasil samping dari pencernaan ruminansia dan dihasilkan oleh mikroorganisme metanogenik yaitu *Archaea* selama proses metanogenesis (Broucek, 2014). Metanogenesis merupakan mekanisme oleh rumen sebagai hasil akhir dari proses fermentasi makromolekul kimia pakan guna menghindari akumulasi hidrogen.

Ternak ruminansia melepaskan gas metan ke atmosfer dengan mengeluarkannya melalui mulut dan lubang hidung. Terdapat perbedaan konsentrasi gas yang dihasilkan selama ternak bernafas. Ternak ruminansia besar seperti sapi menghasilkan gas metan 7 sampai 9 kali lebih besar dibandingkan domba ataupun kambing (Broucek, 2014). Selain merugikan lingkungan karena efek gas rumah kaca yang dihasilkan, gas metan juga menimbulkan kerugian bagi ternak yaitu produktivitas yang tidak maksimal. Proses pencernaan komponen pakan oleh mikrobia rumen (bakteri, protozoa, dan jamur) menghasilkan asam lemak terbang (VFA) seperti asetat, propionat, dan butirat yang digunakan ternak sebagai sumber

energi (Broucek, 2014). Selama proses fermentasi terbentuk pula gas ( $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$ ) dimana gas tersebut kemudian dibuang melalui proses eruktasi. (Cassandro et al., 2013) menyatakan bahwa pada proses metabolisme mikroba menghasilkan  $\text{H}_2$  kemudian bersama  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2$  akan diubah menjadi gas metana ( $\text{CH}_4$ ). Produktivitas ternak ruminansia menjadi tidak maksimal akibat sebagian energi pakan hilang menjadi metana. Kehilangan energi pakan dalam ransum menandakan bahwa penggunaan pakan yang tidak efisien. Lebih lanjut Mayberry et al., (2019) melaporkan bahwa proses metanogenesis mengakibatkan sekitar 3 sampai 12% energi tercerna dari pakan hilang. Namun demikian proses metanogenesis sangat penting menunjang kinerja optimal rumen ternak ruminansia karena mencegah terjadinya akumulasi hidrogen yang akan menyebabkan penghambatan aktivitas dehidrogenase yang terlibat dalam oksidasi kofaktor tereduksi



Gambar 1. Pola Fermentasi Mikroba (Metabolisme  $\text{H}_2$ ) (Martin et al., 2008)

## RUMPUT LAUT DAN MEKANISMENYA DALAM MENURUNKAN METAN TERNAK RUMINANSIA

Rumput laut merupakan makro alga dan termasuk ke dalam divisi *Tallophyta* yang memiliki struktur kerangka tubuh berupa batang (*thalus*) dan tidak mempunyai daun serta akar. Ekspedisi yang dilakukan oleh Van Bosse di laut Siboga pada tahun 1899-1900 melaporkan bahwa perairan Indonesia mempunyai sumber plasma nutfah rumput laut sekitar 555 jenis dari sekitar 8000 jenis rumput laut yang ada di dunia dan dapat tumbuh dengan baik di wilayah Indonesia (Soetjipto et al., 2019). Terdapat tiga kelompok rumput laut yang berbeda yaitu alga merah (*rhodophyta*), alga hijau (*chlorophyta*), dan alga coklat (*phaeophyta*) (Min et al., 2020).

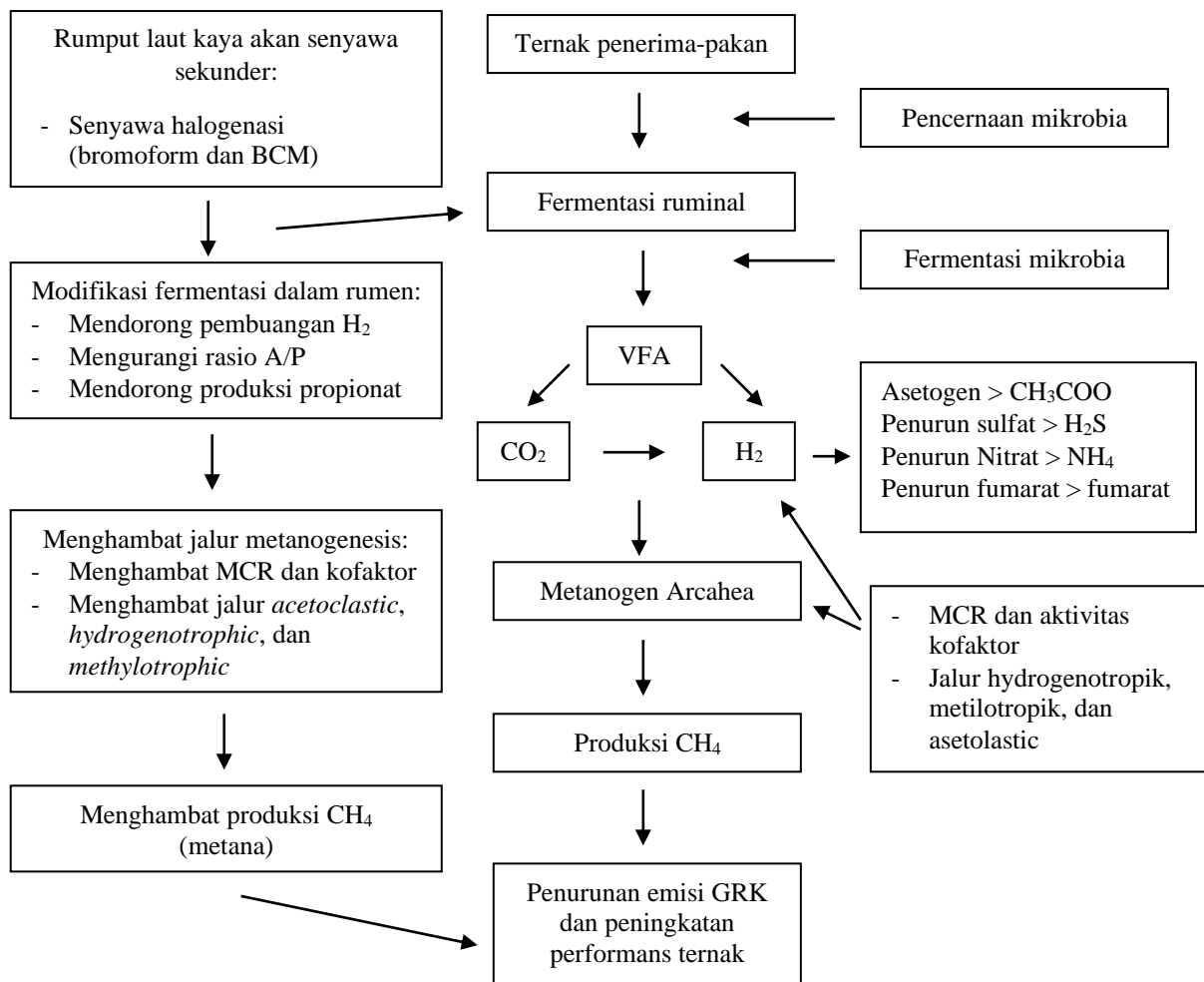
Di Indonesia terdapat 4 jenis rumput laut yang banyak dibudidayakan yaitu *Euchaeuma cottonii*, *Gracilaria sp*, *Euchaeuma spinosum*, dan *Caulerpa sp*. Indonesia telah menjadi salah satu produsen utama rumput laut basah dunia. Produksi rumput laut basah di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 10,32 juta ton (KKP, 2018). Sementara itu nilai ekspor rumput laut pada tahun 2020 mencapai 177 ribu ton (BPS, 2021a). Produksi rumput laut segar dunia melalui akuakultur mencapai lebih dari 30 juta ton pada tahun 2016 (Rao et al., 2018). Rumput laut memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai pakan ternak ruminansia, terutama pemanfaatan kandungan senyawa bioaktif rumput laut dalam menekan emisi gas

metan ternak ruminansia. Rumput laut memiliki kandungan senyawa bioaktif sekunder yang bermanfaat dalam kesejahteraan dan kesehatan ternak (Khalil et al., 2017).

Beberapa penelitian melaporkan bahwa senyawa bioaktif sekunder rumput laut terbukti memiliki kemampuan sebagai antimetanogenik (Roque et al., 2019). Rumput laut mengandung protein, karbohidrat, lemak, vitamin, mineral, minyak, dan asam amino serta senyawa sekunder lainnya (phlorotannin, iodine, dan senyawa halogenasi) (Gaillard et al., 2018 & Pirian et al., 2017). Selain itu rumput laut juga memiliki manfaat bagi kesehatan ternak karena adanya kandungan nutrisi seperti protein, asam lemak tak jenuh, dan mineral (Cian et al., 2014). Secara fitokimia umumnya rumput laut mengandung senyawa phlorotanin dan halogenasi. Alga coklat memiliki kandungan senyawa polifenol yaitu phlorotanin tertinggi sekitar 20-140 g/kg BK (Min et al., 2021). Rumput laut juga mengandung bromoform yang merupakan senyawa anti-metanogenik. Rumput laut jenis *Asparagopsis spp.* mengandung bromoform sekitar 1,32-1,72 mg/g BK. (Prayitno et al., 2019) melaporkan bahwa *Gracilaria sp.* merupakan jenis rumput laut yang mengandung senyawa halogen khususnya bromoform, tanin, dan saponin.

Berghuis et al., (2019) melaporkan bahwa bakteri *Archaea* metanogenik menggunakan satu dari ketiga jalur metanogenesis yaitu “memerlukan-hidrogen dan mengeluarkan-CO<sub>2</sub>” atau disebut hidrogenotropik, metilotropik, dan asetoklastik. Ketiganya memerlukan kelompok gen untuk menghasilkan CH<sub>4</sub> yaitu *methyl-coenzyme reductase* (MCR) (Conrad, 2009; Nagle & Wolfe, 1985). Salah satu senyawa halogenasi antara bromoform atau kloroform telah terbukti dapat menutup fungsi dari enzim corrinoid dan menghambat MCR (Oremland & Capone, 1988).

Senyawa halogen seperti bromoform merupakan senyawa anti-metanogen yang akan bereaksi dengan vitamin B12 dimana akan menghambat enzim dari metanogen untuk membentuk gas metan (Kinley et al., 2016). Denman et al., (2007) menambahkan bahwa bromoform merupakan senyawa yang berfungsi menghambat kerja bakteri metanogen secara spesifik. Bromochloromethane akan mengurangi aktivitas dari koenzim cobalamin atau vitamin B12 dan koenzim *methyl M-reductase* atau *mcrA* yang terdapat dalam DNA metanogen. Senyawa halogenasi akan menutup fungsi enzim spesifik dan menghambat kerja MCR bersama dengan *methyl group transfer* selama proses metanogenesis (Allen et al., 2014; Costa & Leigh, 2014; Hedderich & Whitman, 2013). Secara ringkas mekanisme rumput laut dalam menurunkan gas metan dapat dilihat dalam gambar 2.



Ket. Tiga jalur utama metanogenesis (*acetolastic*, *hydrogenotrophic*, *methylotrophic*). A/P: rasio asetat dan propionat. BCM: *bromochloromethane*. MCR: *methyl CoM reductase*. GRK: gas rumah kaca

Gambar 2. Skema Fermentasi Mikrobial dengan Senyawa Sekunder Tanaman (bromoform, BCM) dari Rumput Laut dan Jalur Reduksi Metana dalam Rumen. Sumber: (Min et al., 2021)

## HASIL-HASIL PENELITIAN TERDAHULU

Beberapa penelitian telah membuktikan kemampuan dan efektivitas rumput laut dalam menurunkan emisi gas metan ternak ruminansia. Pada Tabel 1. disajikan penelitian-penelitian yang telah dilakukan dan hasilnya dalam menurunkan emisi metan ternak ruminansia baik secara *in vitro* maupun *in vivo*.

Tabel 1. Pemanfaatan Rumput Laut Menurunkan Produksi Gas Metan

Jenis Ternak	Perlakuan	Produksi Gas Metan	Referensi (sumber)
Sapi Perah	0,5 – 1 % <i>Asparagopsis armata</i> (BO)	Menurun 50% (15,0 > 7,5 g/kg BK)	(Roque et al., 2019)
Pejantan sapi potong	0,05 – 0,2 % <i>Asparagopsis taxiformis</i> (BO)	Menurun 98% (10,4 > 0,2 g/kg BK)	(Kinley et al., 2020)
Domba	0,5 – 3 % <i>Asparagopsis taxiformis</i> (BO)	Menurun 80,7% (15,0 > 2,9 g/kg BK)	(Li et al., 2018)
Kambing perah	0 – 0,3 % Bromochloromethane	Menurun 33% (29,9 > 19,9 g/kg BK)	(Abecia et al., 2012)
Sapi Perah	0,5 % <i>Asparagopsis taxiformis</i>	Menurun 29% (13,9 > 9,8 g/kg BK)	(Stefenoni et al., 2021)
Sapi Perah	113 g/hari <i>Ascophyllum nodosum</i>	Menurun 9% (22,6 > 20,6 g/kg BK)	(Antaya et al., 2019)
<i>In Vitro</i>	2% <i>Gracilaria sp.</i>	Menurunkan 49%	(Prayitno et al., 2019)
<i>In Vitro</i>	4% <i>Euchaeuma cottonii</i>	Menurun 14% (21,61 > 18,49 mM)	(Hikmawan et al., 2019)

## KESIMPULAN

Rumput laut terbukti mengandung berbagai senyawa yang memiliki kemampuan dalam menurunkan produksi gas metan ternak ruminansia. Pemanfaatan rumput laut sebagai *feed additive* perlu dioptimalkan sejalan dengan penelitian-penelitian terbaru yang masih terus berlangsung saat ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abecia, L., Toral, P. G., Martín-García, A. I., Martínez, G., Tomkins, N. W., Molina-Alcaide, E., Newbold, C. J., & Yáñez-Ruiz, D. R. (2012). Effect of bromochloromethane on methane emission, rumen fermentation pattern, milk yield, and fatty acid profile in lactating dairy goats. *Journal of Dairy Science*, *95*(4), 2027–2036. <https://doi.org/10.3168/JDS.2011-4831>
- Allen, K. D., Wegener, G., & White, R. H. (2014). Discovery of multiple modified F430 coenzymes in methanogens and anaerobic methanotrophic archaea suggests possible new roles for F430 in nature. *Applied and Environmental Microbiology*, *80*(20), 6403–6412. <https://doi.org/10.1128/AEM.02202-14>
- Antaya, N. T., Ghelichkhan, M., Pereira, A. B. D., Soder, K. J., & Brito, A. F. (2019). Production, milk iodine, and nutrient utilization in Jersey cows supplemented with the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* (kelp meal) during the grazing season. *Journal of Dairy Science*, *102*(9), 8040–8058. <https://doi.org/10.3168/JDS.2019-16478>
- Berghuis, B. A., Yu, F. B., Schulz, F., Blainey, P. C., Woyke, T., & Quake, S. R.



- (2019). Hydrogenotrophic methanogenesis in archaeal phylum Verstraetearchaeota reveals the shared ancestry of all methanogens. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(11), 5037–5044. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1815631116/-DCSUPPLEMENTAL>
- BPS. (2021a). *Ekspor Rumput Laut dan Ganggang Lainnya menurut Negara Tujuan Utama, 2012-2020*. <https://www.bps.go.id/statictable/2019/02/25/2025/ekspor-rumput-laut-dan-ganggang-lainnya-menurut-negara-tujuan-utama-2012-2020.html>
- BPS. (2021b). *Populasi Sapi Potong menurut Provinsi (Ekor), 2019-2021*. <https://www.bps.go.id/indicator/24/469/1/populasi-sapi-potong-menurut-provinsi.html>
- Broucek, J. (2014). Production of Methane Emissions from Ruminant Husbandry: A Review. *Review. Journal of Environmental Protection*, 5, 1482–1493. <https://doi.org/10.4236/jep.2014.515141>
- Caro, D., Davis, S. J., Bastianoni, S., & Caldeira, K. (2014). Global and regional trends in greenhouse gas emissions from livestock. *Climatic Change*, 126(1–2), 203–216. <https://doi.org/10.1007/S10584-014-1197-X>
- Cassandro, M., Mele, M., & Stefanon, B. (2013). Genetic aspects of enteric methane emission in livestock ruminants. *Italian Journal of Animal Science*, 12(3), 450–458. <https://doi.org/10.4081/IJAS.2013.E73>
- Cian, R. E., Fajardo, M. A., Alaiz, M., Vioque, J., González, R. J., & Drago, S. R. (2014). Chemical composition, nutritional and antioxidant properties of the red edible seaweed *Porphyra columbina*. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65(3), 299–305. <https://doi.org/10.3109/09637486.2013.854746>
- Conrad, R. (2009). The global methane cycle: recent advances in understanding the microbial processes involved. *Environmental Microbiology Reports*, 1(5), 285–292. <https://doi.org/10.1111/J.1758-2229.2009.00038.X>
- Costa, K. C., & Leigh, J. A. (2014). Metabolic versatility in methanogens. *Current Opinion in Biotechnology*, 29(1), 70–75. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2014.02.012>
- Denman, S. E., Tomkins, N. W., & McSweeney, C. S. (2007). Quantitation and diversity analysis of ruminal methanogenic populations in response to the antimethanogenic compound bromochloromethane. *FEMS Microbiology Ecology*, 62(3), 313–322. <https://doi.org/10.1111/J.1574-6941.2007.00394.X>
- Dini, Y., Gere, J., Briano, C., Manetti, M., Juliarena, P., Picasso, V., Gratton, R., & Astigarraga, L. (2012). Methane Emission and Milk Production of Dairy Cows Grazing Pastures Rich in Legumes or Rich in Grasses in Uruguay. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 2(2), 288. <https://doi.org/10.3390/ANI2020288>
- El-Baroty, G. S., Moussa, M. Y., Shallan, M. a., Ali, M. a., Sabh, a. Z., Shalaby, E. a., 41, 1 3, & 1Department. (2007). Contribution to the Aroma , Biological Activities , Minerals , Protein , Pigments and Lipid Contents of the Red Alga : *Asparagopsis taxiformis* ( Delile ) Trevisan. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(12), 1825–1834.
- Gaillard, C., Bhatti, H. S., Novoa-Garrido, M., Lind, V., Roleda, M. Y., & Weisbjerg, M. R. (2018). Amino acid profiles of nine seaweed species and their in situ degradability in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 241, 210–222. <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2018.05.003>
- Hedderich, R., & Whitman, W. B. (2013). Physiology and biochemistry of the

- methane-producing archaea. *The Prokaryotes: Prokaryotic Physiology and Biochemistry*, 635–662. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-30141-4\\_81/COVER/](https://doi.org/10.1007/978-3-642-30141-4_81/COVER/)
- Hidayah, N. (2016). Pemanfaatan Senyawa Metabolit Sekunder Tanaman (Tanin dan Saponin) dalam Mengurangi Emisi Metan Ternak Ruminansia. *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*, 11(2), 89–98. <https://doi.org/10.31186/JSPI.ID.11.2.89-98>
- Hikmawan, D., Erwanto, Muhtarudin, & Fathul, F. (2019). PENGARUH SUBSTITUSI RUMPUT LAUT (*Eucheuma cottonii*) DALAM PAKAN RUMPUT GAJAH (*Pennisetum purpureum*) TERHADAP KONSENTRASI VFA PARSIAL DAN ESTIMASI PRODUKSI GAS METANA SECARA IN-VITRO. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 3(April), 12–18.
- Indradjad, A., & Salyasari, N. (2017). Sistem Informasi Gas Rumah Kaca dari Data ATMS dan CrIS S-NPP Berbasis Google Earth. *Prosiding SNSA*, 1–6. [http://wiki-pustekdata.lapan.go.id/litbangyasa/publikasi/Makalah/2017/Makalah-Teksista-SNSA2017\\_AndyCS\\_LAPAN\\_Sistem Informasi Gas Rumah Kaca dari Data ATMS dan CrIS S-NPP berbasis Google Earth.pdf](http://wiki-pustekdata.lapan.go.id/litbangyasa/publikasi/Makalah/2017/Makalah-Teksista-SNSA2017_AndyCS_LAPAN_Sistem%20Informasi%20Gas%20Rumah%20Kaca%20dari%20Data%20ATMS%20dan%20CrIS%20S-NPP%20berbasis%20Google%20Earth.pdf)
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Khalil, A., Khalil, H. P. S. A., Tye, Y. Y., Chow, S. T., Saurabh, C. K., Tahir, P. M., Dungani, R., & Syakir, M. I. (2017). Fiber in seaweed film. *BioResources*, 12(1), 29–42.
- Kinley, R. D., Martinez-Fernandez, G., Matthews, M. K., de Nys, R., Magnusson, M., & Tomkins, N. W. (2020). Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120836. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120836>
- Kinley, R. D., Nys, R. De, Vucko, M. J., & Machado, L. (2016). The red macroalgae *Asparagopsis taxiformis* is a potent natural antimethanogenic that reduces methane production during in vitro fermentation with rumen fluid TROPICS (Tropical Research on Oil Pollution in Coastal Systems) View project Evolution and ecolog. *Animal Production Science*, 56, 282–289. <https://doi.org/10.1071/AN15576>
- KKP. (2018). *Volume Produksi Rumput Laut di Indonesia berdasarkan Propinsi Tahun 2014 -2018*. <https://satudata.kkp.go.id/>
- Li, X., HC, N., RD, K., M, L., M, W., H, B., & N., T. (2018). *Asparagopsis taxiformis* decreases enteric methane production from sheep. *Anim Prod Sci*, 58, 681.
- Mayberry, D., Bartlett, H., Moss, J., Davison, T., & Herrero, M. (2019). Pathways to carbon-neutrality for the Australian red meat sector. *Agricultural Systems*, 175, 13–21. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2019.05.009>
- McConnell, O., & Fenical, W. (1977). Halogen chemistry of the red alga *Asparagopsis*. *Phytochemistry*, 16(3), 367–374. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(77\)80067-8](https://doi.org/10.1016/0031-9422(77)80067-8)
- Min, B. R., Parker, D., Brauer, D., Waldrip, H., Lockard, C., Hales, K., Akbay, A., & Augyte, S. (2021). The role of seaweed as a potential dietary supplementation for enteric methane mitigation in ruminants: Challenges and opportunities. *Animal Nutrition*, 7(4), 1371–1387. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2021.10.003>
- Min, B. R., Solaiman, S., Waldrip, H. M., Parker, D., Todd, R. W., & Brauer, D. (2020). Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants:

- A review of plant tannin mitigation options. *Animal Nutrition*, 6(3), 231–246. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2020.05.002>
- Nagle, D. P., & Wolfe, R. S. (1985). Methanogenesis. *Compr Biotech, The Princip, Appl and Regul of Biotechnol in Ind, Agric and Med*, 1, 288–314. <https://doi.org/10.1128/9781555815516.CH13>
- Oremland, R. S., & Capone, D. G. (1988). Use of “specific” inhibitors in biogeochemistry and microbial ecology. 10, 285–383. [https://doi.org/10.1007/978-1-4684-5409-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-5409-3_8)
- Pachauri, R. K. ., Allen, M. R. ., Barros, V. R. ., Broome, J. ., Cramer, W. ., Christ, R. ., Church, J. A. ., Clarke, L. ., Dahe, Q. ., Dasgupta, P. ., & et al. (2015). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)
- Patra, A. K. (2012). Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(4), 1929–1952. <https://doi.org/10.1007/S10661-011-2090-Y>
- Pirian, K., Jeliani, Z. Z., Sohrabipour, J., Arman, M., Faghihi, M. M., & Yousefzadi, M. (2017). Nutritional and Bioactivity Evaluation of Common Seaweed Species from the Persian Gulf. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science 2017 42:4*, 42(4), 1795–1804. <https://doi.org/10.1007/S40995-017-0383-X>
- Prayitno, C. H., Utami, F. K., Nugroho, A., & Widyastuti, T. (2019). The effect of seaweed (*Gracilaria* sp.) supplementation in sheep feed on methanogenesis inhibition in vitro. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 247(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/247/1/012069>
- Rao, P. V. S., Periyasamy, C., Kumar, K. S., Rao, A. S., & Ananth, P. (2018). Seaweeds: Distribution, Production and Uses. *BIOPROSPECTING OF ALGAE-2018, November*, 59–78.
- Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., & Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145–163. <https://doi.org/10.1016/J.CRM.2017.02.001>
- Roque, B. M., Salwen, J. K., Kinley, R., & Kebreab, E. (2019). Inclusion of *Asparagopsis armata* in lactating dairy cows’ diet reduces enteric methane emission by over 50 percent. *Journal of Cleaner Production*, 234, 132–138. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.193>
- Soetjipto, W., Andriansyah, R., Rati Afina Qurrata A’yun, Setiadi, T., Susanto, H., Solah, A., Hasan, U., Khaerawati, U., Aryshandy, C., Moriansyah, L., Purnama, N. D., Wahyuni, S., Horida, E., & Indra Kurnia. (2019). *Peluang Usaha dan Investasi Rumput Laut* (M. M. . Indra Nurcahyo Sjarif, S.Si. (ed.)). DIREKTORAT USAHA DAN INVESTASI DITJEN PENGUATAN DAYA SAING PRODUK KELAUTAN DAN PERIKANAN KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN. [https://kkp.go.id/an-component/media/upload-gambar-pendukung/A\\_PDS2/Usaha dan Investasi/Peluang Berdasarkan Komoditas/Rumput Laut \(2019\).pdf](https://kkp.go.id/an-component/media/upload-gambar-pendukung/A_PDS2/Usaha%20dan%20Investasi/Peluang%20Berdasarkan%20Komoditas/Rumput%20Laut%20(2019).pdf)
- Stefenoni, H. A., Räisänen, S. E., Cueva, S. F., Wasson, D. E., Lage, C. F. A., Melgar, A., Fetter, M. E., Smith, P., Hennessy, M., Vecchiarelli, B., Bender, J., Pitta, D., Cantrell, C. L., Yarish, C., & Hristov, A. N. (2021). Effects of the macroalga *Asparagopsis taxiformis* and oregano leaves on methane

emission, rumen fermentation, and lactational performance of dairy cows.  
*Journal of Dairy Science*, 104(4), 4157–4173.  
<https://doi.org/10.3168/JDS.2020-19686>

Yanuartono, Y., Nururrozi, A., Indarjulianto, S., & Purnamaningsih, H. (2019). Peran Protozoa pada Pencernaan Ruminansia dan Dampak Terhadap Lingkungan. *TERNAK TROPIKA Journal of Tropical Animal Production*, 20(1), 16–28.  
<https://doi.org/10.21776/ub.jtapro.2019.020.01.3>