

ASPEK LINGKUNGAN DALAM SISTEM PETERNAKAN TERPADU



Dr. Ir. Nancy W. H. Tuwaidan, MP



Penerbit
**CV. PATRA MEDIA GRAFINDO
BANDUNG**

E-Book

ASPEK LINGKUNGAN DALAM SISTEM PETERNAKAN TERPADU

Dr. Ir. Nancy W. H. Tuwaidan, MP

Editor : Prof. Dr. Ir. Selvie D. Anis, MS



Penerbit

CV. PATRA MEDIA GRAFINDO BANDUNG

2022

ASPEK LINGKUNGAN DALAM SISTEM PETERNAKAN TERPADU

Penulis : Dr. Ir. Nancy W. H. Tuwaidan, MP

Editor : Prof. Dr. Ir. Selvie D. Anis, MS

Rancang Sampul : Joel D. Gijoh

Editing & Layout, desain cover: Tim Patra Media

Hak Cipta @ pada Penulis Dilindungi (All right reserved)

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak buku ini sebagian atau seluruhnya, dalam bentuk dan dengan cara apapun juga, baik secara mekanis maupun elektronis, termasuk fotocopy, rekaman dan lain-lain tanpa izin tertulis dari penulis.



**Penerbit
CV. PATRA MEDIA GRAFINDO
BANDUNG**

Jl. Jend. Sudirman no. 736 - Bandung
Jl. Rorojonggrang Utara II B-10/16 Pharmino
Telp/Fax: 022-6040938 HP: 081214466604
email: patramedia@gmail.com
website: www.patramedia.co.id

Anggota IKAPI

Jenis cetakan : e-book

Tahun publish : Desember 2022

ISBN 978-623-177-045-5 (PDF)



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karuniaNya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku Aspek Lingkungan Dalam Sistem Peternakan Terpadu.

Aspek lingkungan dalam suatu sistem peternakan terpadu sangatlah penting untuk dikaji karena bukan saja fokus pada pengaruh lingkungan terhadap ternak tetapi bagaimana ternak berkontribusi terhadap perubahan iklim dengan melepaskan gas rumah kaca yang berdampak terhadap perubahan lingkungan. Disamping itu emisi metan ruminansia tidak hanya merupakan bahaya lingkungan tetapi juga hilangnya produktivitas, karena metan mewakili hilangnya sejumlah karbon dari rumen.

Buku ini berisikan materi Pentingnya sektor peternakan untuk ketahanan pangan, Perubahan Iklim, Emisi gas rumah kaca sektor peternakan, dan Mitigasi emisi gas rumah kaca sektor peternakan.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyempurnaan buku ini.

Desember 2022

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
Daftar Tabel	iv
Daftar Gambar	v
BAB I. Pentingnya sektor peternakan untuk ketahanan pangan.	1
1.1. Pendahuluan.....	1
1.2. Ketahanan Pangan dan Gizi.....	2
1.3. Kontribusi Terhadap Ketahanan Pangan.....	6
BAB II. Perubahan Iklim	8
2.1. Pendahuluan.....	8
2.2. Gas Rumah Kaca	11
2.3. Perubahan Iklim di Asia dan Pasifik.....	13
2.4. Perubahan Iklim Mempengaruhi Ternak	14
2.4.1. Kuantitas dan kualitas pakan	17
2.4.2. Air	18
2.4.3. Penyakit ternak	18
2.4.4. Stres panas	20
2.4.5. Keanekaragaman hayati	25
2.5. Pengaruh Peternakan pada Perubahan Iklim	26
2.6. Adaptasi Ternak Terhadap Perubahan Iklim	37
2.7. Dampak Perubahan Bahan Iklim yang Diamati dan Diproyeksikan Pada Sistem Pertanian	40
BAB III. Emisi gas rumah kaca sektor peternakan.....	43
3.1. Pendahuluan.....	43
3.2. Emisi Enterik Metan dari Ternak dan Ruminansia Liar.....	45
3.3. Emisi Manure Peternakan	46

BAB IV. Mitigasi emisi gas rumah kaca sektor peternakan	52
4.1. Pendahuluan	52
4.2. Sistem Pengukuran Emisi	53
4.3. Mitigasi Emisi CH ₄ dari Fermentasi Enterik Melalui Peningkatan Efisiensi Pakan.....	56
4.4. Aditif Pakan	58
4.5. Senyawa Bioaktif Tumbuhan.....	59
4.6. Jenis Pakan Kualitas dan Manajemen.....	60
4.7. Mitigasi Emisi CH ₄ Melalui Pengolahan Pupuk Kandang dan Biogas	64
4.8. Penyerapan Karbon	71
Daftar Pustaka.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Gas Rumah Kaca, Potensi Pemanasan dan Umur Gas Rumah Kaca	13
Tabel 2. Dampak langsung dan tidak langsung dari perubahan iklim pada sistem produksi ternak.....	16

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses global perubahan iklim dan efeknya pada Pertanian	10
Gambar 2. Efek rumah kaca.....	12
Gambar 3. Emisi gas rumah kaca masing-masing ternak	28
Gambar 4. Sumber utama emisi peternakan	37

BAB I

PENTINGNYA SEKTOR PETERNAKAN UNTUK KETAHANAN PANGAN

I.1. Pendahuluan

Aspek lingkungan dari Sistem Peternakan Terpadu merupakan suatu acuan bagi mahasiswa Strata 1 yang mengambil mata kuliah Sistem Peternakan Terpadu. Mata kuliah ini merupakan mata kuliah wajib yang harus ditempuh dengan beban kredit 3 SKS. Tujuan penulisan buku ini adalah untuk membekali mahasiswa dengan mengetahui aspek lingkungan yang saling mempengaruhi dalam suatu sistem peternakan secara terpadu.

Pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang cepat serta perubahan pola makan dan meningkatnya standar hidup global telah mengakibatkan meningkatnya permintaan global akan produk ternak, dengan dampak negatif terhadap perubahan iklim. Organisasi Pangan sedunia (FAO) memperkirakan bahwa pada tahun 2050, sekitar 50 persen akan membutuhkan makanan yang lebih banyak, terutama di negara-negara berkembang. Peningkatan suhu, peningkatan variabilitas iklim, dan kejadian cuaca ekstrem yang lebih sering dan parah, semuanya mengancam sistem produksi ternak. Sementara itu, total luas lahan budidaya global tidak berubah sejak tahun 1991, yang mencerminkan peningkatan produktivitas dan upaya intensifikasi Rojas-Downing et al. (2017).

Produksi ternak akan dibatasi oleh variabilitas iklim karena konsumsi air hewan diperkirakan akan meningkat, permintaan akan lahan pertanian meningkat karena kebutuhan akan pertumbuhan produksi sebesar 70%, dan masalah ketahanan pangan karena sekitar sepertiga dari panen sereal global digunakan untuk pakan ternak. Sementara itu, sektor peternakan menyumbang 14,5% emisi gas rumah kaca (GRK) global, mendorong perubahan iklim lebih lanjut. Konsekuensinya, sektor

peternakan akan menjadi pemain kunci dalam mitigasi emisi GRK dan meningkatkan ketahanan pangan global.

Sektor peternakan merupakan kontributor utama pada perubahan iklim, menghasilkan emisi yang signifikan dari karbon dioksida (CO₂), metan (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O). Diperkirakan bahwa sektor ini mengeluarkan sekitar 7,1 giga ton setara CO₂ (CO₂eq.), sekitar 18 persen dari total emisi gas rumah kaca (GRK) antropogenik (FAO, 2006). Bagian utama emisi GRK berasal dari fermentasi enterik dan pengelolaan pupuk kandang.

Efek perubahan iklim akan bervariasi menurut wilayah, negara, dan lokasi. Peningkatan suhu, peningkatan variabilitas iklim dan kejadian cuaca ekstrim yang lebih sering dan parah semuanya mengancam produksi pangan dan mata pencaharian petani kecil. Buku ini membahas hubungan antara perubahan iklim dan sektor peternakan dari sudut pandang teknis. Betapa pentingnya sektor peternakan untuk ketahanan pangan, serta bagaimana hal itu dapat beradaptasi dengan perubahan iklim dan menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang berkaitan dengan sektor tersebut.

I.2. Ketahanan Pangan dan Gizi

Laporan Penilaian Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Keempat (2007) dan Kelima (2014) menghasilkan temuan utama: tentang proyeksi dampak iklim pada tanaman pangan utama dunia dan ketahanan pangan global; berbagai kerentanan masyarakat perdesaan di negara berkembang; kompleksitas dampak yang mereka alami dan yang akan dialami serta kesulitan besar dalam cara mengatasinya.

Sektor peternakan memainkan peran penting dalam ketahanan pangan global karena, memasok sekitar 13% - 17% kalori dan 28% - 33% konsumsi protein, secara global. Peternakan di negara-negara berkembang, terutama peternak skala kecil, dicirikan oleh penyediaan berbagai manfaat, seperti meningkatkan mata pencaharian bagi masyarakat miskin perdesaan, menjadi sumber nutrisi langsung, tenaga angin, pemupukan, bahan bakar rumah tangga, serat, penyimpanan kekayaan, status sosial,

identitas budaya, pengendalian serangga dan gulma, dan sebagai penyangga terhadap gagal panen. Manfaat protein hewani bagi orang miskin sangat relevan. Di negara-negara industri sebaliknya, produksi ternak lebih mungkin dilakukan oleh perusahaan skala besar yang terstruktur untuk menghasilkan komoditas tunggal, umumnya daging atau susu. Pasokan barang dan jasa yang disediakan oleh ternak disertai dengan penggunaan yang berkelanjutan dan dalam beberapa kasus degradasi sumber daya alam. Diperkirakan bahwa 26% wilayah terestrial bebas es di dunia dikhususkan untuk padang rumput dan 33% lahan pertanian digunakan untuk produksi tanaman pakan. Sektor peternakan menyumbang 80% dari lahan pertanian dan 8% dari penggunaan air manusia, sebagian besar untuk irigasi tanaman pakan. Selain itu, manusia mengambil 24% dari potensi produktivitas primer bersih dunia dimana 58% dikhususkan untuk peternakan. Tingkat aktivitas global yang tinggi ini terutama tercermin dalam tingginya tingkat emisi GRK. Sebanyak 80% dari emisi non-CO₂ pertanian disebabkan oleh peternakan sementara sektor peternakan diperkirakan berkontribusi sekitar 9% - 25% dari emisi antropogenik. Dengan asumsi bahwa emisi GRK diperkirakan akan meningkat di seluruh dunia pada tahun-tahun mendatang, sangat penting untuk memeriksa dalam kondisi apa sektor peternakan dapat memberikan kontribusi terbaik untuk mengurangi emisi bersih. Selain itu perlu dipertimbangkan bahwa sektor peternakan rentan terhadap perubahan iklim dan perlu beradaptasi dengan mereka. Dalam contoh kelompok manusia yang rentan di daerah perdesaan yang disoroti dalam IPCC AR5 WGII, dua di antaranya bergantung pada ternak – penggembala dan petani pegunungan. Strategi adaptasi potensial telah diidentifikasi, tetapi bahkan jika diterapkan sepenuhnya, kemungkinan masih ada kerentanan sisa yang cukup besar sehingga adaptasi lebih lanjut perlu dikembangkan (Rivera-Ferre et al, 2016).

Organisasi pangan sedunia menyatakan bahwa ketahanan pangan tercipta ketika “semua orang, setiap saat, memiliki akses fisik dan ekonomi terhadap pangan yang cukup, aman dan bergizi

untuk memenuhi kebutuhan nutrisi dan preferensi makanan mereka untuk kesehatan dan hidup aktif” (FAO, 1996 World Summit). Peternakan memainkan peran penting dalam ketahanan pangan, berkontribusi terhadap asupan kalori dan protein global, memasok sekitar 33 persen protein dunia yang dikonsumsi. Produk peternakan akan terus dikonsumsi dalam jumlah yang semakin meningkat. Daging, susu, dan telur, dalam jumlah yang tepat, merupakan sumber berharga dari protein lengkap dan mudah dicerna serta zat gizi mikro esensial. Bahkan sejumlah kecil makanan hewani dalam makanan anak-anak tidak hanya meningkatkan perkembangan fisik mereka tetapi juga kemampuan kognitif dan belajar mereka.

Produksi dan pemasaran ternak dapat membantu menstabilkan pasokan makanan dan menyediakan penyangga bagi individu dan masyarakat terhadap guncangan ekonomi dan bencana alam. Ternak ruminansia dapat meningkatkan keseimbangan protein manusia dunia dengan mengubah protein yang tidak dapat dimakan yang ditemukan dalam hijauan menjadi produk yang dapat dimakan berupa daging dan susu.

Produk peternakan merupakan komoditas pertanian yang penting bagi ketahanan pangan global karena menyediakan 17% dari kebutuhan global konsumsi kilokalori dan 33% dari konsumsi protein global. Sektor peternakan berkontribusi pada penghidupan satu miliar penduduk termiskin di dunia dan mempekerjakan hampir 1,1 miliar orang. Ada permintaan yang meningkat untuk produk ternak, dan pertumbuhannya yang cepat di negara-negara berkembang telah dianggap sebagai “revolusi peternakan”. Produksi susu di seluruh dunia diperkirakan akan meningkat dari 664 juta ton (pada tahun 2006) menjadi 1077 juta ton (pada tahun 2050), dan produksi daging akan berlipat ganda dari 258 menjadi 455 juta ton. Produksi ternak kemungkinan akan terpengaruh oleh perubahan iklim, persaingan untuk tanah dan air, dan ketahanan pangan pada saat yang paling dibutuhkan Rojas-Downing (2017).

Sekitar 842 juta orang, satu dari delapan orang di seluruh dunia, kelaparan antara tahun 2011 dan 2013, tidak menerima cukup makanan untuk mempertahankan kehidupan yang aktif dan

sehat (FAO, 2013). Ternak berkontribusi besar terhadap ketahanan pangan karena: (1) merupakan pemasok kalori, protein, dan mikronutrien esensial global, (2) diproduksi di daerah yang sulit bercocok tanam, (3) sebagian besar pakan ternak tidak sesuai untuk konsumsi manusia, dan (4) menyediakan pupuk kandang untuk produksi tanaman. Namun, ada juga kekhawatiran bahwa produksi ternak merugikan ketahanan pangan.

Pertama, penggunaan biji-bijian sebagai pakan dalam produksi ternak menjadi perhatian dunia karena diproduksi untuk pakan ternak dan bukan untuk konsumsi manusia. Misalnya, pada tahun 2002, sepertiga dari panen sereal global digunakan sebagai pakan ternak. Sebagian besar pakan ternak berasal dari rumput dan hijauan kacang-kacangan yang tumbuh di lahan yang tidak cocok untuk pertanian, dan di banyak negara ternak tidak menerima suplemen sereal. Di daerah-daerah tersebut, ternak merupakan kontributor positif bagi ketahanan pangan. Perdebatan terjadi di daerah di mana ternak digembalakan di daerah yang sangat cocok untuk pertanian, atau di mana mereka diberi makan suplemen sereal dalam jumlah besar. Kedua, perubahan iklim, sebagian besar melalui peningkatan suhu, dapat menurunkan asupan nutrisi yang dapat dicerna. Oleh karena itu, produksi ternak dapat menurun melalui penurunan kualitas hijauan dan kuantitas dan/atau dengan mengurangi konsumsi pakan ternak. Kedua faktor tersebut mempengaruhi produksi ternak karena ternak akan menggunakan nutrisi yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan fisiologisnya, kemudian untuk pertumbuhan atau produksi susu, dan terakhir untuk reproduksi. Ketiga, perubahan iklim juga mempengaruhi kandungan gizi produk ternak karena potensi peningkatan patogen dan penyakit dalam makanan mereka dan efek pada hewan itu sendiri. Ketika patogen dan penyakit baru muncul dan menyebar, penggunaan pestisida dan kedokteran hewan akan berubah, akibatnya mengubah proses transfer utama kontaminan lingkungan ke makanan. Produksi ternak yang berkelanjutan membutuhkan lebih banyak penelitian, penyuluhan, dan demonstrasi. Ternak adalah kontributor penting untuk ketahanan pangan, tetapi penting untuk mempertahankan konversi sumber daya alam menjadi

makanan manusia yang efisien untuk mempertahankan keseimbangan makanan. Hal ini dapat dicapai melalui produksi protein yang efisien dari ternak. Namun, perubahan iklim akan mempengaruhi konversi ini dengan mempengaruhi kandungan gizi produk ternak dan menurunkan produksi ternak. Saat ini, pendekatan terbaik sektor peternakan untuk berkontribusi pada ketahanan pangan adalah dengan mengutamakan keseimbangan pangan.

I.3. Kontribusi Terhadap Ketahanan Pangan

Ternak memberikan kontribusi yang diperlukan dan penting untuk pasokan kalori serta protein global. Namun ternak perlu dikelola dengan hati-hati untuk memaksimalkan kontribusi ini. Sementara produk ternak tidak mutlak penting untuk diet manusia, mereka dihargai dan akan terus dikonsumsi dalam jumlah yang meningkat. Daging, susu, dan telur dalam jumlah yang tepat merupakan sumber berharga dari protein lengkap dan mudah dicerna serta mikronutrien esensial.

Ternak dapat meningkatkan keseimbangan protein dunia yang dapat dimakan dengan mengubah protein yang tidak dapat dimakan yang ditemukan dalam hijauan menjadi bentuk yang dapat dicerna manusia. Di sisi lain, ternak juga dapat mengurangi keseimbangan protein layak konsumsi global dengan mengonsumsi sejumlah besar protein layak konsumsi yang ditemukan dalam biji-bijian sereal dan kedelai dan mengubahnya menjadi sejumlah kecil protein hewani. Pilihan sistem produksi dan praktik manajemen yang baik penting untuk mengoptimalkan luaran protein dari ternak. Produksi dan pemasaran ternak dapat membantu menstabilkan pasokan makanan dan menyediakan penyangga bagi individu dan masyarakat terhadap guncangan ekonomi dan bencana alam. Namun, pasokan makanan dari ternak dapat menjadi tidak stabil, terutama karena wabah penyakit.

Akses terhadap pangan yang berasal dari ternak dipengaruhi oleh pendapatan dan kebiasaan masyarakat. Akses ke ternak sebagai sumber pendapatan, dan karenanya makanan, juga tidak merata. Dinamika gender berperan dalam ketidaksetaraan ini,

terutama di komunitas penggembala dan petani skala kecil, di mana rumah tangga yang dikepalai perempuan cenderung memiliki sumber daya yang lebih sedikit dan akibatnya memiliki ternak yang lebih sedikit dan lebih kecil, dan dalam keluarga di mana pengelolaan peternakan yang lebih besar dan lebih komersial sering dilakukan. dikendalikan oleh laki-laki. Masalah-masalah ini tidak hanya terjadi pada ternak, tetapi lazim di antara produsen dan konsumen produk ternak.

BAB II

PERUBAHAN IKLIM

2.1. Pendahuluan

Perubahan iklim penting bagi pertanian, dan begitu sebaliknya. Lahan pertanian menempati lebih dari sepertiga luas daratan bumi (Smith et al., 2008). Pertanian adalah andalan banyak ekonomi negara berkembang, dan mata pencaharian jutaan orang. IPCC (2014) mendefinisikan perubahan iklim sebagai "setiap perubahan iklim dari waktu ke waktu, baik karena variabilitas alam atau akibat aktivitas manusia. Konsensus yang dikonfirmasi oleh IPCC, adalah bahwa pengaruh manusia telah terdeteksi dalam perubahan pada banyak parameter iklim, dan bahwa sangat mungkin pengaruh manusia telah menjadi penyebab dominan dari pemanasan yang diamati sejak pertengahan abad ke-20.

Sejak 2008, masalah perubahan iklim telah menjadi semakin besar dalam perdebatan tentang pertanian dan pembangunan perdesaan, serta pertanian telah tampil lebih kuat dalam diskusi tentang perubahan iklim. Untuk memahami sepenuhnya perubahan iklim, penting untuk membedakan antara istilah cuaca, iklim, variabilitas iklim, perubahan iklim, dan pemanasan global.

Cuaca adalah keadaan kondisi atmosfer pada suatu tempat dan waktu tertentu. Aspek cuaca yang paling umum dirasakan oleh semua orang di siang hari dan termasuk hujan, kelembapan, angin, sinar matahari, mendung dan suhu, tetapi juga kejadian ekstrem seperti tornado, kekeringan, dan siklon tropis. Cuaca bersifat dinamis dan dapat berubah dalam waktu singkat, bahkan dalam hari yang sama.

Iklim adalah seperangkat kondisi cuaca yang berlaku di suatu daerah dalam waktu yang lama, biasanya tiga dekade berturut-turut (IPCC, 2007). Beberapa faktor berkontribusi pada definisi iklim, termasuk suhu dan curah hujan rata-rata jangka panjang, tetapi juga jenis, frekuensi, durasi, dan intensitas peristiwa cuaca seperti gelombang panas, musim dingin, badai, banjir, dan kekeringan.

Variabilitas iklim adalah fluktuasi alami dalam iklim, termasuk perubahan di atas dan di bawah keadaan rata-rata. Misalnya, jika kita mempertimbangkan curah hujan pada periode tertentu di wilayah tertentu di dunia, variabilitasnya bisa rendah, artinya tidak banyak perbedaan kuantitas atau waktu hujan dari satu tahun ke tahun lainnya. Di wilayah lain, mungkin terdapat variabilitas yang tinggi, menunjukkan bahwa kuantitas curah hujan berubah dari jauh di bawah rata-rata menjadi jauh di atas rata-rata dari tahun ke tahun, dan waktunya tidak dapat diprediksi. Variabilitas iklim mempengaruhi kondisi cuaca, termasuk aktivitas dan suhu siklon, serta curah hujan.

Dalam beberapa kasus, pola kondisi cuaca dapat bervariasi dalam siklus alami. Fluktuasi ini bergerak di antara dua keadaan pusat dan menghasilkan dampak lokal dan jauh. El Niño-Southern Oscillation (ENSO) adalah contoh variasi periodik di mana interaksi antara atmosfer dan lautan di Pasifik tropis pada akhirnya memengaruhi variabilitas iklim di banyak bagian dunia.

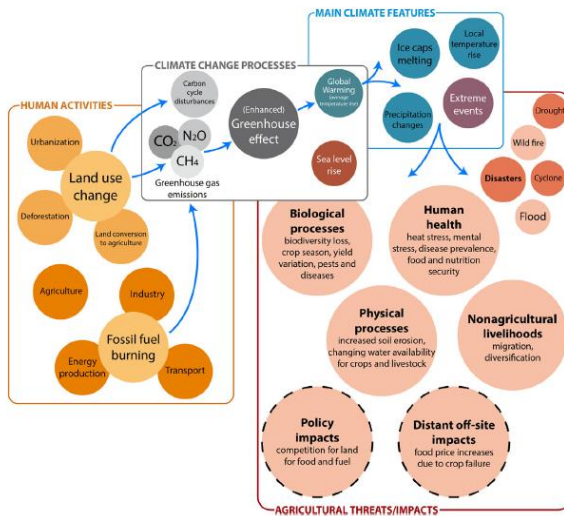
Perbedaan utama antara variabilitas iklim dan perubahan iklim adalah tren dalam jangka waktu yang lebih lama menunjukkan perubahan iklim. Sementara fluktuasi selama jangka waktu yang lebih pendek – hari, musim, tahun atau beberapa tahun – dan dalam siklus adalah variabilitas iklim, tren linier yang konsisten akan menentukan perubahan iklim sebagai pola yang berubah selama beberapa dekade. Perubahan iklim terdeteksi ketika iklim – pola variabilitas iklim jangka panjang – dan rata-rata menunjukkan perubahan terukur yang signifikan. Misalnya, rata-rata iklim menjadi lebih hangat atau lebih dingin, atau lebih basah atau lebih kering, selama beberapa dekade. Iklim bumi selalu berubah karena penyebab alami yang mencakup aktivitas vulkanik yang meluas dalam siklus rotasi dan orbit planet.

Namun, para ilmuwan telah mengukur peningkatan suhu global rata-rata yang cepat yang tidak dapat dikaitkan dengan penyebab alami. Mereka menyimpulkan bahwa pemanasan global jangka panjang ini bersifat antropogenik, artinya disebabkan oleh aktivitas manusia. Untuk itu, United Nations Framework

Convention on Climate Change (UNFCCC, 1992) mendefinisikan perubahan iklim sebagai:

“...perubahan iklim yang disebabkan secara langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia yang mengubah komposisi atmosfer global dan selain itu variabilitas iklim alami yang diamati selama periode waktu yang dapat dibandingkan.”

Proses global perubahan iklim dan efeknya pada pertanian seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Proses global perubahan iklim dan efeknya pada pertanian (dimodifikasi dari GRID-Arendal (2009) <https://www.grida.no/resources/5406>

Ada peningkatan nyata dalam suhu tinggi ekstrem dan gelombang panas, dan penurunan ekstrem dingin di seluruh dunia. Melihat banjir dan hujan lebat, kita dapat melihat sinyal perubahan iklim, karena atmosfer yang lebih hangat mengandung lebih banyak uap air. Ini berkontribusi pada curah hujan lebat di seluruh dunia. Pada saat yang sama, kekeringan semakin intens, karena iklim yang lebih hangat berarti penguapan bekerja lebih cepat, dan tanah lebih cepat mengering.

Studi menunjukkan bahwa konsentrasi senyawa yang memerangkap panas di atmosfer, yang disebut gas rumah kaca (GRK), telah meningkat secara substansial sejak awal era industri. Dua hal yang mengubah suhu permukaan adalah jumlah sinar matahari yang mencapai tanah, dan jumlah gas rumah kaca di udara. Lebih banyak gas rumah kaca berarti iklim yang lebih hangat.

Bagaimana proses perubahan iklim antropogenik. Sementara radiasi matahari melewati atmosfer bumi, dan menghangatkan sistem bumi, gas-gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO_2), tetapi juga metan (CH_4), Nitrogen oksida (N_2O), dan gas-gas berfluorinasi (HFC, CFC sebagai gas yang berpotensi tinggi dalam pemanasan global) dipancarkan oleh aktivitas manusia (terutama pembakaran bahan bakar fosil, tetapi juga yang lainnya, termasuk aktivitas pertanian) meradiasi kembali radiasi panjang gelombang rendah yang seharusnya dipantulkan kembali ke ruang angkasa, menyebabkan pemanasan tambahan. Hal ini menyebabkan suhu yang lebih tinggi di permukaan laut dan darat, pola sirkulasi atmosfer yang berubah, dan berbagai perubahan dalam distribusi curah hujan, lapisan salju dan gletser, intensitas badai, dan permukaan laut.

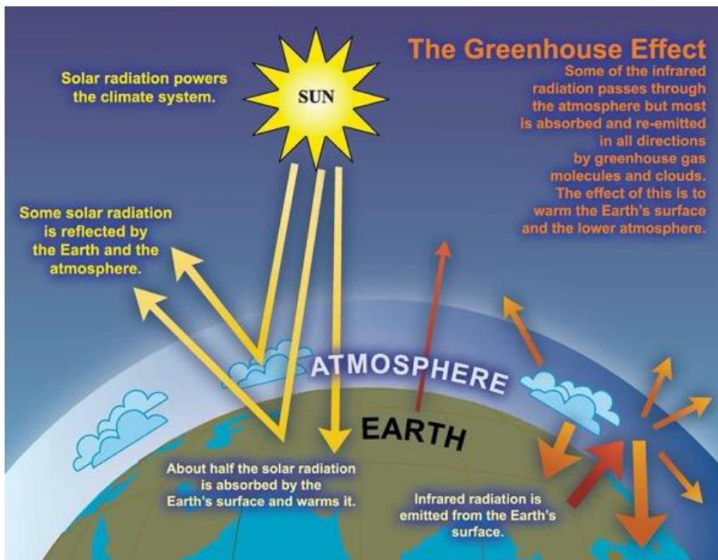
2. 2. Gas Rumah Kaca

Sebagian besar energi matahari dipancarkan kembali ke angkasa; namun, sebagian terperangkap di tanah, lautan, dan atmosfer. Gas rumah kaca (GRK) adalah gas atmosfer yang dapat menyerap radiasi infra merah, memerangkap panas di atmosfer. Apa yang disebut efek rumah kaca ini menyebabkan pemanasan global seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.

Uap air (H_2O), karbon dioksida (CO_2), dinitrogen oksida (N_2O), metan (CH_4) dan ozon (O_3) adalah gas rumah kaca utama. Ada beberapa GRK yang sepenuhnya buatan manusia di atmosfer, tetapi panduan ini terutama akan berfokus pada CO_2 , CH_4 , dan N_2O sebagai gas utama yang menjadi perhatian sistem produksi ternak. CO_2 adalah gas alami dan membentuk 0,04 persen dari atmosfer. Meskipun persentasenya kecil, peningkatan memiliki

efek yang kuat, karena sangat baik dalam menyerap panas yang dipancarkan oleh Bumi. CO₂ menyumbang sekitar tiga perempat dari total emisi, dan kontribusi keseluruhannya terus meningkat. CO₂ juga merupakan produk sampingan dari pembakaran bahan bakar fosil dari simpanan karbon fosil, seperti minyak, gas, dan batu bara, dari pembakaran biomassa, dan dari perubahan penggunaan lahan dan proses industri.

Ini adalah gas rumah kaca antropogenik utama yang mempengaruhi keseimbangan radiasi bumi. Ini adalah gas referensi yang digunakan untuk mengukur gas rumah kaca lainnya (disebut setara CO₂, atau CO₂eq).



Source: IPCC, 2007.

Gambar 2: Efek rumah kaca sumber IPCC (2007).

Metan (CH₄) adalah gas rumah kaca yang signifikan dan diproduksi oleh ternak, serta mikroba di tanah dan air, seperti di sawah yang tergenang air. CH₄ menyerap panas pada tingkat yang jauh lebih tinggi daripada CO₂, tetapi tetap berada di udara untuk waktu yang jauh lebih sedikit, hanya sekitar satu dekade seperti yang tersaji pada Tabel 1. N₂O diproduksi oleh pertanian,

termasuk aplikasi pupuk organik (pupuk kandang) dan sintetis, proses industri, dan pembakaran bahan bakar fosil. Kekuatan efek rumah kaca dari GRK sebagian ditentukan oleh potensi pemanasan global atau global warming potential (GWP), serta masa pakai atmosfernya. GWP adalah ukuran efek radiasi setiap unit gas selama periode waktu tertentu, yang dinyatakan relatif terhadap efek radiasi CO₂. Sejumlah gas dengan GWP tinggi akan menghangatkan Bumi lebih dari jumlah CO₂ yang sama.

Tabel 1. Gas Rumah Kaca, Potensi Pemanasan dan Umur Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca	GWP, 100-year time horizon	Atmospheric lifetime (years)
Karbon dioksida (CO ₂)	1	100
Metan (CH ₄)	25	12
Nitrogen oksida (N ₂ O)	298	114

Sumber: IPCC, 2007

Umur atmosfer mengukur berapa lama gas tetap berada di atmosfer sebelum hilang secara alami. Gas dengan masa pakai yang lama dapat memberikan pengaruh pemanasan yang lebih besar daripada gas dengan masa pakai yang singkat (dengan asumsi GWP sama). Tabel 1. menyajikan nilai untuk kedua karakteristik ini untuk gas rumah kaca yang menjadi perhatian - metan memiliki potensi pemanasan yang jauh lebih tinggi daripada karbon dioksida (25 kali lebih banyak), tetapi masa pakainya jauh lebih pendek (12 tahun).

2.3. Perubahan Iklim di Asia dan Pasifik

Peningkatan umum suhu rata-rata telah diamati di sebagian besar wilayah Asia selama abad terakhir, termasuk peningkatan suhu ekstrem. Dampak perubahan iklim terhadap produksi pangan dan ketahanan pangan di Asia akan berbeda-beda di setiap wilayah, dengan banyak wilayah yang mengalami penurunan produktivitas. Suhu yang lebih tinggi akan menyebabkan hasil

panen yang lebih rendah karena periode pertumbuhan yang lebih pendek.

Urbanisasi yang cepat, industrialisasi dan pembangunan ekonomi akan diperparah oleh perubahan iklim di wilayah tersebut. Hal itu diperkirakan akan berdampak buruk terhadap kemampuan pembangunan berkelanjutan di sebagian besar negara berkembang Asia dengan memperparah tekanan pada sumber daya alam dan lingkungan.

Peristiwa iklim ekstrem akan meningkatkan dampak terhadap kesehatan manusia, keamanan, mata pencaharian, dan kemiskinan. Peristiwa ini termasuk gelombang panas yang lebih sering dan intens, peristiwa hujan lebat, banjir dan kekeringan.

Beberapa data emisi GRK di kawasan Asia dan Pasifik adalah (ADB, 2017):

1. 40 persen dari emisi CO₂ global saat ini berasal dari kawasan Asia dan Pasifik, diperkirakan akan menjadi 48 persen pada tahun 2030;
2. 89 persen dari emisi ini hanya berasal dari tiga negara: Cina, India dan Indonesia;
3. Bagian Asia dari permintaan listrik global akan menjadi 43 persen pada tahun 2030.

2.4. Perubahan Iklim Mempengaruhi Ternak

Ada banyak dampak perubahan iklim mempengaruhi sektor peternakan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Efek langsung meliputi peningkatan suhu, perubahan jumlah curah hujan, pergeseran pola curah hujan dan peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem. Meningkatnya cekaman panas dan berkurangnya ketersediaan air juga dapat memiliki efek negatif langsung pada produksi ternak.

Stres panas terkait berdampak pada perilaku normal, imunologis dan fungsi fisiologis ternak. Selain itu, saat pola makan berubah, metabolisme dan pencernaan fungsi sering terganggu. Stres panas juga memiliki efek negatif pada kenyamanan ternak. Ternak biasanya akan mempertahankan suhu tubuhnya dalam kisaran yang cukup sempit ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) lebih jalannya sehari.

Paparan beban panas yang tinggi akan menyebabkan respons stres makan sebagai ternak berusaha mempertahankan suhu tubuhnya. Respons stres dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk spesies, breed, paparan sebelumnya, status kesehatan, tingkat kinerja, kondisi tubuh, kondisi mental, dan usia. Aklimatisasi atau adaptasi yang tidak memadai akan menentukan ternak apa pengalaman sebagai stres. Respons ternak terhadap stres biasanya mengakibatkan hilangnya kinerja misalnya pertumbuhan atau reproduksi sebelum respons stres seluler dan molekuler diaktifkan. Dibawah kondisi ekstrim, mungkin ada peningkatan angka kematian. Semua perubahan ini menyebabkan kerugian ekonomi. Dalam banyak kasus, tekanan panas tidak disadari oleh petani.

Dampak tidak langsung akan dialami melalui modifikasi ekosistem, perubahan ketersediaan, biaya produksi, kualitas dan jenis pakan dan tanaman pakan ternak, kemungkinan peningkatan penyakit hewan, harga energi yang lebih tinggi, dan peningkatan persaingan sumber daya. Perubahan iklim dapat menyebabkan peningkatan munculnya penyakit ternak, karena suhu yang lebih tinggi dan pola curah hujan yang berubah dapat mengubah kelimpahan, distribusi dan transmisi patogen hewan. Dampak paling parah diperkirakan terjadi pada sistem penggembalaan kering dan semi-kering, di mana suhu yang lebih tinggi dan curah hujan yang lebih rendah diperkirakan akan mengurangi hasil dan meningkatkan degradasi lahan. Tabel 2. memberikan gambaran tentang dampak perubahan iklim terhadap sistem produksi ternak.

Tabel 2. Dampak langsung dan tidak langsung dari perubahan iklim pada sistem produksi ternak.

Dampak langsung	Dampak tidak langsung
<ul style="list-style-type: none"> • peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem • peningkatan frekuensi dan besarnya kekeringan dan banjir • hilangnya produktivitas (tekanan fisiologis) karena kenaikan suhu • perubahan ketersediaan air 	<p>Perubahan agro-ekologi dan pergeseran ekosistem yang mengarah ke:</p> <ul style="list-style-type: none"> • perubahan kualitas dan kuantitas pakan ternak dan pakan • perubahan interaksi inang-patogen yang mengakibatkan peningkatan insiden penyakit baru dan epidemi penyakit • peningkatan harga sumber daya (misalnya pakan, air, energi dan perumahan - misalnya sistem pendingin)

Sumber: FAO (2017).

Kejadian iklim ekstrim seperti banjir, dapat mempengaruhi bentuk dan struktur akar, mengubah laju pertumbuhan daun, dan menurunkan total hasil (Baruch dan Mérida, 1995). Dampak terhadap kuantitas dan kualitas hijauan tergantung pada wilayah dan panjang musim tanam (Polley et al., 2013; Thornton et al., 2009). Peningkatan C2 akan menghasilkan dampak negatif pada padang rumput dan produksi ternak di daerah kering dan semi kering dan dampak positif di daerah beriklim lembab. Panjang musim tanam juga merupakan faktor penting untuk kualitas dan kuantitas hijauan karena menentukan durasi dan periode hijauan yang tersedia. Penurunan kualitas hijauan dapat meningkatkan emisi metan per unit energi kotor yang dikonsumsi (Benchaar et al., 2001). Oleh karena itu, jika kualitas hijauan menurun, mungkin

perlu diimbangi dengan mengurangi asupan hijauan dan menggantinya dengan biji-bijian untuk mencegah peningkatan emisi metan oleh ternak (Polley et al., 2013).

2.4.1. Kuantitas dan kualitas pakan

Kuantitas dan kualitas pakan akan terpengaruh terutama karena peningkatan kadar CO₂ atmosfer dan suhu. Efek perubahan iklim terhadap kuantitas dan kualitas pakan bergantung pada lokasi, sistem peternakan, dan spesies. Beberapa dampak pada tanaman pakan dan hijauan adalah: Peningkatan konsentrasi CO₂ akan menghasilkan perubahan pertumbuhan herba, dengan efek yang lebih besar pada spesies C3 dan lebih sedikit pada hasil gabah. Efek CO₂ akan positif karena mendorong penutupan parsial stomata, mengurangi transpirasi, dan meningkatkan efisiensi penggunaan air beberapa tanaman. Spesies C4 yang jumlahnya kurang dari 1% tanaman di Bumi ditemukan di lingkungan yang hangat, dan memiliki efisiensi penggunaan air yang lebih tinggi daripada tanaman C3. Peningkatan suhu hingga 30⁰–35⁰C dapat meningkatkan pertumbuhan herba, dengan efek yang lebih besar pada spesies C4. Namun, efeknya dapat bervariasi tergantung pada lokasi, sistem produksi yang digunakan, dan spesies tanaman. Perubahan suhu dan kadar CO₂ akan mempengaruhi komposisi padang penggembalaan dengan mengubah dinamika kompetisi spesies karena perubahan tingkat pertumbuhan yang optimal. Persaingan tanaman dipengaruhi oleh pergeseran musim ketersediaan air. Produktivitas primer di padang rumput dapat meningkat karena perubahan komposisi spesies jika suhu, curah hujan, dan deposisi nitrogen bersamaan meningkat.

Kualitas tanaman pakan dan hijauan dapat dipengaruhi oleh peningkatan suhu dan kondisi kering akibat variasi konsentrasi karbohidrat dan nitrogen yang larut dalam air. Peningkatan suhu dapat meningkatkan lignin dan komponen dinding sel pada tanaman, yang mengurangi tingkat pencernaan dan degradasi, yang menyebabkan penurunan ketersediaan nutrisi bagi ternak. Namun, dengan meningkatnya konsentrasi CO₂, kualitas hijauan akan lebih meningkat pada tanaman C3 daripada tanaman C4. Tumbuhan C3

juga memiliki kandungan protein kasar dan daya cerna yang lebih besar dibandingkan tumbuhan C4 (Rojas-Downing, 2017).

2.4.2. Air

Pertanian global menggunakan 70% sumber daya air tawar, menjadikannya konsumen terbesar di dunia. Namun, permintaan air global bergerak menuju persaingan yang meningkat karena kelangkaan dan penipisan air, di mana 64% populasi dunia dapat hidup dalam kondisi stres air pada tahun 2025. Masalah ketersediaan air akan mempengaruhi sektor peternakan, yang menggunakan air untuk minum hewan, tanaman pakan, dan proses produksi. Sektor peternakan menyumbang sekitar 8% dari penggunaan air manusia secara global dan peningkatan suhu dapat meningkatkan konsumsi air hewan dengan faktor dua sampai tiga kali lipat. Untuk mengatasi masalah ini, ada kebutuhan untuk menghasilkan tanaman dan memelihara ternak dalam sistem peternakan yang membutuhkan lebih sedikit air atau di lokasi yang memiliki banyak air. Saat permukaan laut naik, lebih banyak air asin akan masuk ke akuifer air tawar pesisir. Salinasi menambah kontaminan kimia dan biologi dan konsentrasi logam berat yang tinggi sudah ditemukan di badan air di seluruh dunia dan dapat mempengaruhi produksi ternak. Salinasi air dapat mempengaruhi metabolisme hewan, kesuburan, dan pencernaan. Kontaminan kimia dan logam berat dapat merusak sistem kardiovaskular, ekskresi, kerangka, saraf dan pernapasan, serta merusak kualitas produksi yang higienis. Ada kekurangan penelitian terkait implikasi berkurangnya ketersediaan air untuk sistem peternakan berbasis lahan karena perubahan iklim. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan ketersediaan air dan strategi mitigasi yang tepat dalam konteks produksi ternak yang berkelanjutan (Rojas-Downing, 2017).

2.4.3. Penyakit ternak

Pengaruh perubahan iklim terhadap penyakit ternak tergantung pada wilayah geografis, tipe penggunaan lahan,

karakteristik penyakit, dan kerentanan hewan. Kesehatan hewan dapat dipengaruhi secara langsung maupun tidak langsung oleh perubahan iklim, terutama kenaikan suhu. Efek langsung terkait dengan peningkatan suhu, yang meningkatkan potensi morbiditas dan kematian. Efek tidak langsung terkait dengan dampak perubahan iklim terhadap komunitas mikroba patogen atau parasit, penyebaran penyakit yang ditularkan melalui vektor, penyakit yang ditularkan melalui makanan, resistensi inang, dan kelangkaan pakan dan air. Peningkatan suhu dapat mempercepat pertumbuhan patogen atau parasit yang hidup sebagai bagian dari siklus hidupnya di luar inangnya, yang berdampak negatif pada ternak. Perubahan iklim dapat menyebabkan pergeseran penyebaran penyakit, wabah penyakit parah, atau bahkan memperkenalkan penyakit baru, yang dapat mempengaruhi ternak yang biasanya tidak terpapar penyakit jenis ini. Mengevaluasi dinamika penyakit dan adaptasi ternak akan menjadi penting untuk menjaga ketahanan mereka. Pemanasan global dan perubahan curah hujan mempengaruhi jumlah dan penyebaran hama penular vektor seperti lalat, caplak, dan nyamuk. Selain itu, penularan penyakit antar inang akan lebih mungkin terjadi pada kondisi yang lebih hangat. Misalnya, mensimulasikan dampak perubahan iklim pada ternak Australia, menemukan bahwa ternak kehilangan sekitar 18% beratnya karena peningkatan infestasi kutu. Menggunakan model untuk mensimulasikan respon *Culicoides imicola* di Iberia, yang merupakan vektor utama virus bluetongue yang menyerang terutama domba dan terkadang sapi, kambing, dan rusa. Dilaporkan bahwa vektor akan menyebar luas dengan peningkatan 2°C suhu rata-rata global. Namun, penyebaran yang diprediksi ini dapat dicegah dengan pengawasan penyakit dan teknologi, seperti merunut pada DNA, pengurutan genom, tes untuk memahami resistensi, pengobatan antivirus, perkawinan silang, dan banyak lagi. Sementara itu, ada kemungkinan besar munculnya penyakit baru dapat bertindak sebagai wadah pencampuran antara manusia dan ternak, memfasilitasi kombinasi materi genetik baru dan penularannya. Hal ini membuat sulit untuk memperkirakan risiko

penyakit yang sebenarnya karena ketergantungan penyakit pada paparan hewan dan faktor interaksi (Rojas-Downing, 2017).

2.4.4. Stres panas

Semua hewan memiliki zona kenyamanan termal, yaitu kisaran suhu lingkungan sekitar yang menguntungkan fungsi fisiologis. Pada siang hari ternak menjaga suhu tubuh dalam kisaran $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Ketika suhu meningkat lebih dari suhu kritis atas kisaran bervariasi menurut jenis spesies, hewan mulai menderita tekanan panas. Hewan telah mengembangkan respons fenotipik terhadap satu sumber stres seperti panas yang disebut aklimatisasi. Hasil aklimasi dalam asupan pakan berkurang, asupan air meningkat, dan fungsi fisiologis berubah seperti efisiensi reproduksi dan produktif dan perubahan tingkat respirasi.

Stres panas pada ternak tergantung pada suhu, kelembaban, spesies, potensi genetik, tahap hidup, dan status gizi. Ternak di lintang yang lebih tinggi akan lebih terpengaruh oleh peningkatan suhu daripada ternak yang berada di lintang yang lebih rendah, karena ternak di lintang yang lebih rendah biasanya lebih beradaptasi dengan suhu tinggi dan kekeringan. Sistem produksi ternak terbatas yang memiliki kontrol lebih besar terhadap paparan iklim akan lebih sedikit terpengaruh oleh perubahan iklim. Cekaman panas menurunkan asupan hijauan, produksi susu, efisiensi konversi pakan, dan performan. Kondisi hangat dan lembab menyebabkan tekanan panas, yang memengaruhi perilaku dan metabolisme variasi pada ternak atau bahkan kematian. Dampak stres panas pada ternak dapat dikategorikan ke dalam penggunaan nutrisi pakan, asupan pakan, produksi ternak, reproduksi, kesehatan, dan kematian (Rojas-Downing, 2017).

Ternak memiliki beberapa kebutuhan nutrisi antara lain energi, protein, mineral, dan vitamin, yang bergantung pada wilayah dan jenis hewan. Kegagalan memenuhi kebutuhan pakan ternak selama stress panas mempengaruhi fungsi metabolisme dan pencernaan. Kekurangan natrium dan kalium di bawah tekanan panas dapat menyebabkan alkalosis metabolik pada sapi perah, meningkatkan laju respirasi. Sebagian besar penelitian tentang

asupan pakan pada hewan ternak difokuskan pada sapi. Stres ternak termal mengurangi asupan pakan dan efisiensi konversi pakan, terutama untuk ternak yang diberi pakan berkualitas tinggi dalam jumlah besar. Dalam kasus sapi, pengurangan konsumsi pakan menyebabkan keseimbangan energi yang negatif dan penurunan berat badan. Pengurangan asupan air juga dapat menurunkan keringat dan asupan pakan.

Salah satu penyebab utama penurunan produksi di industri susu dan daging sapi adalah tekanan panas dan kerugian ekonomi yang signifikan terkait dengan hal ini. Industri peternakan Amerika Serikat mengalami kerugian ekonomi tahunan antara 1,69 dan 2,36 miliar dolar AS karena tekanan panas, dimana 50% terjadi pada industri susu. Sapi perah berproduksi tinggi menghasilkan lebih banyak panas metabolisme daripada sapi perah berproduksi rendah. Oleh karena itu, sapi perah berproduksi tinggi lebih sensitif terhadap cekaman panas. Akibatnya, ketika produksi panas metabolik meningkat bersamaan dengan stres panas, produksi susu menurun.

Stres panas juga mempengaruhi produksi susu domba betina, kambing, dan kerbau. Secara umum, domba betina lebih sensitif terhadap gabungan pengaruh suhu dan kelembaban relatif indeks kelembaban suhu daripada suhu sebenarnya atau kelembaban relatif. Namun, nilai indeks yang memicu cekaman panas pada domba bervariasi berdasarkan jenis breed. Cekaman panas juga berdampak pada komposisi dan jumlah susu kambing. Misalnya pada kambing laktasi, mekanisme pengurangan kehilangan air diaktifkan selama musim panas. Mekanisme ini mengurangi kehilangan air dalam urin demi produksi susu selama musim dengan sumber air yang terbatas. Paparan kerbau terhadap suhu tinggi juga menurunkan produksi susu karena mempengaruhi fungsi fisiologis hewan, seperti denyut nadi, laju pernapasan, dan suhu rektal. Namun, kurang perhatian diberikan kepada hewan-hewan ini karena kemampuan beradaptasi mereka terhadap kondisi hangat dan permintaan susu yang lebih rendah. Dalam hal produksi daging, sapi potong dengan bobot tinggi, bulu tebal, dan warna lebih gelap lebih rentan terhadap pemanasan. Pemanasan

global dapat menurunkan ukuran tubuh, berat karkas, dan ketebalan lemak pada ruminansia. Hal yang sama berlaku dalam produksi babi, di mana babi yang lebih besar akan mengalami penurunan pertumbuhan, karkas berat badan, dan asupan pakan. Kelangsungan hidup anak babi dapat berkurang karena pengurangan asupan pakan induk babi selama periode menyusui dengan suhu lebih besar dari 25⁰C, yang mengurangi produksi susu babi. Industri unggas juga dapat dikompromikan oleh produksi yang rendah pada suhu yang lebih tinggi dari 30⁰C. Stres panas pada unggas akan menurunkan penambahan bobot badan, konsumsi pakan dan bobot karkas, serta kandungan kalori protein dan otot. Stres panas pada ayam akan mengurangi efisiensi reproduksi dan akibatnya produksi telur karena asupan pakan berkurang dan gangguan ovulasi. Kualitas telur, seperti berat telur dan berat serta ketebalan cangkang juga dapat terpengaruh secara negatif pada kondisi yang lebih panas. Efisiensi reproduksi kedua jenis kelamin ternak dapat dipengaruhi oleh cekaman panas. Pada sapi dan babi, hal itu mempengaruhi pertumbuhan dan kualitas oosit, gangguan perkembangan embrio, dan tingkat kebuntingan. Kesuburan sapi dapat dikompromikan oleh peningkatan defisit energi dan tekanan panas. Stres panas juga dikaitkan dengan penurunan konsentrasi dan kualitas sperma pada sapi jantan, babi, dan unggas.

Sintesis susu tampaknya lebih sensitif dibandingkan dengan model pertumbuhan terhadap stres termal karena penurunan hasil hingga 35% - 40% sering terjadi. Secara tradisional dianggap bahwa sapi laktasi menjadi stres panas ketika kondisi melebihi indeks kelembaban suhu (THI). Namun, eksperimen dengan kontrol iklim baru-baru ini menunjukkan bahwa produksi susu mulai menurun pada THI 68 yang didukung oleh pengamatan lapangan yang mengevaluasi THI saat waktu berdiri sapi. respon klasik terhadap beban termal meningkat. THI yang lebih rendah di mana sapi dianggap mengalami stres panas konsisten dengan hipotesis bahwa sapi yang memproduksi lebih tinggi lebih rentan terhadap beban termal.

Suhu tinggi yang berkepanjangan dapat mempengaruhi laju metabolisme, status endokrin, status oksidatif, metabolisme glukosa, protein dan lipid, fungsi hati penurunan kolesterol dan albumin, non-esterified fatty acid (NEFA), produksi saliva, dan kandungan HCO_3 saliva. Selain itu, defisit energi yang lebih besar mempengaruhi kesehatan dan umur sapi. Kondisi hangat dan lembab yang menyebabkan cekaman panas dapat mempengaruhi kematian ternak. Peningkatan suhu antara 1° dan 5°C dapat menyebabkan kematian yang tinggi pada ternak penggembalaan. Sebagai tindakan mitigasi, diperlukan alat penyiram, peneduh, atau praktik manajemen serupa untuk mendinginkan hewan. Dengan pengetahuan yang lebih besar terkait nutrisi dan proses metabolisme ternak, praktik manajemen dapat diadaptasi untuk meningkatkan performan hewan.

Secara umum kerugian produksi akibat cekaman panas pada sapi potong tidak separah industri susu. Tidak sepenuhnya jelas mengapa sapi yang tumbuh mentolerir kondisi indeks kelembaban suhu yang lebih tinggi dan menunjukkan ambang batas regangan panas yang lebih besar daripada sapi perah menyusui, tetapi kemungkinan-kemungkinan mungkin melibatkan: (1) peningkatan luas permukaan terhadap rasio massa, (2) pengurangan produksi panas rumen karena sebagian besar diet biji-bijian, dan (3) mengurangi produksi panas metabolik secara keseluruhan berdasarkan berat badan. Selain itu, sapi potong akan sering mengalami keuntungan kompensasi setelah stres panas ringan atau singkat. Kombinasi dari faktor-faktor ini menghasilkan penurunan keuntungan terkait panas yang biasanya kurang dari 10 kg. Selanjutnya, dampak stres panas pada reproduksi indeks biasanya tidak separah pada sapi potong seperti pada sapi perah karena sifat musiman dari program pemuliaan sering terjadi selama musim semi di AS.

Pada ternak babi meskipun secara akurat diperkirakan kerugian ekonomi yang disebabkan oleh panas merupakan tantangan, bahkan jika strategi pengurangan stres panas yang optimal diterapkan oleh semua produsen babi di semua tahap produksi, kerugian akibat stres panas masih akan merugikan

industri babi. Kerugian ekonomi yang disebabkan oleh beban termal yang berkelanjutan termasuk penurunan pertumbuhan dan efisiensi, peningkatan biaya perawatan kesehatan, penurunan nilai karkas peningkatan lipid dan penurunan protein, dan peningkatan kematian terutama babi betina. Menariknya, fakta bahwa babi yang dipelihara dalam kondisi stres panas telah mengurangi massa otot dan meningkatkan jaringan adiposa telah sering didokumentasikan selama 40 tahun terakhir. Fenomena ini tidak hanya terjadi pada babi, karena cekaman panas juga mengubah komposisi karkas pada hewan pengerat.

Pengurangan perubahan dalam asupan pakan (hingga 50%) adalah tanda yang jelas dari stres panas dan dianggap bertanggung jawab terutama untuk efek negatif stres panas terhadap kinerja babi. Adalah kontra-intuitif bahwa stres panas merangsang penurunan asupan nutrisi dan menekan pertumbuhan, namun meningkatkan akresi lipid karkas dan menurunkan kandungan nitrogen karkas. Dalam netral termal (TN) babi yang mengkonsumsi makanan terbatas akan menyimpan protein dengan mengorbankan pertambahan lipid yaitu, rasio lipid karkas terhadap protein menurun, yang berarti perubahan karkas menjadi lebih ramping dan jumlah lipid yang disimpan per unit energi yang dikonsumsi menurun. Oleh karena itu, ciri stres panas pada babi adalah peningkatan deposisi lipid dengan mengorbankan protein. Oleh karena itu, asupan pakan ke tubuh berkurang, hubungan komposisi justru berlawanan pada babi yang dipelihara dalam kondisi cekaman panas dan tidak tergantung pada bidang nutrisi.

Industri babi sangat menderita karena kinerja reproduksi yang terganggu selama periode infertilitas musiman, terutama selama akhir musim panas dan awal musim gugur. Dampaknya cukup terlihat di AS dengan tingkat kebuntingan hari ke-28 mencapai tingkat terendah pada bulan Agustus hingga Oktober dan penurunan tingkat partus pada bulan November dan Desember. Fenomena ini tidak terbatas pada wilayah tertentu dan terjadi secara internasional. Beberapa faktor seperti fotoperiode dan suhu dapat berkontribusi pada infertilitas musiman dan menguraikan kontribusi yang tepat dari setiap faktor pada kinerja reproduksi

babi merupakan tantangan. Meskipun demikian, stres panas telah berulang kali terbukti berdampak negatif pada efisiensi reproduksi pada babi dengan mempengaruhi perkembangan sel germinal, pembentukan kebuntingan, pemeliharaan kebuntingan, dan kinerja laktasi.

Stres panas selama menyusui juga dapat berdampak besar pada produksi. Suhu yang melebihi evaporative critical temperature (ECT) selama menyusui mengurangi asupan pakan, dan akibatnya, menurunkan produksi susu. Peningkatan suhu tubuh inti menghasilkan pengalihan aliran darah dari kelenjar susu ke kulit dalam upaya memfasilitasi panas yang hilang. Sebagai tanggapan, laktasi dan pertumbuhan anak babi selama menyusui berkurang secara signifikan. Sangat menarik untuk menentukan apakah stres panas mengubah metabolisme pasca-penyerapan dan parameter laktasi yang sama pada babi seperti halnya sapi. Selain penurunan performa laktasi, heat stress selama laktasi juga dapat menurunkan jumlah induk babi yang kembali berahi dalam waktu 15 hari setelah disapih.

2.4.5. Keanekaragaman hayati

Keanekaragaman hayati mengacu pada berbagai gen, organisme, dan ekosistem yang ditemukan dalam lingkungan tertentu dan berkontribusi pada kesejahteraan manusia. Populasi yang mengalami penurunan keanekaragaman hayati genetik berisiko, dan salah satu penyebab langsung hilangnya keanekaragaman hayati ini adalah perubahan iklim. Perubahan iklim dapat menghilangkan 15% sampai 37% dari semua spesies di dunia. Peningkatan suhu telah mempengaruhi reproduksi spesies, migrasi, kematian, dan distribusi. Panel Antar pemerintah tentang Laporan Penilaian Kelima Perubahan Iklim menyatakan bahwa peningkatan 2⁰C hingga 3⁰C di atas tingkat pra-industri dapat mengakibatkan 20% hingga 30% hilangnya keanekaragaman hayati tumbuhan dan hewan. Pada tahun 2000, 16% breed ternak (keledai, kerbau, sapi, kambing, babi, domba, dan kuda) hilang telah menyatakan bahwa dari 7.616 breed ternak yang dilaporkan, 20% berisiko, dan hampir satu breed per bulan dimusnahkan. Sapi

memiliki jumlah breed punah tertinggi ($N = 209$) dari semua spesies yang dievaluasi.

Spesies ternak yang memiliki persentase resiko eliminasi breed tertinggi adalah ayam (33% breed), babi (18% breed), dan sapi (16% breed). Namun, breed yang berisiko tergantung pada wilayahnya. Daerah berkembang memiliki antara 7% dan 10% spesies mamalia berisiko (tidak terbatas pada ternak), tetapi antara 60% dan 70% spesies mamalia diklasifikasikan sebagai risiko yang tidak diketahui. Sebaliknya, di daerah maju, di mana industri peternakan sangat terspesialisasi dan berdasarkan pada sejumlah kecil breed, spesies mamalia yang berisiko antara 20% dan 28%. Hilangnya keanekaragaman hayati ini terutama disebabkan oleh praktek-praktek yang digunakan dalam produksi ternak yang menekankan hasil dan pengembalian ekonomi dan marjinalisasi sistem produksi tradisional di mana pertimbangan lain juga penting seperti kemampuan bertahan dari keadaan ekstrim. Ternak dan tumbuhan akan sangat terpengaruh oleh perubahan iklim dan hilangnya keanekaragaman hayati. Pekerjaan di masa depan yang mempelajari kemampuan genetik bawaan dari breed yang berbeda dan mengidentifikasi breed yang dapat beradaptasi dengan lebih baik terhadap kondisi iklim sangat penting.

2.5. Pengaruh Peternakan pada Perubahan Iklim

Sektor peternakan secara global merupakan kontributor utama sekitar 14,5% dari total emisi GRK antropogenik tahunan, menghasilkan emisi CO_2 , CH_4 , dan NO_2 yang signifikan. Peternakan berkontribusi terhadap perubahan iklim dengan melepaskan GRK baik secara langsung misalnya dari fermentasi enterik dan pengelolaan pupuk kandang atau tidak langsung misalnya dari kegiatan produksi pakan. Berdasarkan penilaian siklus hidup, diperkirakan bahwa sektor ini mengeluarkan sekitar 7,1 giga ton.

Produk hewani dan perubahan penggunaan lahan berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO_2 . Sektor peternakan sering dikaitkan dengan dampak negatif lingkungan seperti degradasi lahan, polusi udara dan air, serta perusakan Peternakan

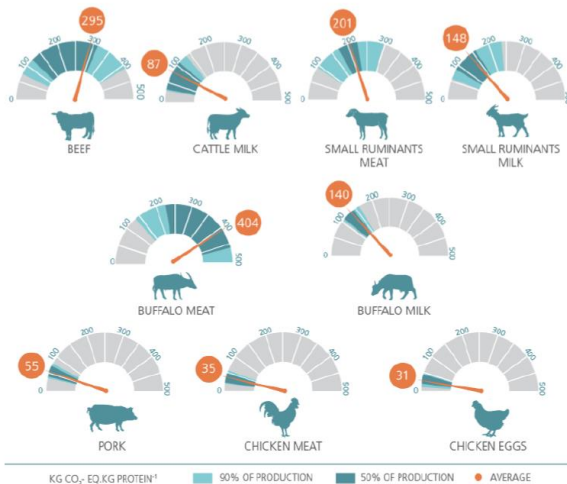
mempengaruhi iklim melalui perubahan penggunaan lahan, produksi pakan, produksi ternak, pupuk kandang, serta pengolahan dan pengangkutan. Produksi pakan dan pupuk kandang mengeluarkan CO₂, N₂O, dan CH₄, yang akibatnya mempengaruhi perubahan iklim. Produksi hewan meningkatkan emisi CH₄. Pemrosesan dan pengangkutan keanekaragaman hayati. Peningkatan produksi ternak diharapkan berasal dari basis sumber daya alam yang menurun, yang akan menyebabkan kerusakan lingkungan lebih lanjut tanpa pengelolaan sumber daya alam yang tepat.

Emisi GRK ternak yang utama adalah CO₂, CH₄, dan N₂O. CH₄ berkontribusi paling besar terhadap emisi GRK antropogenik (44%), diikuti oleh N₂O (29%) dan CO₂ (27%). Ternak secara global menyumbang 44% CH₄ antropogenik, 53% N₂O antropogenik dan 5% emisi CO₂ antropogenik. Konsentrasi yang lebih tinggi dari gas-gas ini, dapat dijelaskan dengan rendahnya efisiensi dan produktivitas sistem peternakan karena kehilangan nutrisi, energi, dan bahan organik yang berlebihan.

Emisi GRK peternakan CH₄ memiliki potensi pemanasan sebesar 21 CO₂-eq, dan N₂O sebesar 310 CO₂-eq dalam kurun waktu 100 tahun. Sektor transportasi dunia mengeluarkan sekitar 5656 Tg CO₂-eq thn⁻¹ dan sektor peternakan mengeluarkan 7100 Tg CO₂-eq. Emisi dari produksi peternakan menyumbang lebih banyak GRK ke atmosfer daripada seluruh sektor transportasi global. Sektor peternakan berkontribusi secara langsung dan tidak langsung terhadap emisi GRK, termasuk melalui fisiologi hewan, kandang hewan, penyimpanan pupuk kandang, perawatan pupuk kandang, aplikasi lahan, dan pupuk kimia. Emisi langsung dari sumber hewani meliputi fermentasi enterik, respirasi, dan ekskresi. Emisi tidak langsung mengacu pada emisi yang berasal dari tanaman pakan, aplikasi pupuk kandang, pengelolaan pertanian, pemrosesan produk ternak, transportasi, dan alokasi penggunaan lahan untuk produksi ternak (misalnya deforestasi, pelepasan karbon dari tanah budidaya). Di sektor peternakan, emisi tidak langsung berperan lebih besar dalam pelepasan karbon ke atmosfer dibandingkan emisi langsung. Kontribusi sektor peternakan

sebesar 14,5% dari total emisi GRK antropogenik dievaluasi oleh Gerber et al. (2013) menggunakan model penilaian lingkungan ternak global (GLEAM). GLEAM melakukan analisis emisi produksi ternak global di sepanjang rantai pasokan. Unsur-unsur utama rantai pasokan ternak yang dianalisis oleh GLEAM adalah: ternak, pakan, pupuk kandang, kebutuhan energi hewan, asupan pakan, produksi, dan emisi, alokasi total emisi di pintu peternakan (batas peternakan fisik) untuk produk dan jasa (emisi per kg produk), dan emisi pasca-pertanian (transportasi dan pengolahan). GLEAM juga menganggap perubahan penggunaan lahan sebagai konversi hutan menjadi padang rumput atau lahan subur untuk bercocok tanam. Kontributor 14,5% emisi GRK peternakan disajikan pada Gambar 3.

Fermentasi enterik merupakan penyumbang emisi sektor terbesar dengan 39,1%, diikuti oleh pengelolaan pupuk kandang, aplikasi, dan deposit langsung sebesar 25,9%, produksi pakan sebesar 21,1% , perubahan penggunaan lahan sebesar 9,2%, pasca-pertanian sebesar 2,9%, dan energi langsung dan tidak langsung sebesar 1,8%. Namun kontribusi terhadap emisi GRK bervariasi tergantung pada jenis sistem pertanian dan wilayah.



Source: FAO, 2020.

Gambar 3. Emisi gas rumah kaca masing-masing ternak

Misalnya, intensifikasi salah satu dari tiga sistem produksi ternak utama dan perluasan sistem industri (atau tanpa lahan) akan meningkatkan emisi CO₂ karena penggunaan bahan bakar fosil yang lebih besar dan lebih sedikit energi matahari yang digunakan oleh fotosintesis. Gerber et al. (2013) juga memperkirakan emisi GRK peternakan berdasarkan wilayah, menemukan bahwa Asia menghasilkan yang tertinggi, diikuti oleh Amerika Latin dan Karibia, Eropa, Amerika Utara, Afrika, dan Oseania.

Hutan dan habitat alam terus menerus diubah menjadi padang rumput dan lahan pertanian sejak tahun 1850-an. Lahan pertanian mencakup sekitar 38,5% dari total luas lahan global, yang terdiri dari 28,4% lahan subur dan 68,4% padang rumput dan padang rumput permanen. Lahan penggembalaan telah berkembang enam kali lipat sejak tahun 1800, sekarang meliputi 35 juta km². Perubahan penggunaan lahan pertanian terkait dengan dua konsep: keuntungan per unit lahan dan biaya peluang. Keuntungan per unit lahan mengacu pada kesediaan petani untuk mengelola penggunaan lahan tertentu. Keuntungan akan bervariasi tergantung pada beberapa faktor, seperti karakteristik dan harga biofisik lahan, akses ke pasar, input, dan layanan. Konsep biaya peluang membandingkan biaya sosial dan ekonomi dari berbagai cara untuk menggunakan lahan yang sama. Biaya peluang meliputi biaya produksi swasta dan biaya layanan ekosistem. Oleh karena itu, ketika jasa ekosistem yang tidak dapat dipasarkan tidak memiliki biaya terkait, keputusan penggunaan lahan didasarkan pada keuntungan pribadi per unit lahan.

Meningkatnya permintaan produk ternak telah mengubah pemandangan alam secara signifikan. Degradasi tanah adalah kerusakan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Degradasi lahan telah diakui sebagai salah satu pendorong konversi lahan dari hutan menjadi lahan pertanian dan padang rumput karena produsen menghabiskan sumber daya tanah mereka dan dengan demikian mencari lahan yang lebih cocok. Namun Asner et al. (2004) menyatakan bahwa karena karakteristik iklim dan tanah, perluasan padang penggembalaan ke daerah marjinal terbatas; oleh karena

itu, mereka hanya bisa memperluas ke daerah dengan potensi agro-ekologi.

Perubahan penggunaan lahan mempengaruhi siklus karbon alami, yang akibatnya melepaskan karbon dalam jumlah besar ke atmosfer, meningkatkan emisi GRK. Habitat alami terutama hutan, menyerap lebih banyak karbon dalam tanah dan tumbuh-tumbuhan daripada lahan pertanian dan padang rumput. Tanah dan vegetasi terestrial menyerap hingga 40% emisi CO₂ antropogenik global (The Royal Society, 2001). Selain itu, padang rumput mengandung lebih banyak karbon daripada lahan pertanian. Lahan pertanian menyerap 6% karbon global, sementara sabana tropis dan padang rumput sedang bersama-sama menyerap 27% (IPCC, 2000). Namun, tanah menyerap karbon paling banyak dalam siklus karbon terestrial, dan dua kali lipat dari vegetasi. Sundquist (1993) memperkirakan hal itu 1.100 hingga 1.600 miliar ton karbon disimpan di tanah. Namun, karbon tanah dapat hilang melalui pembakaran, penguapan, erosi, perubahan penggunaan lahan, dan praktik pengelolaan pertanian. Oleh karena itu, ketika hutan diubah menjadi lahan pertanian dan padang rumput dengan penebangan atau pembakaran, sejumlah besar karbon dilepaskan ke atmosfer (Steinfeld et al., 2006).

Amerika Latin telah mengubah sebagian besar lahan dari hutan menjadi padang rumput dan lahan pertanian, dan peternakan adalah salah satu pendorong perubahan ini. Dalam 40 tahun terakhir, kawasan hutan di Amerika Tengah berkurang hampir 40%, bertepatan dengan peningkatan padang rumput dan peternakan. Selain itu, tanaman yang digunakan untuk memberi makan ternak juga mempengaruhi perubahan penggunaan lahan. Pada tahun 2004–2005 saja, ekspansi kedelai menggantikan 1,2 juta hektar hutan hujan. Deforestasi, tanah budidaya, dan degradasi lahan akibat produksi ternak merupakan sumber utama emisi CO₂. Dari total emisi GRK peternakan, 9,2% disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan, dimana 6% disebabkan oleh perluasan padang rumput dan 3,2% adalah karena ekspansi tanaman pakan (Gerber et al., 2013). Namun, perubahan penggunaan lahan menghasilkan emisi lain selain CO₂. Konversi

lahan dari hutan menjadi padang penggembalaan juga dapat mengurangi oksidasi CH_4 oleh mikroorganisme tanah, sehingga padang penggembalaan bertindak sebagai sumber bersih CH_4 ketika pemadatan tanah dari kuku sapi membatasi difusi gas (Mosier et al., 2004). Mengenai dua penyumbang emisi GRK penggunaan lahan ternak lainnya, Steinfeld et al. (2006) memperkirakan bahwa tanah budidaya yang terkait dengan peternakan menghasilkan sekitar 28 juta ton CO_2 per tahun dan pengurusan padang rumput yang disebabkan oleh peternakan menghasilkan 100 juta ton CO_2 per tahun. Mengurangi padang penggembalaan sebagai strategi mitigasi tidak menyarankan peningkatan cadangan karbon tanah karena hubungan antara padang penggembalaan dan penyerapan karbon tanah adalah kompleks karena ketergantungan mereka pada lingkungan, masyarakat, dan ekonomi. Studi menunjukkan bahwa padang rumput bisa meningkatkan atau menurunkan emisi GRK tergantung pada pengelolaan penggembalaan dan sejarah, iklim dan ekosistem (Henderson et al., 2015). Oleh karena itu, pengelolaan penggembalaan yang dapat meningkatkan penyerapan karbon dimana:

- 1) tidak melebihi daya dukung padang penggembalaan dengan memiliki tingkat penebaran yang efektif,
- 2) penggembalaan bergilir, dan
- 3) tidak termasuk padang rumput yang terdegradasi dari penggembalaan ternak (Tennigkeit dan Wilkies, 2008).

Penggunaan pupuk kandang dan pupuk sintesis untuk produksi hijauan dan pakan, pengolahan pakan, dan pengangkutan pakan merupakan kontributor terpenting emisi GRK terkait sektor peternakan. Ini merupakan 45% dari emisi GRK antropogenik ternak global, terutama terdiri dari CO_2 , N_2O dan NH_4 . Sektor peternakan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap emisi GRK melalui produksi pupuk nitrogen yang digunakan untuk menghasilkan tanaman untuk pakan ternak. Minyak, batu bara, dan gas alam digunakan dalam pembuatan pupuk. Dengan mempertimbangkan jumlah penggunaan pupuk, pengemasan, transportasi, dan aplikasi di sektor peternakan, proses pembuatan

pupuk menyumbang lebih dari 40 juta ton CO₂ setiap tahunnya. Empat puluh persen dari semua serapan nitrogen oleh tanaman berasal dari pupuk sintetis. Kehilangan volatilisasi amoniak dari pupuk nitrogen sintetis merupakan kontributor tidak langsung terhadap emisi GRK. Antara 4 hingga 5 juta ton pupuk mineral digunakan untuk produksi pakan ternak. Kerugian rata-rata akibat penguapan amoniak dari pupuk mineral adalah sekitar 14%. Oleh karena itu, diperkirakan sektor peternakan menyumbang 3,1 juta ton volatilisasi amonia global dari pupuk mineral per tahun. N₂O adalah penyumbang emisi GRK lainnya. Penggunaan pupuk, fiksasi nitrogen pertanian, dan nitrogen atmosfer pengendapan umumnya meningkatkan emisi N₂O. Dengan mengikuti asumsi yang sama seperti amonia, dengan tingkat kehilangan N₂O-N rata-rata 1% (ton nitrogen dalam bentuk nitro oksida) dari pupuk mineral, sektor peternakan menyumbang 0,2 juta ton N₂O-N dari emisi N₂O global dari pupuk mineral per tahun. Selain itu, tanaman pakan polongan untuk ternak menyumbang emisi N₂O tambahan. Steinfeld et al. (2006) memperkirakan kontribusi mereka dengan mempertimbangkan area global kedelai yang digunakan untuk pakan ternak dan menggandakannya untuk memasukkan alfalfa, karena tidak ada perkiraan produksi alfalfa di seluruh dunia. Oleh karena itu, kontribusi tanaman pakan polongan lebih dari 0,5 juta ton emisi N₂O-N per tahun. Dengan menambahkan kontributor tersebut pupuk mineral dan tanaman pakan polongan, total emisi N₂O-N adalah 0,7 juta ton per tahun. Seiring pertumbuhan penggunaan pupuk dan pupuk kandang terus berlanjut, peningkatan emisi N₂O sebesar 35% – 60% (0,9 hingga 1,1 juta ton per tahun dari total emisi N₂O-N) diperkirakan terjadi pada tahun 2030. Penggunaan bahan bakar fosil di peternakan dalam produksi ternak menghasilkan emisi CO₂ 50% lebih banyak daripada pembuatan pupuk N memberi makan. Sektor peternakan mencakup penggunaan bahan bakar fosil langsung dan tidak langsung (misalnya listrik) di peternakan, yang digunakan untuk pengoperasian mesin, irigasi, pemanasan, pendinginan, ventilasi, produksi herbisida dan pestisida, dan banyak lagi. Lebih dari separuh penggunaan bahan bakar fosil dikaitkan dengan produksi

pakan. Dengan mengasumsikan emisi CO₂ dari penggunaan bahan bakar fosil di lahan adalah dua kali lipat dari produksi pupuk N, dan menambahkan emisi terkait pemeliharaan ternak, bahan bakar fosil di lahan menghasilkan 90 juta ton CO₂ per tahun.

Secara umum pernapasan ternak tidak dihitung sebagai sumber bersih emisi CO₂ karena merupakan bagian dari siklus sistem biologis global. Vegetasi yang dikonsumsi hewan berasal dari konversi CO₂ atmosfer menjadi senyawa organik atau biomassa. Oleh karena itu, berdasarkan Protokol Kyoto (2005) diasumsikan bahwa jumlah CO₂ yang dikonsumsi dalam bentuk vegetatif setara dengan yang dikeluarkan oleh ternak. Sebaliknya, hewan merupakan penyerap karbon karena sebagian kecil dari karbon yang dikonsumsi diserap dalam jaringan hidup hewan dan produk seperti susu. Ternak menyumbang 44% dari emisi CH₄ antropogenik dunia melalui proses pencernaan normal yaitu enterik fermentasi dan pengelolaan pupuk kandang. Fermentasi enterik dan pupuk kandang menyumbang 80% dari 52 sumber emisi pertanian. Selama proses pencernaan hewan, fermentasi enterik mengubah pakan yang dikonsumsi menjadi pakan yang dapat dicerna. Fermentasi enterik melepaskan produk sampingan CH₄ melalui pernafasan (Beauchemin et al., 2009). Oleh karena itu, produk sampingan ini dianggap sebagai kehilangan energi. Komposisi pakan dan asupan pakan dapat memvariasikan fermentasi enterik dan emisi metana. Meningkatkan proporsi konsentrat (pakan berenergi tinggi yang mengandung biji-bijian sereal dan tepung minyak) dalam pakan ternak dapat mengurangi emisi metan dari ternak (FAO, 2013).

Emisi metan bervariasi tergantung pada sistem produksi dan karakteristik daerah misalnya iklim dan bentang alam. Fermentasi enterik yang dihasilkan oleh ternak ruminansia (misalnya sapi, domba, dan kambing) memancarkan secara global antara 87 Tg dan 94 Tg metan setiap tahunnya (IPCC, 2013). Sistem campuran tanaman-ternak menyumbang 64% dari emisi metan fermentasi enterik global; sistem penggembalaan menyumbang 35%, dan industri 1%. Persentase tinggi dari sistem campuran tanaman-ternak mencerminkan bahwa dua pertiga dari

total hewan ternak terdapat dalam sistem tersebut (Steinfeld et al., 2006). Negara penyumbang emisi metan terbanyak terkait produksi ternak adalah India, Cina, Brasil, dan Amerika Serikat (IPCC, 2013). India, dengan populasi ternak terbesar di dunia, mengeluarkan 11,8 Tg CH₄ pada tahun 2003, dimana 91% berasal dari fermentasi enterik dan 9% dari pengelolaan pupuk kandang. Di Afrika, emisi metan diperkirakan akan meningkat karena peningkatan populasi ternak. Diperkirakan ternak sapi, kambing, dan domba Afrika, yang menghasilkan sekitar 7,8 juta ton metan pada tahun 2000, cenderung meningkat menjadi 11,1 juta ton pada tahun 2030. Jika hubungan linier antara emisi metan dan populasi ternak ini berlanjut, emisi metan global dari produksi peternakan dapat meningkat 60% pada tahun 2030. Namun berubah praktik pemberian pakan dan pengelolaan pupuk kandang dapat memoderasi emisi metan (FAO, 2013).

Hewan penyumbang terbesar emisi GRK peternakan adalah sapi potong dan sapi perah, terhitung 65% dari total emisi GRK peternakan. Babi, unggas, kerbau, dan ruminansia kecil berkontribusi sekitar 7% sampai 10%. Jika emisi GRK diestimasi berdasarkan komoditas, sapi potong menyumbang paling banyak dengan 41% dari emisi sektor ini, diikuti oleh sapi perah (20%), babi (9%), kerbau (8%), unggas (8%), dan ruminansia kecil (6%). Fermentasi enterik adalah sumber emisi GRK terbesar dari sapi, kerbau, dan ruminansia kecil, yang terdiri antara 43% dan 63% dari emisi sektor peternakan. Namun, untuk babi dan ayam sumber emisi terbesar adalah produksi pakan (antara 25% dan 27%), yang meliputi produksi pupuk, penggunaan mesin, dan transportasi pakan. Fermentasi enterik dari babi jauh lebih rendah daripada ruminansia karena proses pencernaannya tidak menghasilkan metan sebanyak produk sampingan.

Kotoran ternak melepaskan gas CH₄ dan N₂O. Dekomposisi bahan organik yang ditemukan dalam pupuk kandang dalam kondisi anaerob melepaskan metan. Kotoran cair yang ditemukan di laguna atau tangki penampungan melepaskan lebih banyak metan daripada pupuk kering. Emisi metan pupuk merupakan fungsi dari suhu udara, kelembaban, pH, waktu

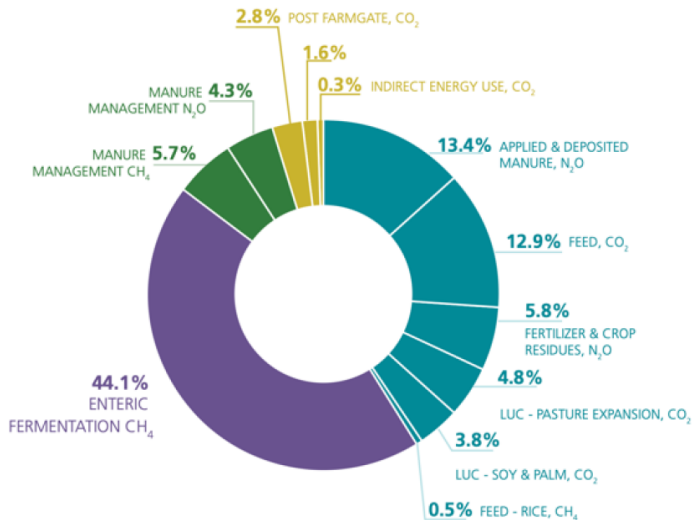
penyimpanan, dan pakan ternak. Diperkirakan emisi metan global dari pembusukan kotoran ternak sebesar 17,5 juta ton CH₄ per tahun. Kotoran babi terdiri dari hampir setengah dari emisi metan terkait kotoran dunia. Di tingkat negara, Cina memiliki emisi terkait metan tertinggi di dunia, terutama karena kotoran babi (Steinfeld et al., 2006).

Emisi N₂O dari penyimpanan pupuk tergantung pada kondisi lingkungan, sistem penanganan, dan durasi pengelolaan sampah. Kotoran harus ditangani secara aerobik dan kemudian secara anaerobik untuk melepaskan emisi N₂O yang lebih banyak mungkin terjadi pada sistem penanganan sampah kering. Steinfeld et al. (2006) melaporkan bahwa emisi N₂O dari kotoran ternak yang disimpan adalah setara dengan 10 juta ton N per tahun.

Emisi nitrogen oksida tanah dari aplikasi pupuk kandang merupakan sumber terbesar emisi N₂O global. Emisi nitrogen dari pupuk yang diaplikasikan atau disimpan tergantung pada infiltrasi tanah, jumlah karbon organik, pH, suhu tanah, curah hujan, dan laju serapan tanaman. Diperkirakan bahwa 1,7 juta ton pupuk N₂O tanah dilepaskan per tahun. Emisi N₂O dari pupuk kandang yang digunakan adalah 40% lebih tinggi pada sistem campuran tanaman-ternak daripada emisi N₂O dari kotoran yang diekskresikan yang disimpan pada sistem padang rumput. Sistem produksi industri memiliki emisi N₂O 90% lebih sedikit daripada sistem campuran tanaman-ternak (Steinfeld et al., 2006).

Biaya energi untuk mengolah hewan dan produknya digabungkan dengan produksi ternak global dari “sistem intensif berorientasi pasar” dapat digunakan untuk memperoleh emisi pemrosesan global. Namun, sumber energi dan variasinya di dunia tidak dapat dipastikan. Penggunaan energi tergantung pada jenis sistem peternakan dan skala kecil atau besar. Lebih dari separuh energi yang digunakan dalam sistem pengurangan adalah untuk produksi pakan, termasuk benih, herbisida, pestisida, dan mesin. Energi substansial juga digunakan untuk sistem pemanas, pendingin, dan ventilasi. Meskipun demikian, beberapa perkiraan penggunaan energi di sektor peternakan telah dikembangkan. Diperkirakan bahwa Amerika Serikat

menghasilkan “beberapa juta” ton emisi CO₂ terkait dengan total produk hewani dan pemrosesan pakan. Mengikuti hal yang sama tren, mereka memperkirakan bahwa dunia menghasilkan “beberapa puluh juta” ton emisi CO₂ dalam pemrosesan produk hewani. Pengangkutan produk ternak ke pengecer dan pengangkutan pakan ke peternakan berkontribusi terhadap emisi GRK. Pelayaran jarak jauh adalah penghasil emisi GRK paling signifikan dalam kategori ini. Misalnya, kedelai dalam jumlah besar diangkut dalam jarak jauh untuk digunakan sebagai pakan. Emisi CO₂ tahunan dalam transportasi daging berdasarkan statistik FAO untuk tahun 2001–2003 diperkirakan antara 800–850 ribu ton CO₂. Estimasi ini mengarah pada pemahaman yang lebih baik tentang kontribusi pemrosesan dan transportasi terhadap beban GRK sektor peternakan. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mendapatkan estimasi perkiraan emisi CO₂ terkait pengolahan dan pengangkutan hasil ternak (Steinfeld et al., 2006). Sumber utama emisi peternakan diilustrasikan pada Gambar 3. Gambar 3. menunjukkan bahwa metan dari fermentasi enterik merupakan penyumbang emisi GRK tertinggi (44,1 persen) untuk sektor peternakan. Emisi N₂O dari pupuk yang diaplikasikan dan disimpan merupakan penyumbang terbesar kedua (13,4 persen), diikuti oleh emisi CO₂ terkait produksi pakan (12,9 persen). Emisi GRK per unit produk ternak untuk beberapa produk ternak diilustrasikan pada Gambar 3 (FAO, 2017) – angka dalam Kg CO₂eq per kg protein. Gambar 3 dengan jelas menunjukkan bahwa produk dari ternak ruminansia, terutama daging, berkontribusi lebih besar terhadap emisi GRK per kg protein daripada ternak monogastrik. Daging sapi dan daging kerbau merupakan produk peternakan dengan emisi CO₂ tertinggi (masing-masing 295 dan 404 per kilogram protein), diikuti oleh daging dari ruminansia kecil (201/kg protein). Telur ayam menyumbang emisi GRK paling sedikit (31/kg protein).



Gambar 4. Sumber utama emisi peternakan Sumber: FAO (2017)

Ternak mengeluarkan gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Pada saat yang sama, ada peluang untuk mengurangi emisi seperti itu di negara berkembang melalui peningkatan efisiensi dalam praktek produksi ternak. Peluang yang begitu besar, namun sebagian besar belum dieksploitasi. Sektor peternakan merupakan kontributor utama perubahan iklim, menghasilkan emisi yang signifikan dari karbon dioksida (CO₂), metan (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O). Diperkirakan bahwa sektor ini mengeluarkan sekitar 7,1 giga ton setara CO₂ (CO₂eq.), sekitar 18 persen dari total emisi gas rumah kaca (GRK) antropogenik (FAO, 2006). Bagian utama emisi GRK berasal dari fermentasi enterik dan pengelolaan pupuk kandang.

2.6. Adaptasi Ternak Terhadap Perubahan Iklim

Langkah-langkah adaptasi melibatkan produksi dan modifikasi sistem manajemen, strategi pemuliaan, kelembagaan dan perubahan kebijakan, kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta perubahan persepsi dan kapasitas adaptasi petani. Diperlukan penelitian tentang penilaian untuk menerapkan

langkah-langkah adaptasi ini dan menyesuainya berdasarkan lokasi dan sistem peternakan. Ini dapat dicapai dengan GIS dan teknologi penginderaan jauh yang dapat diterapkan pada skala luas dan lokal (Thornton et al., 2008).

Adaptasi seperti modifikasi sistem produksi dan manajemen melibatkan diversifikasi hewan ternak dan tanaman, integrasi sistem peternakan dengan kehutanan dan produksi tanaman, dan mengubah waktu dan lokasi operasi peternakan (IFAD, 2010). Diversifikasi ternak dan varietas tanaman dapat meningkatkan toleransi kekeringan dan gelombang panas, dan dapat meningkatkan produksi ternak ketika hewan terpapar tekanan suhu dan curah hujan. Selain itu keragaman tanaman dan ternak ini hewan efektif dalam memerangi penyakit terkait perubahan iklim dan wabah hama. Agroforestri (menanam pohon di samping tanaman dan padang rumput dalam campuran) sebagai pendekatan pengelolaan lahan dapat membantu mempertahankan keseimbangan antara produksi pertanian, perlindungan lingkungan dan penyerapan karbon untuk mengimbangi emisi sector ini. Agroforestri dapat meningkatkan produktivitas dan memperbaiki kualitas udara, tanah, dan air, keanekaragaman hayati, hama dan penyakit, serta memperbaiki siklus hara. Perubahan dalam sistem campuran tanaman-ternak merupakan langkah adaptasi yang dapat meningkatkan ketahanan pangan. Jenis sistem pertanian ini sudah dipraktikkan di dua pertiga dunia, menghasilkan lebih dari separuh susu, daging, dan tanaman seperti sereal, beras, dan sorgum. Perubahan dalam sistem campuran tanaman-ternak dapat meningkatkan efisiensi dengan memproduksi lebih banyak makanan di lahan yang lebih sedikit dengan menggunakan lebih sedikit sumber daya, seperti air. Memperbaiki praktik pemberian pakan sebagai tindakan adaptasi secara tidak langsung dapat meningkatkan efisiensi produksi ternak. Beberapa praktik pemberian makan yang disarankan meliputi, modifikasi komposisi diet, mengubah pemberian makan waktu atau frekuensi, memasukkan spesies agroforestri ke dalam makanan hewani, dan produsen pelatihan dalam produksi dan konservasi pakan untuk zona agro-ekologi yang berbeda. Praktik-praktik ini dapat

mengurangi risiko perubahan iklim dengan meningkatkan asupan atau mengimbangi konsumsi pakan yang rendah, mengurangi beban panas yang berlebihan, mengurangi kerawanan pakan selama musim kemarau, dan mengurangi kekurangan gizi dan kematian hewan (IFAD, 2010).

Pergeseran lokasi produksi ternak dan tanaman dapat mengurangi erosi tanah dan meningkatkan retensi kelembaban dan nutrisi. Tindakan adaptif lainnya dapat berupa menyesuaikan rotasi tanaman dan mengubah waktu pengelolaan (misalnya penggembalaan, penanaman, penyemprotan, pengairan). Ukuran ini dapat disesuaikan dengan perubahan durasi musim tanam, gelombang panas dan variabilitas curah hujan.

Perubahan dalam strategi pemuliaan dapat membantu hewan meningkatkan toleransinya terhadap cekaman panas dan penyakit serta meningkatkan reproduksi dan perkembangan pertumbuhannya. Oleh karena itu tantangannya adalah meningkatkan produksi ternak sambil mempertahankan adaptasi berharga yang ditawarkan oleh strategi pemuliaan, yang semuanya membutuhkan penelitian tambahan. Selain itu langkah-langkah kebijakan yang meningkatkan kapasitas adaptasi dengan memfasilitasi penerapan strategi adaptasi akan menjadi sangat penting. Misalnya mengembangkan bank gen internasional dapat meningkatkan program pemuliaan dan berfungsi sebagai polis asuransi, seperti yang telah dilakukan untuk tanaman dengan koleksi tanaman In-Trust di bank gen CGIAR. Ini akan menjadi terobosan besar yang membutuhkan investasi besar dan kolaborasi internasional untuk berhasil.

Salah satu faktor pembatas keberhasilan perubahan persepsi dan kapasitas adaptasi petani adalah disposisi dan kemampuan petani untuk mengenali masalah dan mengadopsi langkah-langkah adaptasi dan mitigasi perubahan iklim. Karena itu, penting untuk mengumpulkan informasi tentang persepsi petani terhadap langkah-langkah mitigasi dan adaptasi. Salah satu pendekatan untuk mengumpulkan informasi tentang persepsi petani yang telah digunakan untuk penelitian mitigasi dan adaptasi adalah pendekatan kualitatif; menggunakan pertanyaan survei

terbuka atau diskusi kelompok di lokakarya untuk memahami individu dan pendapat. Dengan memahami persepsi petani dan memasukkannya ke dalam kebijakan pembangunan perdesaan, ada peluang lebih besar untuk mencapai tujuan ketahanan pangan dan konservasi lingkungan.

Persepsi risiko dalam pengambilan keputusan petani dapat ditingkatkan melalui pendidikan, suksesi pertanian keluarga, dan interaksi sosial antara petani dan komunitas petani. Penerapkan pendekatan pengelompokan kelas yang menggunakan metodologi statistik untuk menyusun hasil untuk mengevaluasi heterogenitas persepsi risiko peternak sapi perah terhadap perubahan iklim. Hasilnya menunjukkan bahwa pendorong persepsi risiko akibat perubahan iklim adalah anggota keluarga dan pengaruh perencanaan suksesi. Mereka merekomendasikan peningkatan modal sosial komunitas petani untuk mempromosikan penerimaan strategi komunikasi untuk tindakan adaptasi dan mitigasi perubahan iklim.

2.7. Dampak Perubahan Bahan Iklim yang Diamati dan Diproyeksikan Pada Sistem Pertanian

Tanaman sebagian besar penilaian dan proyeksi dampak perubahan iklim pada sistem pertanian berfokus pada bagaimana hasil panen pangan utama dan tanaman komersial di lokasi berbeda akan terpengaruh. Sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa perubahan iklim sampai saat ini, dan akan terus berdampak sistem pada produksi tanaman pangan, seperti: jagung, gandum, beras, dan kedelai.

Peternakan, perubahan iklim dapat berdampak pada ternak dalam berbagai cara termasuk: kuantitas dan kualitas pakan; sistem panas; air; penyakit ternak dan penyakit; keanekaragaman hayati; sistem dan mata pencaharian; dan dampak tidak langsung.

Ketahanan pangan terjadi penurunan hasil global terkait perubahan iklim dan peningkatan variabilitas hasil cenderung

mengarah pada kenaikan harga pangan dan jumlah penduduk yang rawan pangan. Studi menunjukkan proyeksi perubahan suhu dan curah hujan akan menyebabkan kenaikan harga pangan antara 3% dan 84% pada tahun 2050. Kenaikan harga pangan akan mempengaruhi banyak produsen pertanian di sistem-negara berpenghasilan rendah yang sudah menjadi pembeli pangan tetap, serta konsumen miskin lainnya yang menghabiskan sebagian besar pendapatan mereka untuk pangan.

Kesehatan dan aspek lain kesehatan rumah tangga petani, termasuk kemampuan untuk bekerja di bidang pertanian, juga akan dipengaruhi oleh perubahan iklim, termasuk kenaikan suhu, banjir, dan paparan penyakit menular. Peningkatan kerawanan pangan sebagai akibat dari penurunan hasil panen akan memiliki banyak dampak kesehatan, termasuk pada stunting pada anak. Stres akibat kerawanan pangan yang meningkat, penyakit, dan migrasi dapat menyebabkan kecemasan yang parah bagi rumah tangga yang terkena dampak.

Perubahan iklim juga akan berdampak pada sumber daya air, hutan, fauna dan flora liar di darat dan di lautan, infrastruktur, pola migrasi manusia, perdagangan, dan pariwisata. Mengukur dampak bisa jadi sulit, karena banyak hal yang biasanya tidak diberi nilai moneter atau diperdagangkan, seperti nyawa manusia, warisan budaya, kesehatan, dan jasa ekosistem.

Solusi ternak cerdas iklim (climate smart livestock) (CSL) dapat berkontribusi pada pengurangan emisi GRK melalui peningkatan produktivitas ternak, penggunaan sumber daya alam yang efisien, penyerapan karbon, dan integrasi ternak ke dalam lingkaran bioekonomi. Solusi CSL lainnya hanya berfokus pada adaptasi perubahan iklim.

Produktivitas ternak dapat ditingkatkan baik dengan meningkatkan output (misalnya peningkatan produksi susu) atau dengan mengurangi input sambil mempertahankan output yang sama, misalnya dengan menggunakan ransum pakan berkualitas tinggi. Peningkatan produktivitas ternak diperkirakan akan menurunkan emisi per unit produk ternak sebesar 20 hingga 30 persen. Ada produk pakan ternak tertentu yang dapat menurunkan

emisi GRK, tetapi tidak mungkin produk ini tersedia dan terjangkau bagi petani kecil di Asia dan Pasifik dalam waktu dekat.

Contoh solusi CSL yang berfokus pada efisiensi penggunaan sumber daya alam mencakup hasil yang lebih tinggi per hektar, produktivitas air yang lebih tinggi, penggunaan sistem rendah karbon yang efisien, dan pengurangan limbah di sepanjang rantai nilai.

Integrasi ternak yang lebih baik dalam bioekonomi sirkular akan berkontribusi pada pengurangan kerugian dan mengarah pada penurunan emisi GRK secara keseluruhan. Penggunaan sisa tanaman untuk pakan ternak adalah contoh dalam kategori ini, serta pengelolaan pupuk kandang yang lebih baik.

BAB III

EMISI GAS RUMAH KACA SEKTOR PETERNAKAN

3.1. Pendahuluan

Sektor peternakan merupakan sumber emisi gas rumah kaca (GRK) yang signifikan di seluruh dunia, menghasilkan karbon dioksida (CO₂), metan (CH₄) dan nitrogen oksida (N₂O) selama proses produksi. Peternakan berkontribusi terhadap perubahan iklim dengan melepaskan GRK baik secara langsung misalnya dari fermentasi enterik dan pengelolaan pupuk kandang atau secara tidak langsung misalnya dari kegiatan produksi pakan dan konversi hutan menjadi padang rumput (Hirstov et al., 2013). Berdasarkan pada pendekatan penilaian siklus hidup (LCA), diperkirakan bahwa sektor ini mengeluarkan sekitar 7,1 Gt CO₂-eq, atau sekitar 18 persen dari total emisi GRK antropogenik global (Steinfeld et al., 2006).

Sepanjang rantai makanan hewani, sumber utama emisi adalah (FAO, 2006a):

1. Penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan: 2,5 gigaton CO₂ eqv. 36 persen dari emisi sektor; termasuk hutan dan vegetasi alami lainnya digantikan oleh padang rumput dan tanaman pakan di neotropik (CO₂) dan pelepasan karbon dari tanah, seperti padang rumput dan lahan subur yang digunakan untuk produksi pakan (CO₂).
2. Produksi pakan kecuali karbon yang dilepaskan dari tanah: 0,4 gigaton CO₂ eqv. 6 persen dari emisi sektor termasuk bahan bakar fosil yang digunakan dalam pembuatan pupuk kimia untuk tanaman pakan (CO₂) dan pupuk kimia aplikasi pada tanaman pakan dan tanaman pakan polong-polongan N₂O, dan amonia (NH₃).
3. Produksi hewan: 1,9 gigaton CO₂ eqv. 27 persen dari emisi sektor, termasuk fermentasi enterik dari ruminansia (CH₄) dan penggunaan bahan bakar fosil di peternakan (CO₂).

4. Pengelolaan pupuk kandang: 2,2 gigaton CO₂ eqv. 31 persen dari emisi sektor, terutama melalui pupuk kandang penyimpanannya , aplikasi dan pengendapan (CH₄, N₂O, NH₃).
5. Pemrosesan dan transportasi internasional: 0,03 gigaton CO₂ eqv. kurang dari 0,1 persen dari emisi sektor.

Ada perbedaan mencolok dalam intensitas emisi global antar komoditas. Misalnya, pada skala global, intensitas emisi daging dan susu, yang diukur dengan berat produksi, setara dengan rata-rata 46,2 kg CO₂ eqv. per kg berat karkas (CW), 6,1 kg CO₂ eqv./kg CW dan 5,4 kg CO₂ eqv./kg CW masing-masing untuk daging sapi, babi, dan ayam, dan 2,8 kg CO₂ eqv./kg susu (FAO, 2013). Ada variabilitas yang signifikan dalam emisi di berbagai wilayah. Misalnya, LCA FAO untuk emisi GRK dari sektor susu global, menemukan bahwa emisi per unit produk susu sangat bervariasi di antara wilayah yang berbeda. Emisi dari Eropa dan Amerika Utara berkisar antara 1,6 dan 1,9 kg CO₂ eqv. per kg susu terkoreksi lemak dan protein (FPCM) di bidang peternakan. Emisi tertinggi diperkirakan untuk Afrika sub-Sahara dengan rata-rata 9,0 kg CO₂ eqv./kg FPCM di bidang pertanian. Emisi GRK untuk Amerika Latin dan Karibia, Timur Dekat dan Afrika Utara dan Asia Selatan, berkisar antara 3kg dan 5 kg CO₂ eqv./kg FPCM di bidang pertanian. Rata-rata dunia diperkirakan sebesar 2,8 kg CO₂ eqv. (FAO, 2013). Hasil dari studi yang sama terhadap sektor susu global juga ditemukan Emisi GRK berbanding terbalik dengan produktivitas. Pada tingkat produksi susu yang sangat rendah (200 kg per sapi per tahun) emisi ditemukan menjadi 12 kg CO₂ eqv./kg FPCM dibandingkan dengan 1,1 kg CO₂ eqv./kg FPCM untuk produksi tinggi tingkat (sekitar 8 000 kg susu). Hal ini mencerminkan kuatnya hubungan antara intensifikasi peternakan dan emisi GRK dalam skala global (FAO, 2013).

3.2. Emisi Enterik Metan dari Ternak dan Ruminansia Liar

Metan dan CO₂ adalah produk sampingan alami dari mikroba yang fermentasi karbohidrat dan pada tingkat lebih rendah AA di rumen serta kolon hewan ternak. Emisi metan mewakili kerugian sekitar 5% sampai 7% dari gros energi (GE) pakan hingga serendah 3% pada ternak yang diberi pakan biji-bijian yang tinggi dan sekitar 16 g hingga 26 g/kg diet konsumsi bahan kering (KBK) bisa lebih rendah dengan pakan yang mengandung proporsi biji-bijian yang sangat tinggi. Domba dan kambing menghasilkan 10 kg hingga 16 kg CH₄/tahun dan sapi 60 kg hingga 160 kg/tahun, tergantung ukuran dan konsumsi bahan keringnya.

Metan diproduksi dalam kondisi anaerobik ketat oleh prokariota metanogenik yang sangat terspesialisasi, yang semuanya adalah archaea. Pada ruminansia, teknik saat ini memperkirakan bahwa sebagian besar produksi CH₄ terjadi di retikolorumen. Emisi rektal menyumbang sekitar 2% hingga 3% dari total emisi CH₄ pada domba atau sapi perah. Seperti yang dinyatakan oleh Van Soest (1994), masalah dasar dalam metabolisme anaerobik adalah penyimpanan oksigen yaitu, sebagai CO₂ dan pembuangan setara hidrogen yaitu, sebagai CH₄. Baru-baru ini, kelompok baru metanogen metilotrofik termasuk dalam apa yang disebut kelompok rumen cluster-C yang tidak memerlukan hidrogen sebagai sumber energi telah dijelaskan, dan tampaknya berperan dalam pembentukan CH₄ pada ruminansia.

Hewan herbivora nonruminansia domestik (kuda, keledai, bagal) juga menghasilkan CH₄ sebagai hasil proses fermentasi di kolon mereka. Namun, fermentor kolon tidak menghasilkan CH₄ per unit pakan fermentasi sebanyak ruminansia, mungkin karena ketersediaan hidrogen sink selain CH₄ (Jensen, 1996) dan jumlah absolut CH₄ yang lebih rendah yang dihasilkan karena pencernaan pakan di usus halus sebelum memasuki usus belakang. Panel Antar pemerintah untuk Perubahan Iklim Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC, 2006) mengasumsikan emisi CH₄ dari kuda sebesar 18 kg/ekor per tahun dibandingkan dengan 128

kg/ekor per tahun untuk sapi perah berproduksi tinggi dengan berat badan yang sama. Hewan liar, terutama ruminansia, juga mengeluarkan CH₄ dari fermentasi enterik di reticulorumen atau kolon mereka. Saat ini terdapat kontribusi ruminansia liar terhadap emisi GRK global, namun relatif rendah. Emisi CH₄ saat ini dari ruminansia liar (bison dan rusa) untuk Amerika Serikat diperkirakan sekitar 6 Tg setara CO₂ (CO₂e)/tahun, atau 4,3% emisi dari ruminansia domestik (Hristov, 2012). Sebaliknya, pada periode pemukiman awal, ruminansia liar mengeluarkan 62 Tg hingga 154 Tg CO₂e/tahun, tergantung pada asumsi ukuran populasi bison, yang rata-rata sekitar 86% dari emisi CH₄ saat ini dari ruminansia domestik di lingkungan yang berdekatan. Meskipun bahan makanan mereka mirip dengan ruminansia, mereka dilaporkan menghasilkan sedikit atau tidak sama sekali CH₄. Data terbaru oleh Madsen dan Bertelsen (2012), bagaimanapun, melaporkan walabi menghasilkan CH₄ pada tingkat sekitar 1,6% hingga 2,5% dari asupan GE mereka (GEI), yaitu sekitar sepertiga dari emisi CH₄ yang diharapkan dari ruminansia yang mengonsumsi makanan serupa. Sehubungan dengan ruminansia, hewan ternak monogastrik adalah penghasil emisi CH₄ yang kecil. Misalnya, IPCC (2006) mengasumsikan faktor emisi CH₄ untuk babi sekitar 1,2 % hingga 2,8% dari faktor emisi untuk sapi [1,5 vs. 53 (sapi atau sapi yang sedang tumbuh) atau 128 kg CH₄/ekor per tahun untuk produksi tinggi di Amerika Utara. sapi perah]. Perkiraan terbaru menempatkan total emisi GRK dari babi dan unggas masing-masing sekitar 9,5% dan 9,7% dari emisi GRK dari peternakan (FAO, 2013).

3.3. Emisi Manure Peternakan

Kotoran hewan merupakan sumber nutrisi yang mengandung sebagian besar unsur esensial yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman dan dapat menjadi sumber N yang signifikan baik dalam sistem produksi intensif maupun subsisten. Penerapan pupuk kandang pada lahan pertanian meningkatkan bahan organik tanah, biomassa mikroba, dan laju mineralisasi dan memperbaiki sejumlah sifat tanah termasuk kemiringan tanah,

kapasitas menahan air, kandungan oksigen, dan kesuburan; itu juga mengurangi erosi tanah, memulihkan lahan pertanian yang tererosi, mengurangi pencucian nutrisi, dan meningkatkan hasil panen. Kotoran hewan merupakan alternatif untuk pupuk sintetis yang intensif energi dan berbiaya tinggi serta dapat menjadi sumber pupuk yang sangat efektif bila kandungan hara dan laju mineralisasi yang tersedia diselaraskan dengan serapan hara tanaman. Akumulasi limbah organik yang tidak terkelola, bagaimanapun menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan manusia dan hewan. Kekhawatiran termasuk pencucian nitrat (NO_3^-) dan patogen ke air tanah, pertumbuhan ganggang yang tidak seimbang dan eutrofikasi air permukaan dan kerusakan ekosistem yang sensitif, degradasi potensi produksi tanah melalui akumulasi nutrisi, garam, dan logam, serta emisi gas dianggap sebagai suatu risiko kesehatan dan lingkungan.

Pengelolaan kotoran mengacu pada semua kegiatan, keputusan, dan komponen yang digunakan untuk menangani, menyimpan, serta membuang kotoran dan urine dari ternak dengan tujuan melestarikan serta mendaur ulang nutrisi dalam sistem produksi ternak. Ini termasuk akumulasi dan pengumpulan kotoran di gedung, penyimpanan, pemrosesan, dan aplikasi ke lahan pertanian serta pengendapan di padang rumput dan padang penggembalaan dalam sistem penggembalaan.

Pada ruminansia sistem produksi, produksi enterik CH_4 merupakan penyumbang emisi GRK terbesar diikuti oleh CH_4 dari kotoran ternak dan dalam sistem penggemukan sapi, N_2O dari permukaan kandang, serta emisi N_2O dari tanah. Emisi dari sistem peternakan nonruminansia lebih sedikit dibandingkan dengan ruminansia dan sebagian besar CH_4 dan N_2O dari penyimpanan pupuk kandang dan aplikasi lahan (Hristov et al., 2013).

Kontribusi manajemen pupuk kandang untuk global Emisi GRK diperkirakan oleh Steinfeld et al. (2006) menjadi 2,2 Gt setara potensi pemanasan CO_2 (CO_2e) per tahun. Emisi metan dari penyimpanan kotoran diperkirakan 470 Mt CO_2e /tahun pada tahun 2010 dengan perkiraan peningkatan 11% pada tahun 2020 dan emisi N_2O dari penggunaan pupuk, aplikasi pupuk kandang, dan

pengendapan oleh penggembalaan ternak diperkirakan sebesar 2.482 Mt CO₂e/tahun pada tahun 2010 dengan peningkatan yang diharapkan sebesar 18% pada tahun 2020 (USEPA, 2006). Emisi nitrogen oksida dari aplikasi tanah pupuk kandang merupakan kontributor utama total emisi GRK dari pertanian dengan kotoran hewan mewakili 30% sampai 50% dari emisi N₂O pertanian global (Oenema et al., 2005). Baik CH₄ dan N₂O adalah GRK kuat dengan potensi pemanasan global (GWP) masing-masing sebesar 25 kg dan 298 kg CO₂e/kg.

Sebagian besar emisi CH₄ dari pupuk kandang diproduksi dalam kondisi anaerobik selama penyimpanan dengan sangat sedikit setelah aplikasi lahan. Pupuk menghasilkan lebih sedikit CH₄ saat ditangani sebagai padatan (misalnya, di tumpukan atau lubang) atau ketika diendapkan di padang rumput atau rangelands (USEPA, 2005). Oleh karena itu peluang untuk mengurangi emisi CH₄ berpusat pada mencegah kondisi anaerobik selama menyimpan atau menangkap dan mengubah CH₄ yang ada diproduksi, jika kondisi anaerobik hadir. Rata-rata CH₄ emisi dari slury tertutup, slury tidak tertutup, dan tumpukan pupuk menjadi 6,5, 5,4, dan 2,3 kg/m² per tahun, tingkat bervariasi dengan suhu dan waktu dalam penyimpanan.

Emisi langsung N₂O dari penyimpanan pupuk kandang kecil jika dibandingkan dengan emisi CH₄. Agar emisi N₂O terjadi, pupuk kandang terlebih dahulu harus ditangani secara aerobik dimana amonium (NH₄⁺) atau N organik diubah menjadi NO₃⁻ dan nitrit (NO₂⁻) selama nitrifikasi dan kemudian ditangani secara anaerobik di mana NO₃⁻ dan NO₂⁻ direduksi menjadi unsur N (N₂), dengan produksi antara N₂O dan oksida nitrat (NO) melalui denitrifikasi. Sebagian besar N₂O yang dihasilkan dari pupuk kandang diproduksi di tanah yang diubah pupuknya melalui nitrifikasi mikroba dalam kondisi aerobik dan denitrifikasi parsial dalam kondisi anaerobik, dengan denitrifikasi umumnya menghasilkan jumlah N₂O yang lebih besar. Akan tetapi kehilangan N₂O dari permukaan kandang peternakan sapi perah atau fasilitas penggemukan sapi dapat menjadi signifikan. Fakta bahwa sejumlah besar hingga 50% N yang diekskresikan oleh sapi

potong tidak diperoleh kembali dalam kotoran telah didokumentasikan dengan baik untuk berbagai lokasi geografis. Sebagian besar kehilangan ini adalah sebagai amonia (NH_3), tetapi emisi N_2O juga signifikan dan bergantung pada berbagai faktor termasuk kondisi permukaan.

Praktik pengelolaan kotoran di tempat penggemukan sapi bervariasi tetapi biasanya kandang dibersihkan saat hewan dipasarkan yaitu, beberapa kali dalam setahun atau setahun sekali, yang menciptakan kondisi untuk emisi NH_3 dan GRK dari permukaan kandang. Tingkat emisi CH_4 , CO_2 , dan N_2O dari permukaan kandang tempat penggemukan daging sapi North Dakota masing-masing sebesar 38 g, 17 kg, dan 26 g/ekor per hari. Emisi N_2O yang sedikit lebih rendah dilaporkan untuk peternakan sapi perah terbuka di Idaho selatan: 0,13, 0,49, 28,1, dan 0,01 kg/sapi per hari NH_3 , CH_4 , CO_2 , dan N_2O , masing-masing. Mempertimbangkan GWP N_2O yang jauh lebih besar, dibandingkan dengan CH_4 .

Manure mengandung sebagian besar unsur yang diperlukan untuk merangsang proses nitrifikasi dan denitrifikasi tanah yang membentuk N_2O . Proses ini bersifat sementara, bergantung pada jumlah dan bentuk N yang tersedia (NH_4^+ atau NO_3^-), potensi oksidasi-reduksi tanah, sumber C yang dapat terdegradasi, suhu tanah, kadar air, dan populasi mikroba. Organisme denitrifikasi selanjutnya dapat mereduksi N_2O menjadi N_2 dengan laju yang bergantung pada kondisi tanah, dengan banyak faktor yang mengontrol rasio N_2O terhadap N_2 yang dihasilkan. Fraksi N yang tereduksi sempurna menjadi N_2 juga meningkat ketika kandungan air tanah mendekati saturasi. Nitrogen oksida juga dapat diproduksi secara tidak langsung ketika pupuk N hilang melalui penguapan sebagai NH_3 , NO, dan nitrogen dioksida (NO_2) serta dinitrifikasi dan didenitrifikasi di tanah setelah redeposisi. Sebagai hasil dari proses mikroba, emisi N_2O sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan metabolisme, yang membuat pengukuran efek mitigasi menjadi sulit. Meskipun demikian, hasil adopsi praktik mitigasi dapat diperkirakan dengan menggunakan potensi pengurangan emisi N_2O yang diperoleh

ketika diasumsikan kondisi optimal untuk nitrifikasi dan denitrifikasi. Pendekatan ini memungkinkan untuk mengukur efek dari praktik mitigasi dan interaksinya dalam sistem produksi ternak. Karena sifat dari proses antagonis yang dihasilkan dalam emisi CH_4 dan N_2O dimana CH_4 diproduksi dalam kondisi anaerob sedangkan produksi N_2O membutuhkan kadar oksigen yang cukup, beberapa praktik yang menghasilkan pengurangan produksi CH_4 meningkatkan emisi N_2O . Contohnya adalah aerasi pupuk kandang selama penyimpanan untuk mengurangi emisi CH_4 . Proses ini dapat meningkatkan emisi N_2O ketika laju aerasi cukup untuk menciptakan lingkungan aerobik.

Amonia merupakan komponen penting dalam mitigasi GRK. Meskipun bukan GRK, NH_3 dan bentuk terionisasinya, NH_4^+ merupakan komponen penting dari siklus N pupuk. Amonium sebagian besar N dalam pupuk kandang adalah produk pertama dekomposisi urea melalui aksi enzim mikroba urease setelah urin disimpan di lantai gudang dan padang rumput. Urease berlimpah dalam kotoran dan tanah, sehingga urea yang diekresikan dalam urin dengan cepat diubah menjadi NH_4^+ ketika kondisi lingkungan yaitu suhu, pH mendukung. Amonium N dapat dikonversi dalam kondisi aerobik menjadi NO_3^- dan kedua bentuk N sudah tersedia bagi tanaman sedangkan bentuk organik pupuk N umumnya tidak tersedia. Amonium N juga merupakan pembawa N yang tersedia dengan cepat didalam tanah dan prekursor yang diperlukan dalam proses yang mengarah pada emisi N_2O dari penerapan pupuk kandang dan pupuk serta pengendapan urin di padang rumput. Amonia adalah gas volatil atau yang mudah menguap yang terlepas ke atmosfer mengurangi jumlah N yang diangkut ke tanah, yang dapat mengimbangi manfaat penyimpanan pupuk kandang dan praktik mitigasi aplikasi lahan. Secara bersamaan, NH_3 yang lepas ke atmosfer dapat membentuk partikulat yang dapat kembali ke tanah melalui pengendapan kering atau basah. Pengendapan ini dapat membahayakan ekosistem yang sensitif dan berkontribusi terhadap limpasan N dan pencemaran air tanah serta diubah menjadi N_2O melalui denitrifikasi (Hristov et al., 2013).

Penguapan amonia umumnya merupakan jalur kehilangan terbesar untuk pupuk N, dengan kehilangan biasanya mencapai 30% sampai 70% dari kandungan NH_4^+ dari kotoran ternak. Emisi nitrogen juga bisa dalam bentuk N_2 tetapi kehilangan N_2 belum dihitung dengan baik. Diperkirakan bahwa 2% sampai 12% dari pupuk kandang di Padang rumput Inggris hilang karena denitrifikasi ($\text{N}_2 + \text{N}_2\text{O}$) dengan aplikasi permukaan dan 7% hingga 21% hilang dengan injeksi pupuk kandang. Porsi pupuk N yang hilang sebagai N_2O relatif rendah, umumnya di bawah 2% sampai 3%. Berdasarkan pendekatan neraca massa N, diperkirakan bahwa lebih dari 25% masukan N pakan pada peternakan sapi perah tidak diperhitungkan dalam susu dan kotoran setelah 24 jam setelah ekskresi dan ini sebagian besar disebabkan oleh penguapan NH_3 ; kerugian dari penggemukan sapi potong dengan paparan jangka panjang bahkan lebih besar, mencapai 50% (Hristov et al., 2011).

Hubungan antara volatilisasi NH_3 pupuk kandang dan emisi N_2O juga kompleks karena pertama emisi keduanya dapat dikurangi dengan manipulasi diet atau pengelolaan pupuk kandang dan kedua jika teknologi mitigasi mengurangi kehilangan NH_3 , NH_4^+ yang diawetkan nantinya dapat meningkatkan emisi N_2O tanah. Di sisi lain, kehilangan gas N akan mengurangi ketersediaan N untuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi dan, akibatnya, pembentukan N_2O . Oleh karena itu, emisi NH_3 adalah dianggap sebagai komponen penting dari mitigasi N_2O .

BAB IV

MITIGASI EMISI GAS RUMAH KACA SEKTOR PETERNAKAN

4.1. Pendahuluan

Sektor peternakan mewakili sumber emisi gas rumah kaca (GRK) yang signifikan di seluruh dunia, menghasilkan karbon dioksida (CO_2), metan (CH_4) enterik, dan dinitrogen oksida (N_2O) selama proses produksi. Peternakan berkontribusi terhadap perubahan iklim dengan melepaskan GRK baik secara langsung misalnya dari fermentasi enterik dan pengelolaan pupuk kandang atau tidak langsung misalnya, dari kegiatan produksi pakan dan konversi hutan menjadi padang rumput.

Berdasarkan pada pendekatan penilaian siklus hidup atau life cycle assessment (LCA), diperkirakan bahwa sektor ini mengeluarkan sekitar 7,1 Gt $\text{CO}_2\text{-eq}$, atau sekitar 18 persen dari total emisi GRK antropogenik global (Steinfeld et al., 2006). Berdasarkan data Badan Perlindungan Lingkungan AS (USEPA, 2006), kontribusi ternak langsung terhadap emisi non- CO_2 (yaitu, CH_4 dan N_2O) dapat diperkirakan sebesar 7,3% sampai 7,5% dari nilai emisi GRK global untuk tahun 2010 dan 2020 dan bahkan dapat lebih rendah untuk beberapa negara industri 3,1% dari total emisi GRK AS pada tahun 2009 (USEPA, 2011). Fermentasi enterik dan dekomposisi pupuk kandang, proses yang bertanggung jawab atas emisi CH_4 dan N_2O , adalah target utama praktik mitigasi GRK untuk industri peternakan.

Perubahan iklim terkait dengan emisi rumah kaca gas (GRK) yang dihasilkan dari aktivitas manusia tercatat sebagai isu pembangunan manusia yang menentukan saat ini (UNDP, 2008). Melalui produksi pakan, pertumbuhan hewan produktif dan ternak pendukung, serta pembuangan limbah hewan, produksi ternak memberikan kontribusi 8% hingga 18% hal ini tergantung pada metode estimasi yang digunakan dari emisi GRK global. Penting

pengurangan emisi GRK dapat dicapai melalui intensifikasi produksi ternak dan peningkatan produksi teknologi di negara kurang berkembang dan penggunaan praktik mitigasi baru dalam sistem produksi modern (Smith et al., 2007).

Analisis global dengan jelas menunjukkan bahwa emisi gas rumah kaca (GRK) non-CO₂ yaitu, enterik metan (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O) berbanding terbalik dengan produktivitas hewan (Gerber et al., 2011). Lebih banyak pakan, menghasilkan lebih banyak kotoran, dan mengeluarkan jumlah GRK absolut yang lebih besar dari fermentasi enterik atau selama penyimpanan dan aplikasi atau pengendapan kotoran daripada hewan berproduksi rendah. Dikonversi per unit produk hewani, namun, hewan yang berproduksi lebih tinggi biasanya memiliki emisi GRK yang lebih rendah daripada hewan yang berproduksi rendah. Karena itu, meningkatkan produktivitas hewan biasanya berhasil strategi mitigasi emisi GRK dari sistem produksi peternakan.

4.2. Sistem Pengukuran Emisi

Sektor peternakan berkontribusi terhadap emisi GRK melalui emisi metan (CH₄), sebagian besar dari fermentasi enterik; nitrogen oksida (N₂O), dari pupuk kandang dan penggunaan pupuk nitrogen dalam pakan tumbuhan dan karbon dioksida (CO₂), dari pembakaran bahan bakar fosil, perubahan penggunaan lahan yang didorong oleh ekspansi pertanian dan pengurangan karbon tanah dalam beberapa keadaan. Estimasi emisi GRK dari ternak berbeda menurut batasan sistem yang ditetapkan untuk perhitungan. Emisi dapat diklasifikasikan secara langsung, jika diproduksi di peternakan oleh hewan misalnya, fermentasi enterik, atau selama proses pemeliharaan misalnya pupuk kandang dan secara tidak langsung jika diproduksi sebelum peternakan oleh industri terkait misalnya, pupuk nitrogen dalam pakan tumbuhan atau perubahan penggunaan lahan terkait. Kisaran estimasi emisi GRK global yang disebabkan oleh ternak sangat besar, mulai dari 9% hingga 25% dari total emisi, 18 - 23, dengan perbedaan terutama karena metode perhitungan yang berbeda dan apakah emisi tidak langsung dipertimbangkan dalam persamaan atau tidak. Dalam menyajikan

emisi, perlu juga membedakan antara ukuran absolut dan efisiensi karena hal ini dapat menghasilkan hasil yang berbeda. Misalnya, sistem peternakan dapat meningkatkan parameter efisiensinya misalnya emisi per unit produk, meskipun parameter absolutnya total emisi meningkat. Metrik emisi absolut penting dalam hal mengatasi bersama masalah global dalam mengurangi emisi GRK sedangkan sistem pengukuran efisiensi paling relevan dengan ukuran keuangan dan kinerja sistem peternakan lainnya.

Metode yang paling umum untuk menentukan emisi GRK berkaitan dengan volume setara CO₂ yang mengintegrasikan efek dari berbagai gas rumah kaca yang mungkin dihasilkan atau dibuang oleh sistem peternakan. Langkah mutlak ini sangat mendasar untuk menetapkan batas emisi dan tujuan pengurangan emisi untuk UNFCCC dan kebijakan nasional, karena menghubungkan aktivitas peternakan dengan perubahan komposisi dan fungsi atmosfer. Tetapi ada sistem pengukuran berbasis efisiensi atau tingkat lainnya, yang dapat digunakan untuk merencanakan jalur menuju pencapaian tujuan yang efisien tepat. Ini termasuk emisi per hektar, per unit nilai atau per unit produk peternakan, atau per unit protein. Ketika dinyatakan dalam istilah efisiensi ini misalnya GRK per keluaran yang dapat dimakan, pengaturan terbatas dari sistem peternakan industri dapat secara langsung memancarkan lebih sedikit daripada penggembalaan dan sistem campuran dan penggembalaan intensif kurang dari penggembalaan ekstensif. Sebaliknya ketika metode perhitungan mempertimbangkan jumlah sumber daya langsung dan tidak langsung yang digunakan sebagai input oleh sistem peternakan misalnya tanah, kg bahan bakar fosil, sistem campuran, melalui integrasi ternak dan lahan pertanian, dan sistem penggembalaan yang luas, melalui perpindahan kawanan secara oportunistik dan mendapat manfaat dari produktivitas alami dari padang rumput, dapat menunjukkan emisi GRK yang lebih kecil daripada pengelolaan terbatas dan menetap dari sistem peternakan. Oleh karena itu, metrik berbeda yang digunakan mempengaruhi hasil analisis dan tanggung jawab emisi GRK yang dikaitkan dengan beragam sistem peternakan dan dengan demikian, metrik tersebut

memberikan data berbeda untuk menginformasikan pembuat kebijakan dan debat publik yang lebih luas.

Meskipun demikian, terdapat beberapa kekurangan dalam pengukuran emisi. Pertama, untuk memberikan gambaran yang paling jelas, pengukuran emisi GRK harus berhubungan dengan seluruh siklus hidup produk peternakan, termasuk jejak pakan, karena jelas emisi terjadi selama fase produksi dan distribusi input pakan. Kedua, tidak hanya kuantitas tetapi kualitas sumber daya yang digunakan oleh peternakan harus diintegrasikan ke dalam perhitungan. Kuantitas emisi GRK yang sama dari penggunaan biji-bijian yang dapat dimakan manusia untuk memberi makan hewan, atau dari limbah dan padang rumput di lahan marginal, harus diperhitungkan secara konsisten tetapi dibedakan sehingga dapat ditangani secara eksplisit dalam desain dan implementasi kebijakan ketahanan nutrisi. Selain itu biaya dan manfaat lingkungan serta sosial lainnya dapat dimasukkan dalam perhitungan, seperti nilai kegiatan ekonomi yang tidak dihitung, fungsi penggembalaan subsisten dan sistem campuran, yang memberikan nutrisi berharga bagi orang miskin serta mata pencaharian yang unik. di daerah yang dicirikan oleh penggembalaan dan penggembalaan yang luas di mana kurangnya peluang mata pencaharian alternatif ada, dan nilai pelestarian kesehatan ekosistem. Perlu diperhitungkan multifungsi sistem peternakan, dengan mempertimbangkan multi-output dan mengalokasikan emisi GRK ke berbagai output berdasarkan nilai ekonomi relatifnya, sistem penggembalaan mengeluarkan lebih sedikit emisi GRK per unit produk ternak ($\text{CO}_2\text{-eq/kg}$ bobot hidup) daripada sistem penggembalaan campuran, dan gilirannya memiliki emisi lebih rendah dari sistem industri. Ada alasan tambahan untuk spekulasi mengenai apakah area penggembalaan tanpa ternak domestik dapat diisi kembali dengan hewan berkuku liar penghasil metan. Perubahan yang bermanfaat adalah melihat mitigasi GRK sebagai salah satu variabel dalam mempertimbangkan kebijakan dan manajemen dalam perubahan sistem peternakan.

4.3. Mitigasi Emisi CH₄ dari Fermentasi Enterik Melalui Peningkatan Efisiensi Pakan

Emisi metan oleh ruminansia tidak hanya merupakan bahaya lingkungan tetapi juga hilangnya produktivitas, karena metan mewakili hilangnya karbon dari rumen dan karena itu penggunaan energi makanan yang tidak produktif (Johnson and Johnson, 1995; Soliva, et al, 2003). Emisi per hewan dan per unit produk lebih tinggi bila pola makannya buruk. Pendekatan yang paling menjanjikan untuk mengurangi emisi metan dari ternak adalah dengan meningkatkan produktivitas dan efisiensi ternak melalui nutrisi dan genetika yang lebih baik. Efisiensi yang lebih besar berarti porsi energi yang lebih besar dalam pakan ternak diarahkan pada pembentukan produk yang berguna seperti susu dan daging, sehingga emisi metan per unit produk berkurang. Kecenderungan menuju hewan berperforman tinggi dan khususnya monogastrik dan unggas, sangat berharga dalam konteks ini karena mereka mengurangi metan per unit produk. Peningkatan efisiensi produksi juga mengarah pada pengurangan ukuran kawanan yang dibutuhkan untuk menghasilkan tingkat produk tertentu.

Karena banyak negara berkembang berjuang untuk meningkatkan produksi dari hewan ruminansia terutama susu dan daging, peningkatan efisiensi produksi sangat dibutuhkan untuk mewujudkan tujuan ini tanpa meningkatkan jumlah ternak dan emisi metan yang sesuai. Sejumlah teknologi ada untuk mengurangi pelepasan metan dari fermentasi enterik. Prinsip dasarnya adalah meningkatkan pencernaan bahan pakan, baik dengan memodifikasi pakan maupun dengan memanipulasi proses pencernaan. Kebanyakan ruminansia di negara-negara berkembang, khususnya di Afrika dan Asia Selatan, hidup dengan pola makan yang sangat berserat. Secara teknis, perbaikan pola makan ini relatif mudah dicapai melalui penggunaan feed additive atau supplement. Namun, teknik seperti itu seringkali sulit diadopsi oleh produsen ternak kecil yang mungkin kekurangan modal dan pengetahuan yang diperlukan. Dalam banyak kasus peningkatan seperti itu mungkin tidak ekonomis, misalnya jika

permintaan atau infrastruktur tidak mencukupi. Bahkan di negara seperti Australia, produksi susu berbiaya rendah berfokus pada produktivitas per hektar daripada per sapi, sehingga banyak pilihan untuk mengurangi emisi tidak menarik misalnya suplementasi lemak makanan atau peningkatan pemberian makan biji-bijian (Eckard et al., 2010). Pilihan teknis lainnya adalah meningkatkan kadar pati atau karbohidrat yang dapat difermentasi dengan cepat dalam makanan, untuk mengurangi kelebihan hidrogen dan pembentukan CH₄ berikutnya. Sistem ekstensif berbiaya rendah mungkin merasa tidak layak untuk mengadopsi langkah-langkah tersebut. Namun, strategi perencanaan nasional di negara-negara besar berpotensi membawa perubahan tersebut. Misalnya konsentrasikan produksi susu di zona sedang Australia berpotensi menurunkan emisi metan, karena padang rumput beriklim cenderung lebih tinggi dalam karbohidrat larut dan komponen dinding sel yang mudah dicerna.

Efisiensi yang lebih besar dari produksi ternak Amerika Serikat telah menyebabkan peningkatan produksi susu sementara emisi metan menurun selama beberapa dekade terakhir. Potensi efisiensi keuntungan seiring dengan pengurangan metan, bahkan lebih besar untuk produksi daging sapi dan daging ruminansia lainnya. US-EPA (2005) mencantumkan serangkaian tindakan manajemen yang dapat meningkatkan produksi operasi peternakan efisiensi dan mengurangi gas rumah kaca emisi, antara lain:

1. Meningkatkan pengelolaan penggembalaan
2. Pengujian tanah diikuti dengan penambahan pupuk yang tepat
3. Melengkapi pakan ternak dengan nutrisi yang dibutuhkan
4. Mengembangkan program kesehatan ternak preventif
5. Menyediakan sumber air yang tepat dan melindungi kualitas air
6. Meningkatkan genetika dan efisiensi reproduksi.

Saat mengevaluasi teknik pengurangan emisi, penting untuk mengetahui bahwa pakan dan suplemen pakan yang digunakan untuk meningkatkan produktivitas mungkin melibatkan emisi gas rumah kaca yang cukup besar untuk menghasilkannya,

yang akan mempengaruhi keseimbangan secara negatif. Jika produksi bahan pakan tersebut meningkat secara substansial, opsi untuk mengurangi emisi pada tingkat produksi pakan juga perlu dipertimbangkan. Teknologi yang lebih maju juga sedang dipelajari, meskipun belum beroperasi. Ini termasuk pengurangan produksi hidrogen dengan merangsang bakteri asetogenik, defaunasi (menghilangkan protozoa tertentu dari rumen), dan vaksinasi untuk mengurangi metanogen. Pilihan ini akan memiliki keuntungan untuk ruminansia, meskipun pilihan terakhir mungkin menghadapi perlawanan dari konsumen (Monteny et al., 2006). Defaunasi telah terbukti menyebabkan pengurangan emisi metan rata-rata 20 persen (Hegarty, 1998) demikian juga dengan pemberian ekstrak jahe merah mampu menekan aktivitas protozoa yang pada gilirannya mampu menekan produksi gas metan secara in vitro (Tuwaidan, 2020), akan tetapi pemberian dosis rutin dengan agen defaunasi tetap menjadi tantangan.

4. 4. Aditif Pakan

Aditif pakan termasuk probiotik, ekstrak tumbuhan serta enzim seperti enzim spesifik metanogen dapat mendukung pemeliharaan penghalang usus pada hewan, mengurangi variabilitas pemanfaatan nutrisi, mengurangi emisi metan dan meningkatkan kemampuan hewan untuk mengatasi dan memulihkan dari tantangan imunologis. Terdapat feed aditif yang secara selektif menghambat mikroorganisme dalam rumen dan menurunkan emisi metan dari ternak. Misalnya, beberapa perusahaan pakan yang lebih besar (misalnya DSM) saat ini memproduksi aditif komersial untuk ruminansia yang menekan produksi metan (klaimnya sebesar 20 hingga 30 persen). Enzimnya adalah 3-nitrooxypropanol (3NOP). Aditif ini harus diberikan kepada hewan setiap hari. Perlu beberapa waktu agar bahan tambahan pakan ini terjangkau dan tersedia bagi petani kecil di negara berkembang. Rumput laut merah Australia yang umum (*Asparagopsis taxiformis* dan *Asparagopsis armata*) hampir dapat menghilangkan emisi metan saat diumpankan ke sapi dan domba, saat diberi makan sebagai aditif makanan hingga 1 persen dari

ransum kering. Metabolit dalam rumput laut mengganggu enzim yang bertanggung jawab untuk produksi metan dalam rumen. Rumput laut harus diberi makan setiap hari agar efektif. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa baik legum spesies *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) dan *Desmanthus* (*Desmanthus virgatus*) memiliki senyawa yang bekerja pada mikroba dalam rumen yang dapat mengurangi emisi metan hingga 20 persen (FAO, 2013).

4. 5. Senyawa Bioaktif Tumbuhan

Kategori ini mencakup berbagai tanaman sekunder senyawa, khususnya tanin, saponin, minyak esensial dan bahan aktifnya. Tanin dan saponin telah dipelajari secara ekstensif dan menunjukkan potensi yang paling meringankan dalam kategori ini. Tanin, sebagai suplemen pakan atau sebagai tanaman penyamak sering, tetapi tidak selalu, menunjukkan potensi untuk mengurangi emisi CH_4 hingga 20%. Tanin kental terhidrolisis tersebar luas pada hijauan iklim panas dan biasanya dipertimbangkan sebagai antinutrisi meskipun ini dapat memiliki cukup banyak potensi untuk mengurangi jumlah nematoda usus dan memungkinkan produksi yang dapat diterima dengan adanya beban parasit. Tanin pasti akan menjadi antinutrisi ketika konsentrasi protein kasar (CP) diet membatasi produksi karena mengurangi penyerapan AA. Struktur molekul, aktivitas, dan konsentrasi tanin mempengaruhi nilai gizi makanan. Penting agar manfaat dari penurunan hasil CH_4 tidak membayangi efek merugikan tanin pada pencernaan dan produksi, seperti yang diamati pada sapi perah di padang rumput yang dilengkapi dengan biji-bijian. Emisi CH_4 berkurang hingga 30%, tetapi produksi susu sapi juga berkurang sekitar 10%. Sebuah meta-analisis percobaan *in vivo* dengan tanin oleh Jayanegara et al. (2012) melaporkan hubungan yang relatif dekat antara konsentrasi tanin makanan dan produksi CH_4 per unit bahan organik (OM) yang dapat dicerna. Selanjutnya dikatakan tren ($P = 0,08$) untuk penurunan asupan pakan dan penurunan yang signifikan secara statistik dalam pencernaan nutrisi, terutama CP, dengan peningkatan konsentrasi tanin makanan. Penurunan pencernaan makanan yang mengandung tanin kental pada tingkat

tinggi adalah umum dan tidak dapat dihindari jika kehilangan N urin berkurang karena diet N dialihkan ke feses (mengurangi pencernaan CP dan OM yang nyata). Ini merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan ketika memberi makan tanin tambahan atau tanaman tannifera. Hijauan Tanniferous dapat memiliki efek menguntungkan pada kualitas silase dan kesehatan ruminansia karena peningkatan pasokan protein, dan sifat antiparasit; rekomendasi mereka sebagai ternak pakan, bagaimanapun, harus melibatkan karakteristik agronomi spesies ini.

Efek saponin dan tanin untuk produksi CH_4 pada ruminansia sebagian besar dilakukan dalam studi *in vivo* dengan kedua senyawa bioaktif tanaman. Resiko gangguan fungsi rumen dan produktivitas hewan dengan tanin lebih besar dibandingkan dengan saponin untuk menurunkan produksi CH_4 , kisaran konsentrasi tanin lebih sempit daripada saponin. Namun, dalam beberapa situasi diet, protein menurun degradabilitas dalam rumen, dikombinasikan dengan pergeseran protein pencernaan ke usus halus. Pergeseran seperti itu mungkin juga bermanfaat untuk mengurangi kehilangan N urin dibandingkan dengan kehilangan N pada feses. Efek antimetagenik tanin bergantung pada konsentrasi makanan dan berhubungan positif dengan jumlah gugus hidroksil dalam strukturnya. Tanin terhidrolisis cenderung bertindak dengan menghambat metanogen rumen secara langsung sedangkan efek tanin terkondensasi pada produksi CH_4 lebih melalui penghambatan pencernaan serat. Tanin yang dapat dihidrolisis dalam rumen dan beberapa dapat menjadi racun. Penurunan CH_4 dari sekitar 6% menjadi 27% produksi mutlak atau per unit berat badan atau konsumsi bahan kering (Hirstov et al. 2013).

4. 6. Jenis Pakan Kualitas dan Manajemen

Ada hubungan yang jelas antara pencernaan bahan organik pakan, pakan konsentrat atau asupan pati, dan pola fermentasi rumen. Wolin (1960) menyatakan bahwa stoikiometri fermentasi rumen lebih banyak hidrogen, dan akibatnya CH_4 , akan diproduksi

dengan fermentasi serat dibandingkan dengan pati. Fermentasi gula dan pati mengubah fermentasi rumen menjadi produksi propionat ketika pH dalam rumen menurun. Pakan konsentrat 72% vs. 52% menghasilkan peningkatan 59% dalam konsentrasi rumen propionat dan penurunan rasio Asetat:Propionat sebesar 44% pada sapi perah laktasi, disertai dengan penurunan lemak susu (masing-masing 3,20 vs 4,20%). Oleh karena itu karena hubungan yang kuat antara hijauan : konsentrat dan Asetat : Propionat, meningkat dimasukkannya biji-bijian atau memberi makan hijauan dengan pati yang lebih tinggi kandungan, seperti silase sereal utuh pada pakan ruminansia harus menurunkan produksi CH_4 .

Pengaruh Asupan Pakan dan Penyertaan Konsentrat. Asupan pakan merupakan variabel penting dalam memprediksi emisi CH_4 . Meningkatnya asupan pakan, bagaimanapun biasanya meningkatkan laju bagian fraksional dan menurunkan pencernaan, yang dapat meningkatkan ekskresi bahan organik (OM) yang dapat difermentasi dengan pupuk kandang dan dengan demikian CH_4 atau Emisi N_2O , tergantung pada jenis penanganan sistem pupuk kandang.

Meningkatkan proporsi konsentrat dalam ransum akan menurunkan emisi CH_4 per unit asupan pakan dan produk hewani jika produksi tetap sama atau ditingkatkan. Namun, konsentrat umumnya memberikan nutrisi yang lebih mudah dicerna (per unit pakan) daripada pakan serat, yang dapat meningkatkan produktivitas ternak. Hubungan sangat signifikan dan positif antara asupan konsentrat makanan dan produksi susu, susu yang dikoreksi energi, dan lemak susu dan protein susu. Oleh karena itu, CH_4 yang diekspresikan per unit produk (yaitu, E_i) cenderung menurun. Meningkatkan proporsi konsentrat dalam pakan di atas tingkat tertentu, bagaimanapun memiliki efek negatif pada pencernaan serat, yang mana, selain potensi kehilangan produksi, dapat mengakibatkan peningkatan konsentrasi OM yang dapat difermentasi dalam pupuk kandang dan mungkin peningkatan emisi CH_4 dari pupuk kandang yang disimpan. Pengolahan biji-bijian itu sendiri dapat memiliki efek besar pada konsentrasi pati dalam feses. Dengan demikian penurunan produksi CH_4 (per unit

DMI) karena peningkatan pemasukan biji-bijian ke dalam ransum mungkin sebagian diimbangi oleh peningkatan emisi CH_4 dari pupuk kandang. Sejauh mana proses ini akan berlangsung merupakan area yang perlu diselidiki dan dimasukkan dalam model prediksi.

Hijauan dapat dikategorikan menjadi segar atau diawetkan, dengan silase membentuk porsi yang signifikan dari yang terakhir dan diberi ransum seimbang atau sebagai pakan tunggal. Silase sering diberi makan di dalam ruangan dan dapat diukur CH_4 di ruang respirasi, tetapi hijauan segar biasanya digembalakan sehingga asupan tidak dapat diukur secara akurat dalam hubungannya dengan pengukuran CH_4 , seringkali menggunakan teknik pelacak SF_6 . Sebagai alternatif, pakan segar dapat dipotong dan diberi makan di dalam ruangan, memungkinkan penentuan asupan dan metan yang akurat dalam ruang. Karakteristik pakan penting yang dapat mempengaruhi produksi CH_4 adalah kualitas hijauan, khususnya kecernaannya.

Peningkatan asupan hijauan yang diawetkan dengan kualitas buruk dan kurang dapat dicerna memiliki sedikit pengaruh pada produksi CH_4 ketika diekspresikan berdasarkan DMI. Namun untuk pakan dengan daya cerna yang lebih tinggi, peningkatan DMI menekan jumlah CH_4 yang dihasilkan per unit pakan yang dikonsumsi. Selain itu, mengurangi CH_4 yang diproduksi per unit produk dengan mengurangi energi pemeliharaan.

Secara umum pengurangan CH_4 berkorelasi dengan kualitas nutrisi yang lebih besar dan kecernaan, yang merupakan 2 atribut pada jenis hijauan dan kematangan mungkin menjadi indikator. Pengelolaan penggembalaan dapat digunakan sebagai mitigasi potensial melalui penggembalaan hijauan pada kematangan optimal untuk meningkatkan kualitas hijauan, memungkinkan massa herba pra penggembalaan yang memadai atau penggembalaan intensif. Dampak pada mitigasi CH_4 , ketika diskalakan per unit produk hewani, biasanya akan lebih besar ketika hewan mengkonsumsi hijauan berkualitas lebih tinggi (Hristov et al. 2013).

Ruminansia yang diberi makan rumput C4 menghasilkan CH_4 17% lebih banyak per kg asupan bahan organik dibandingkan dengan hewan yang diberi rumput C3 dan 20% lebih banyak daripada hewan yang diberi legum iklim tropis. Rata-rata, rumput C4 memiliki kandungan neutral deterjen fiber (NDF) sekitar 16% lebih tinggi daripada rumput C3 (masing-masing 64,6 vs 55,7%), dan potensi metanogenik yang lebih besar dari karbohidrat struktural dibandingkan dengan karbohidrat nonstruktural. Meskipun kacang-kacangan dapat memiliki potensi mitigasi CH_4 , masalah persistensi yang rendah di padang penggembalaan dan kebutuhan untuk waktu pertumbuhan yang lama merupakan kendala agronomi yang penting untuk penggunaan kacang-kacangan secara luas di iklim tropis.

Peningkatan kualitas atau pencernaan hijauan akan meningkatkan efisiensi produksi dan ini kemungkinan akan mengakibatkan penurunan CH_4 Ei. Peningkatan 10 g/kg konsentrasi OM yang dapat dicerna dari bahan kering silase rumput dapat meningkatkan:

1. hasil susu harian sapi perah laktasi sebesar 0,37 kg
2. penambahan karkas harian sapi potong sebesar 28 g/ekor
3. setiap hari penambahan karkas domba finishing sebesar 10 g/ekor
4. bobot lahir domba sebesar 0,06 kg, dan
5. bobot badan domba pasca beranak sebesar 1,45 kg.

Efek penting dari umur hijauan pada pencernaan silase rumput; setiap penundaan 1 minggu dalam panen rumput mengurangi pencernaan sebesar 3 hingga 3,5 poin persentase.

Penggunaan inokulan bakteri di berbagai kondisi ensiling dan asam format di bawah kondisi ensiling yang sulit diharapkan dapat meningkatkan kinerja ternak yang akan mengurangi CH_4 Ei. Selain itu, ada indikasi bahwa silase inokulan berbasis bakteri asam laktat dapat bertahan hidup di lingkungan rumen dan mungkin secara positif mempengaruhi fermentasi dengan buffer pH rumen meningkatkan pemanfaatan N, dan kemungkinan meningkatkan sintesis protein mikroba dalam rumen dibandingkan dengan silase yang tidak diberi perlakuan.

Beberapa penelitian menunjukkan penurunan produksi CH₄ dengan silase jagung dibandingkan dengan silase rumput. United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA, 2010) melaporkan bahwa penurunan CH₄ sebesar 13% dan 6% per unit pencernaan bahan kering (DMI) dan per unit keluaran susu, masing-masing, saat memberi makan silase rumput 25:75: pakan silase jagung dibandingkan dengan silase rumput 75:25: pakan silase jagung.

Ekskresi N urin juga cenderung berkurang dengan diet silase jagung yang lebih tinggi. Diet tinggi silase jagung cenderung meningkatkan hasil susu (sekitar 4%, yang dihasilkan dari peningkatan asupan pakan) meskipun perbedaannya tidak signifikan secara statistik demikian juga perbandingan lain dari silase jagung dibandingkan dengan rumput. Kandungan serat lebih rendah legum tampaknya menurunkan produksi CH₄ dibandingkan dengan rumput. Pakan berbasis silase jagung diharapkan dapat meningkatkan DMI dan produksi susu pada sapi perah.

Pengelolaan padang rumput dapat memitigasi CH₄. Manajemen penggembalaan intensif menawarkan penggunaan yang lebih efisien dari tanaman hijau yang digembalakan dan konversi hijau yang lebih efisien menjadi daging dan susu, yang menghasilkan pengurangan 22% dari proyeksi emisi CH₄ tahunan dari sapi potong. Pemrosesan biji-bijian dapat menjadi faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi pakan dan mengurangi emisi GRK dari usaha peternakan, dan menemukan asupan pakan yang lebih baik, daya cerna, serta efisiensi pakan dengan pemrosesan yang tepat.

4.7. Mitigasi Emisi CH₄ Melalui Pengolahan Pupuk Kandang dan Biogas.

Emisi metan dari pengelolaan pupuk anaerobik dapat ditekan dengan menggunakan teknologi. Emisi tersebut berasal dari sistem campuran dan industri intensif; kepemilikan yang berorientasi komersial ini biasanya memiliki kapasitas untuk berinvestasi dalam teknologi semacam itu. Potensi pengurangan

emisi dari pengelolaan pupuk kandang cukup besar dan ada banyak pilihan. Pilihan pertama yang jelas untuk dipertimbangkan adalah pemberian makanan berimbang, karena hal itu juga memengaruhi emisi lainnya. Rasio karbon terhadap nitrogen yang lebih rendah dalam makanan menyebabkan peningkatan emisi metan, dalam sebuah mode eksponensial. Pupuk kandang dengan kandungan nitrogen yang tinggi akan mengeluarkan kadar metan yang lebih besar dibandingkan pupuk kandang dengan kandungan N yang lebih rendah. Oleh karena itu, meningkatkan rasio C terhadap N dalam pakan dapat mengurangi emisi.

Suhu di mana kotoran disimpan dapat secara signifikan mempengaruhi produksi metan. Dalam sistem pertanian di mana kotoran disimpan di kandang misalnya pada peternakan babi di mana limbah disimpan di lubang di ruang bawah tanah kandang emisi bisa lebih tinggi daripada bila pupuk kandang disimpan di luar pada suhu lingkungan yang lebih rendah. Pembuangan pupuk kandang yang sering dan lengkap dari lubang penyimpanan dalam ruangan mengurangi emisi metan secara efektif di iklim sedang, tetapi hanya jika ada kapasitas penyimpanan luar ruangan yang memadai dan tindakan tambahan untuk mencegah emisi CH₄ di luar ruangan. Pengurangan produksi gas juga dapat dicapai melalui pendinginan pupuk kandang yang dalam hingga di bawah 10°C, meskipun hal ini memerlukan investasi yang lebih tinggi dan juga konsumsi energi dengan risiko peningkatan emisi karbon dioksida. Pendinginan slury babi dapat mengurangi emisi CH₄ dan N₂O internal sebesar 21 persen dibandingkan dengan tidak didinginkan (FAO, 2006).

Produksi biogas sebagai manfaat tambahan, flaring/pembakaran (oksidasi kimiawi; pembakaran), biofilter khusus (oksidasi biologis), pengomposan dan pengolahan aerobik. Biogas diproduksi oleh pencernaan anaerobik terkontrol - fermentasi bakteri dari bahan organik dalam kondisi terkontrol dalam bejana tertutup. Biogas biasanya terdiri dari 65 persen metan dan 35 persen karbon dioksida. Gas ini bisa dibakar langsung untuk pemanasan atau penerangan, atau dalam boiler gas yang dimodifikasi untuk menjalankan mesin atau generator

pembakaran internal. Diasumsikan biogas bisa mencapai 50 persen pengurangan emisi di iklim dingin untuk pupuk kandang yang jika tidak disimpan sebagai slury cair (dan karenanya memiliki emisi metan yang relatif tinggi). Untuk iklim yang lebih hangat, di mana emisi metan dari pupuk kandang cair sistem penyimpanan diperkirakan lebih dari tiga kali lebih tinggi (IPCC, 1997), potensi pengurangan 75 persen dimungkinkan.

Berbagai sistem tersedia untuk mengeksploitasi potensi besar ini, seperti laguna tertutup, lubang, tangki, dan struktur penyimpanan cairan lainnya. Ini akan cocok untuk sistem biogas skala besar atau kecil, dengan berbagai pilihan teknologi dan berbagai tingkat kecanggihan. Selain itu, laguna tertutup dan sistem biogas menghasilkan slury yang dapat diaplikasikan ke sawah sebagai pengganti kotoran yang tidak diolah, sehingga mengurangi emisi metan. Sistem ini adalah praktik umum di sebagian besar Asia, khususnya di Cina. Di Vietnam, Thailand dan biogas Filipina juga banyak digunakan. Peluang baru di iklim panas adalah penggunaan biogas untuk bahan bakar sistem pendingin modern (misalnya sistem EVAP) dan dengan demikian mencapai penghematan besar pada biaya energi. Namun, di sebagian besar negara tersebut, biogas telah dibantu untuk disebarluaskan melalui skema subsidi atau bentuk promosi lainnya. Pemanfaatan teknologi biogas saat ini terbatas di banyak negara karena kerangka regulasi yang tidak memadai dan tidak adanya insentif keuangan yang sesuai. Penggunaan yang lebih luas dari sistem biogas untuk penggunaan di lahan pertanian atau untuk mengalirkan listrik ke jaringan publik bergantung pada harga relatif dari sumber energi lainnya. Biasanya sistem biogas tidak kompetitif tanpa adanya subsidi, selain di lokasi terpencil di mana listrik dan bentuk energi lainnya tidak tersedia atau tidak dapat diandalkan. Kelayakan biogas juga tergantung pada sejauh mana ada pilihan untuk mencerna produk limbah sehingga dapat meningkatkan produksi gas. Pengembangan lebih lanjut dan promosi pencernaan anaerobik terkontrol akan memiliki efek positif tambahan yang substansial terkait dengan masalah

lingkungan lainnya yang disebabkan oleh kotoran hewan, atau promosi energi terbarukan.

Sumber energi misalnya pencernaan anaerobik menawarkan manfaat dalam hal mengurangi bau dan patogen. Meskipun lebih memakan waktu bagi petani, kemungkinan solusi untuk mengurangi emisi metan juga terletak pada peralihan ke pengelolaan pupuk padat. Perawatan aerobik juga dapat digunakan untuk mengurangi emisi dan bau metan. Dalam praktek penerapan pada pupuk cair melalui aerasi dan pupuk padat dengan pengomposan dan sering memiliki efek samping yang positif pada kandungan patogen.

Pengomposan adalah proses eksotermis aerobik dekomposisi mikroba bahan organik (OM) yang memiliki beberapa manfaat terkait dengan penanganan pupuk kandang, pengendalian bau, pengendalian patogen, stabilisasi OM, tambahan pendapatan pertanian, dan lain-lain. Padatan pupuk kompos, mengikuti pemisahan pupuk menjadi padat dan cair juga digunakan sebagai alas dalam beberapa sistem produksi susu untuk mengurangi biaya produksi dan memberikan kenyamanan sapi, dengan asumsi kesehatan ambing tidak terganggu. Karena sifat dari proses pengomposan, kehilangan N bisa tinggi dan dipengaruhi oleh sejumlah faktor termasuk suhu, rasio C terhadap N, pH, kelembaban, dan konsistensi material. Kompos dapat menjadi sumber emisi N_2O dengan nitrifikasi dan denitrifikasi proses yang terjadi selama pengomposan. Spesies *Bacillus* adalah mikroba yang memegang peran penting dalam degradasi OM dan bakteri pengoksidasi betaproteobacterial NH_3 yang terlibat dalam proses nitrifikasi. Tergantung pada intensitas pengomposan, kehilangan NH_3 bisa sangat tinggi, mencapai 50% dari total N pupuk kandang. Aerasi tumpukan kompos mengurangi emisi CH_4 tetapi dapat meningkatkan kehilangan NH_3 dan N_2O . Dilaporkan bahwa hingga 30% bahan kering, 53% C, dan 42% N awal hilang selama pengomposan pupuk kandang jerami. Kerugian metan menyumbang 6% dari kerugian C. Kehilangan nitrogen oksida mewakili 1% hingga 6% dari total kehilangan N. Penambahan kompos matang dengan oksidator nitrit bakteri pengomposan

kotoran babi secara aktif terbukti mengurangi emisi N_2O hingga 70%. Dampak pengomposan dari berbagai bahan baku termasuk pupuk kandang terhadap emisi GRK adalah pengurangan emisi CH_4 dibandingkan dengan pupuk kandang yang disimpan dalam kondisi anaerobik. Diperkirakan membuat kompos dengan campuran pupuk kandang, kertas koran, dan limbah makanan yang setara dapat menghemat setara dengan 3,1 Mg CO_2 per Mg bahan baku kering yang dikomposkan jika bahan baku tersebut dialihkan dari laguna penyimpanan anaerobik dan tempat pembuangan sampah tanpa mekanisme pengumpulan gas. Kotoran sapi mentah dapat melepaskan dari 160 (musim dingin) sampai 3.600 (musim panas) g/m^3 CH_4 dan 38 sampai 57 g/m^3 N_2O . Untuk pupuk kandang yang dicerna, laju pelepasan masing-masing adalah dari 80 (musim dingin) hingga 1.200 g/m^3 (musim panas) CH_4 dan 40 hingga 76 g/m^3 N_2O . Pengomposan dapat menjadi metode yang efektif untuk mengurangi emisi GRK dari berbagai bahan limbah, termasuk kotoran hewan. Kehilangan NH_3 selama pengomposan pupuk kandang adalah signifikan (Montes et al., 2013).

Cara terbaik untuk mengelola interferensi manusia yang berkelanjutan dalam siklus nitrogen adalah dengan memaksimalkan efisiensi penggunaan N oleh manusia. Mengurangi kandungan nitrogen pupuk kandang seperti yang disarankan dapat menyebabkan penurunan N_2O emisi dari kandang, selama penyimpanan, dan setelah aplikasi ke tanah. Jalur mitigasi penting terletak pada peningkatan efisiensi asimilasi nitrogen hewan yang rendah 14 persen, dibandingkan sekitar 50 persen untuk tanaman, melalui pemberian pakan yang lebih seimbang yaitu dengan mengoptimalkan protein atau asam amino untuk mencocokkan persyaratan yang tepat dari masing-masing hewan atau kelompok hewan. Praktik pemberian makan yang lebih baik juga mencakup pengelompokan hewan berdasarkan jenis kelamin dan fase produksi, serta meningkatkan rasio konversi pakan dengan menyesuaikan pakan dengan persyaratan fisiologis. Namun, bahkan ketika praktik pengelolaan yang baik digunakan untuk meminimalkan ekskresi nitrogen, masih ada sejumlah besar kotoran yang tertinggal.

Titik intervensi lain yang mungkin adalah segera setelah nitrogen reaktif digunakan sebagai sumber daya misalnya pencernaan pakan, tetapi sebelum didistribusikan ke lingkungan. Pada produksi intensif, kehilangan N yang cukup besar dapat terjadi selama penyimpanan terutama melalui penguapan amonia. Penggunaan tangki tertutup hampir dapat menghilangkan kerugian ini. Mempertahankan kerak alami pada permukaan kotoran di tangki terbuka hampir sama efektif dan ekonomisnya. Namun, opsi pertama menawarkan potensi sinergi yang penting untuk mengurangi emisi metan.

Emisi N_2O dari aplikasi slurry ke padang rumput berkurang ketika slurry disimpan selama 6 bulan atau melewati digester anaerob sebelum disebarkan. Dapat dikatakan bahwa selama penyimpanan dan pencernaan anaerobik, C yang tersedia yang sebaliknya akan memicu denitrifikasi dan meningkatkan kehilangan N dalam bentuk gas dimasukkan ke dalam biomassa mikroba atau hilang sebagai CO_2 dan CH_4 . Oleh karena itu ada lebih sedikit C yang tersedia dalam slurry untuk bahan bakar denitrifikasi ketika slurry diterapkan ke tanah. Oleh karena itu pencernaan anaerobik, misalnya untuk produksi biogas, secara substansial dapat memitigasi emisi dinitrogen oksida dan metan asalkan biogas digunakan dan tidak dibuang. Selain itu, listrik dapat dihasilkan dan emisi NO dari penyebaran (dicerna) slurry juga akan berkurang.

Opsi mitigasi selama penyimpanan bersifat kompleks, dan pilihan juga dibatasi oleh kendala biaya pertanian dan lingkungan. Pertukaran penting terjadi antara emisi metan dan dinitrogen oksida: teknologi dengan potensi untuk mengurangi emisi oksida nitrat sering kali meningkatkan emisi metan dan sebaliknya. Perubahan manajemen dari sistem berbasis jerami ke slurry misalnya dapat menghasilkan emisi N_2O yang lebih rendah, tetapi meningkatkan emisi CH_4 . Juga, pemadatan tumpukan pupuk padat untuk mengurangi oksigen yang masuk ke tumpukan dan mempertahankan kondisi anaerobik memiliki keberhasilan yang beragam dalam mengurangi emisi N_2O , dan dapat meningkatkan emisi CH_4 .

Sebagian besar tantangan untuk mengurangi emisi NH_3 dan N_2O jatuh pada petani tanaman. Penggabungan yang cepat dan metode injeksi yang dangkal untuk pupuk kandang mengurangi kehilangan N ke atmosfer setidaknya 50 persen, sementara injeksi yang dalam ke dalam tanah pada dasarnya menghilangkan kehilangan ini kerugian melalui pencucian dapat meningkat. Penggunaan rotasi tanaman yang dapat mendaur ulang unsur hara secara efisien, dan pemberian N mendekati waktu yang dibutuhkan oleh tanaman mengurangi potensi kerugian lebih lanjut. Secara umum kunci untuk mengurangi emisi nitrogen oksida adalah penyempurnaan limbah aplikasi ke tanah berkaitan dengan kondisi lingkungan, termasuk waktu, jumlah dan bentuk aplikasi dalam menanggapi fisiologi tanaman dan iklim.

Pilihan teknologi lain untuk mengurangi emisi selama fase aplikasi/deposisi adalah penggunaan inhibitor nitrifikasi (NI) yang dapat ditambahkan ke senyawa urea atau amonium. Beberapa zat ini berpotensi digunakan di padang rumput di mana senyawa ini bekerja pada N urin, suatu pendekatan diadopsi di Selandia Baru. Biaya NI dapat diimbangi dengan peningkatan efisiensi serapan N tanaman/padang rumput. Pilihan untuk mengurangi emisi dari sistem penggembalaan sangat penting karena merupakan bagian terbesar dari emisi dinitrogen oksida. Untuk hewan penggembalaan, kerugian yang berlebihan dari kotoran dapat dihindari dengan tidak menimbun padang rumput secara berlebihan dan menghindari penggembalaan akhir musim gugur dan musim dingin. Akhirnya, drainase lahan adalah pilihan lain untuk mengurangi emisi nitro oksida sebelum N memasuki fase berikutnya dari nitrogen. Peningkatan kondisi fisik tanah untuk mengurangi kebasahan tanah di lingkungan yang lebih lembab, dan terutama di sistem padang rumput, dapat secara signifikan mengurangi emisi N_2O . Pemadatan tanah, pengolahan dan penggembalaan ternak dapat meningkatkan anaerobisitas tanah dan meningkatkan kondisi untuk denitrifikasi.

4.8. Penyerapan Karbon

Penyerapan karbon dapat dicapai melalui penurunan laju deforestasi, pembalikan deforestasi dengan penanaman kembali, ditargetkan tanaman yang lebih tinggi dengan adaptasi perubahan iklim yang lebih baik varietas, dan perbaikan pengelolaan lahan dan air (Steinfeld et al., 2006). Studi sektor daging sapi yang dilakukan di Brasil diperkirakan pengurangan hingga 25% emisi GRK terkait penggunaan lahan penggembalaan dan perubahan penggunaan lahan, dicapai dengan meningkatkan efisiensi hewan dan ternak. Karbon organik tanah dapat dipulihkan di tanah budidaya melalui pengolahan tanah konservasi, pengurangan erosi, pengelolaan keasaman tanah, penanaman ganda, rotasi tanaman, sisa tanaman lebih tinggi, mulsa dan banyak lagi (Steinfeld et al., 2006). Memperbaiki pengelolaan padang penggembalaan juga dapat menyebabkan penyerapan karbon dengan menggabungkan pohon, memperbaiki spesies tanaman, penyemaian legum, memperkenalkan cacing tanah, dan pemupukan. Selain itu, produktivitas rumput dan tanah penyerapan karbon dapat ditingkatkan dengan meningkatkan tekanan penggembalaan di padang rumput yang memiliki jumlah hewan penggembalaan yang lebih rendah daripada daya dukung ternak. Memperbaiki pengelolaan lahan penggembalaan dapat menyerap sekitar 0,15 gigaton CO₂-eq/ thn secara global (FAO, 2013).

Dibandingkan dengan jumlah karbon yang dilepaskan dari perubahan penggunaan lahan dan degradasi lahan, emisi dari rantai makanan tergolong kecil. Jadi untuk CO₂, fokus lingkungan perlu diarahkan pada isu-isu perubahan tata guna lahan dan degradasi lahan. Di sini sektor peternakan menawarkan potensi yang signifikan untuk penyerapan karbon, khususnya dalam bentuk penggembalaan yang lebih baik. Dalam hal perubahan tata guna lahan, tantangannya terletak pada memperlambat dan akhirnya menghentikan dan membalikkan deforestasi. Proses yang sebagian besar masih belum terkendali perlu segera direncanakan secara sadar, atas dasar pertukaran antara manfaat dan biaya pada skala ruang dan waktu yang berbeda. Deforestasi Amazon, terkait dengan ekspansi pertanian untuk ternak, telah terbukti

berkontribusi besar terhadap emisi karbon dioksida antropogenik global. Menciptakan insentif untuk konservasi hutan dan penurunan deforestasi, di Amazon dan daerah tropis lainnya, dapat menawarkan peluang unik untuk mitigasi perubahan iklim, khususnya mengingat manfaat tambahan dan biaya yang relatif rendah. Setiap program yang bertujuan menyisihkan lahan untuk tujuan penyerapan karbon harus dilakukan tanpa mengancam ketahanan pangan di wilayah tersebut. Satu-satunya pilihan yang tersedia untuk membebaskan lahan yang diperlukan untuk penyerapan karbon adalah intensifikasi produksi pertanian di beberapa lahan yang lebih baik, untuk misalnya dengan peningkatan input pupuk. Diketahui peningkatan emisi karbon dioksida terkait dengan produksi pupuk tambahan akan jauh melebihi emisi karbon organik yang diserap atau dihindari terkait deforestasi. Peningkatan penggunaan pupuk hanyalah salah satu dari banyak pilihan untuk intensifikasi. Lainnya termasuk varietas unggul, beradaptasi lebih baik, dan pengelolaan lahan dan air yang lebih baik.

Emisi karbon dioksida yang relatif rendah dari lahan subur menyisakan sedikit ruang untuk mitigasi yang signifikan. Tapi ada potensi besar untuk penyerapan bersih karbon di tanah yang dibudidayakan. Kapasitas penyerap karbon tanah pertanian dan tanah terdegradasi di dunia adalah 50 persen hingga 66 persen dari kehilangan karbon bersejarah dari tanah sebesar 42 hingga 78 gigaton karbon. Selain itu, penyerapan karbon berpotensi meningkatkan ketahanan pangan dan mengimbangi emisi bahan bakar fosil. Proses tanah, sehubungan dengan karbon, dicirikan oleh kesetimbangan dinamis input (fotosintesis) dan output (respirasi). Di bawah praktik budidaya konvensional, konversi sistem alam menjadi pertanian budidaya mengakibatkan hilangnya karbon organik tanah (SOC) sekitar 20 persen sampai 50 persen dari stok prabudidaya (FAO, 2006).

Perubahan kondisi lingkungan dan pengelolaan lahan dapat menyebabkan perubahan keseimbangan ke tingkat baru yang dianggap stabil. Saat ini telah terbukti praktik baru yang dapat meningkatkan kualitas tanah dan meningkatkan kadar karbon

organik tanah. Potensi penuh untuk penyerapan karbon tanah terestrial tidak pasti, karena kurangnya data dan pemahaman tentang dinamika SOC di semua tingkatan, termasuk skala molekuler, lanskap, regional dan global. Menurut IPCC (2000) meningkatkan praktik biasanya memungkinkan karbon tanah meningkat dengan laju sekitar 0,3 ton karbon per hektar per tahun. Jika praktik-praktik ini diadopsi pada 60 persen dari lahan subur yang tersedia di seluruh dunia, maka akan menangkap sekitar 270 juta ton C per tahun selama beberapa dekade berikutnya. Praktik non-konvensional dapat dikelompokkan menjadi tiga kelas: intensifikasi pertanian, pengolahan tanah konservasi, dan pengurangan erosi. Contoh praktik intensifikasi adalah peningkatan kultivar, irigasi, pemupukan organik dan anorganik, pengelolaan keasaman tanah, pengelolaan hama terpadu, penanaman ganda, dan rotasi tanaman termasuk pupuk hijau dan tanaman penutup. Peningkatan hasil panen menghasilkan lebih banyak karbon yang terakumulasi dalam biomassa tanaman atau perubahan indeks panen. Semakin tinggi sisa tanaman, kadang-kadang dikaitkan dengan hasil yang lebih tinggi, mendukung peningkatan penyimpanan karbon tanah.

Pengolahan tanah konservasi adalah setiap pengolahan tanah dan sistem penanaman dimana 30 persen atau lebih dari sisa tanaman tetap berada di permukaan tanah setelah penanaman. Umumnya juga terdiri dari pengurangan intervensi mekanis selama musim tanam. Pengolahan tanah konservasi dapat mencakup jenis pengolahan tanah tertentu seperti sistem olah tanah tanpa olah tanah, olah tanah berbukit, olah tanah mulsa, olah tanah zona, dan olah tanah strip, yang dipilih oleh petani untuk mengatasi jenis tanah, tanaman yang ditanam, ketersediaan mesin, dan praktik setempat. Meskipun sistem ini awalnya dikembangkan untuk mengatasi masalah kualitas air, erosi tanah dan keberlanjutan pertanian, hal ini juga menyebabkan karbon organik tanah yang lebih tinggi dan peningkatan efisiensi bahan bakar (karena berkurangnya penggunaan mesin untuk budidaya tanah). Oleh karena itu, pada saat yang bersamaan, meningkatkan penyerapan karbon dan mengurangi emisi karbon.

Diperkirakan bahwa pengolahan tanah konservasi dapat menyerap 0,1–1,3 ton C ha⁻¹ y⁻¹ secara global, dan dapat diadopsi secara layak hingga 60 persen lahan subur. Manfaat ini bertambah hanya jika pengolahan tanah konservasi berlanjut: kembali ke pengolahan tanah intensif atau pembajakan papan cetakan dapat meniadakan atau mengimbangi keuntungan apapun dan mengembalikan karbon yang terserap ke atmosfer. Penyerapan karbon tanah dapat lebih ditingkatkan lagi bila tanaman penutup digunakan dalam kombinasi dengan pengolahan tanah konservasi.

Pertanian organik meningkatkan kandungan karbon organik tanah. Manfaat tambahan dilaporkan seperti membalikkan degradasi lahan, meningkatkan kesuburan dan kesehatan tanah. Penerapan praktik ini oleh petani juga menciptakan manfaat di lahan pertanian seperti peningkatan hasil panen. Membalikkan kehilangan karbon organik tanah dari padang rumput yang terdegradasi hingga 71 persen dari padang rumput dunia dilaporkan terdegradasi sampai batas tertentu pada tahun 1991 sebagai akibat dari penggembalaan yang berlebihan, salinisasi, alkalinisasi, pengasaman, dan proses lainnya. Manajemen padang rumput yang lebih baik adalah area utama lainnya di mana kehilangan karbon tanah dapat dibalik yang mengarah ke penyerapan bersih, dengan penggunaan pohon, spesies yang lebih baik, pemupukan dan tindakan lainnya. Karena padang rumput adalah penggunaan lahan antropogenik terbesar, pengelolaan padang rumput yang lebih baik berpotensi menyerap lebih banyak karbon daripada praktik lainnya. Juga akan ada manfaat tambahan, terutama melestarikan atau memulihkan keanekaragaman hayati. Hal ini dapat menghasilkan manfaat di banyak ekosistem.

Di daerah tropis lembab sistem silvo-pastoral merupakan salah satu pendekatan untuk penyerapan karbon dan perbaikan padang rumput. Di tanah penggembalaan lahan kering rentan terhadap degradasi dan penggurunan, yang telah menyebabkan pengurangan dramatis pada emisi terkait peternakan dari tanah yang dibudidayakan. Namun, beberapa aspek tanah lahan kering dapat membantu dalam penyerapan karbon. Tanah kering lebih kecil kemungkinannya untuk kehilangan karbon daripada tanah

basah, karena kurangnya air membatasi mineralisasi tanah dan karenanya aliran karbon ke atmosfer. Akibatnya, tempat tinggal waktu karbon di tanah lahan kering terkadang bahkan lebih lama daripada di tanah hutan. Meskipun laju penyerapan karbon di wilayah ini rendah, hal ini mungkin hemat biaya, terutama dengan mempertimbangkan semua manfaat sampingan untuk perbaikan dan restorasi tanah (FAO, 2004).

Perbaikan kualitas tanah sebagai konsekuensi dari peningkatan karbon tanah akan memiliki dampak sosial dan ekonomi yang penting bagi kehidupan masyarakat yang tinggal di daerah tersebut. Selain itu, terdapat potensi besar untuk penyerapan karbon di lahan kering karena jangkauannya yang luas dan karena hilangnya karbon secara substansial berarti bahwa tanah lahan kering sekarang jauh dari jenuh. Sekitar 18–28 miliar ton karbon telah hilang akibat penggurunan. Dengan asumsi bahwa dua pertiganya dapat diserap kembali melalui restorasi tanah dan vegetasi, potensi penyerapan C melalui control penggurunan dan restorasi tanah adalah 12-18 miliar ton C selama periode 50 tahun. Diperkirakan bahwa ruang lingkup "eko-teknologi" maksimum yang dapat dicapai untuk penyerapan karbon tanah di ekosistem lahan kering mungkin sekitar 1 miliar ton C per tahun, meskipun realisasi potensi ini akan membutuhkan "upaya yang kuat dan terkoordinasi pada skala global menuju pengendalian penggurunan, pemulihan ekosistem yang terdegradasi, konversi ke penggunaan lahan yang sesuai, dan adopsi rekomendasi praktik manajemen di lahan pertanian dan lahan penggembalaan. Untuk padang penggembalaan Australia, yang menempati 70 persen daratan negara itu, tingkat penyerapan potensial lebih baik manajemen telah dievaluasi pada 70 juta ton C per tahun.

Penggembalaan yang berlebihan adalah penyebab terbesar degradasi padang rumput dan faktor utama yang dipengaruhi manusia dalam menentukan tingkat karbon tanahnya. Akibatnya, dalam banyak sistem, manajemen penggembalaan yang lebih baik, seperti mengoptimalkan jumlah stok dan penggembalaan bergilir, akan menghasilkan peningkatan substansial dalam kumpulan

karbon. Ada banyak opsi teknis lainnya, termasuk pengelolaan kebakaran, perlindungan lahan, penyisihan dan peningkatan produksi padang rumput misalnya, pemupukan, introduksi spesies legum dan berakar dalam.. Lahan terdegradasi yang lebih parah membutuhkan rehabilitasi lanskap dan pengendalian erosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asner, G.P., A. J. Elmore., L. P. Olander., R. E. Martin., and A. T. Harris. 2004. Grazing systems, ecosystem responses, and global change. *Annual review of environment and resources*, 29: 261–299.
- Beauchemin, K. A., T. A. McAllister, and S. M. McGinn. 2009. Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Rev.* 4:1–18.
- Dickie, A., Streck, C., Roe, S., Zurek, M., Haupt, F., Dolginow, A., 2014. Strategies for mitigating climate change in agriculture: abridged report. *Climate Focus and California Climate Change and Agricultural Systems Chapter | 13 483 Environmental Associates*, prepared with the support of the Climate and Land Use Alliance. www.agriculturalmitigation.org
- Eckard. R. J., C. Grainger, C. A. M. De Klein. 2010. Options for the Abatement of Methane and Nitrous Oxide from Ruminant Production: A Review. *Livest. Sci.* 130 (2010) 47 – 56.
- FAO, 2013. Climate-smart agriculture sourcebook. <http://www.fao.org/docrep/018/i3325e/i3325e.pdf>.
- FAO, 2021. Climate-smart livestock production. A practical guide for Asia and the Pacific region, Bangkok.
- Gerber, P.J., H. Steinfeld., B. Henderson., A. Mottet., C. Opio., J. Dijkman., A. Falcucci., and G. Tempio. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Gerber, P. J., A. N. Hristov, B. Henderson, H. Makkar, J. Oh, C. Lee, R. Meinen, F. Montes, T. Ott, J. Firkins, C. Dell Al Rotz, A. Adesogan, W. Z. Yang, J. Tricarico, E. Kebreab, G. Waghorn, J. Dijkstra, and S. Oosting. 2013. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock – A review. *Animal* 7 (Suppl. 2):220–234.
- Gerber, P. J., T. Vellinga., C. Opio., and H. Steinfeld. 2011. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livest. Sci.* 139: 100–108.
- Hegarty, R.S. 1998. Reducing methane emissions through elimination of rumen protozoa. Meeting the Kyoto Target. Implications for the Australian Livestock Industries. P.J Reyenga. and S.M. Howden, eds. Bureau of Rural Sciences, 55–61.
- Hristov A. N; J. Oh; J. L. Firkins; J. Dijkstra; E. Kebreab; G. Waghorn; H. P. S. Makkar A. T. Adesogan; W. Yang; C. Lee; P. J. Gerber; B. Henderson; and J. M. Tricarico. 2013. SPECIAL TOPICS—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options1. *J. Anim. Sci.* 2013.91:5045–5069.
- Hristov, A.N., K. Heyler., E. Schurman., K. Griswold., P. Topper., M. Hile., V. Ishler., E.Wheeler, and S. Dinh. 2012. Reducing dietary protein decreased the ammonia emitting potential of manure from commercial dairy farms. *J. Dairy Sci.* 95(Suppl. 2):477(Abstr.).
- Hristov, A.N., M. Hanigan., A. Cole., R. Todd., T. A. McAllister., P. M. Ndegwa, and A. Rotz. 2011. Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots: A review. *Can. J. Anim. Sci.* 91: 1–35.

- Hristov. A. N; T. Ott; J. Tricarico; A. Rotz; G. Waghorn; A. Adesogan; J. Dijkstra; F. Montes; J. Oh; E. Kebreab; S. J. Oosting; P. J. Gerber; B. Henderson; H. P. S. Makkar; and J. L. Firkins. 2013. SPECIAL TOPICS—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options¹. J. Anim. Sci. 2013.91:5095–5113.
- IPCC. 2007. Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ. Press. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/>
- Jayanegara, A., F. Leiber., and M. Kreuzer. 2012. Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from *in vivo* and *in vitro* experiments. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 96: 365–375.
- Johnson, K. A and D. E. Johnson. 1995. Methane Emissions from Cattle. J. Anim. Sci. 73: 2483 – 2492.
- Monteny, G.J., A. Bannink,. And D. Chadwick. 2006. Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. Agric. Ecosyst. Environ. 112: 163–170.
- Montes F. ; R. Meinen; C. Dell; A. Rotz; A. N. Hristov; J. Oh; G. Waghorn; P. J. Gerber; B. Henderson; H. P. S. Makka; and J. Dijkstra. 2013. SPECIAL TOPICS—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options¹. J. Anim. Sci. 2013.91:5070–5094.
- Mosier, A., R. Wassmann., L. Verchot., J. King and C. Palm. 2004. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical

agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. *Environment, Development and Sustainability*, 6(1–2): 11–49

Perdinan; T. Atmaja; R. F. Adi dan W. Estiningtyas. 2018. Adaptasi perubahan iklim dan ketahanan pangan: telaah inisiatif dan kebijakan. *J. Hukum lingkungan Indonesia* Vol. 5 No.1. hal 60-87.

Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsidig, E.A., *et al.*, 2014. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., 488 SECTION | III Context for Sustainable Agricultural Development Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schloßner, S., von Stechow, C., Zwickel, T., Minx, J.C. (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, NY.

Soliva. C. R., I. K. Hindrichsen., L. Meile., M. Kreuzer and A. Machmüller. 2003. Effects of Mixtures of Lauric and Myristic Acid on Rumen Methanogens and Methanogenesis *In Vitro*. *Letters in Applied Microbiology* 2003, 37, 35 – 39.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. & de Haan, C. 2006. *Livestock's long shadow – Environmental issues and options*. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Rojas-Downing M. M., A. P. Nejadhashemi., T. Harrigan., S. A. Woznicki. 2017. *Climate Risk Management* 16 (2017). 145-163.
- Tuwaidan, N. W. T. 2020. Evaluasi Efektivitas Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber officinale* (L.) Rosc.) untuk Menekan Gas Metan dalam Rumen Secara *In Vitro*. Disertasi. Universitas Brawijaya. Malang.
- Wolin, M.J. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. *J. Dairy Sci.* 40: 1452–1459.

TENTANG PENULIS



Dr. Ir. Nancy W. H. Tuwaidan, MP. Lahir di Kaima, Minahasa Utara tanggal 11 Maret 1964. Menyelesaikan Sarjana (S1) pada tahun 1988 di Jurusan Nutrisi dan Makanan Ternak Fakultas Peternakan Universitas Sam Ratulangi. Memperoleh Gelar Magister (MP) pada tahun 2000 di Program Ilmu Ternak Pasca-sarjana Universitas Gadjah Mada. Pada tahun 2020 meraih gelar Doktor Program Studi Ilmu Ternak Pasca-sarjana Universitas Brawijaya. Bekerja sebagai Dosen Nutrisi dan Makanan Ternak FAPET UNSRAT sejak 1989-sekarang. Selama ini mengampu mata kuliah Ilmu Nutrisi Ruminansia, Kimia, Biokimia, Fisiologi Nutrisi, dan Sistem Peternakan Terpadu.

ISBN 978-623-177-045-5 (PDF)



9 786231 770455



Penerbit
**CV. PATRA MEDIA GRAFINDO
BANDUNG**

Jl. Sekeloa Tengah No. 111, Bandung
Telp. (022) 2503000, Fax. (022) 2503001
Email: patra@patramedia.com
Website: www.patramedia.com