

MITIGASI JEJAK KARBON (*CARBON FOOTPRINT*) SEKTOR PETERNAKAN BERBASIS VEGETASI DI D.I. YOGYAKARTA

Feris Firdaus

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Email: feris.firdaus@uii.ac.id

ABSTRAK

Mitigasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari sektor peternakan (unggas, kambing, sapi) yang terus meningkat perlu dilakukan mengingat pertumbuhan penduduk di Provinsi D.I.Yogyakarta juga terus meningkat melebihi dari efek urbanisasi. Penelitian ini bertujuan untuk mitigasi (mengurangi dampak) jejak karbon sektor peternakan yang cukup pesat perkembangannya di D.I.Yogyakarta. Metode analisisnya menggunakan pendekatan content analysis berbasis data sekunder dan informasi yang dikonfirmasi langsung dari pemerintah daerah. Kalkulasi dan analisis jejak karbon dilakukan menggunakan program Excel yang disederhanakan dari instrumen Cool Farm Tool yang merupakan kalkulator jejak karbon khusus untuk sektor peternakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan dari aktifitas sektor peternakan di Provinsi D.I.Yogyakarta terus meningkat berdasarkan hasil analisis data tahun 2018-2021 secara signifikan. Tren peningkatan emisi karbon dari sektor peternakan perlu diantisipasi dengan aksi mitigasi dampaknya salah satunya yang strategis adalah dengan penanaman pohon khususnya di area aktifitas peternakan. Upaya mitigasi dampak lingkungan khususnya dari sektor peternakan perlu dilakukan secara masif salah satunya melalui program penanaman pohon di ruang terbuka khususnya di area aktifitas peternakan.

Kata kunci: mitigasi, jejak karbon, peternakan, vegetasi

ABSTRACT

Mitigation of environmental impacts resulting from the livestock sector (poultry, goats, cows) which continues to increase needs to be done considering that population growth in the Province of D.I.Yogyakarta also continues to increase, especially from the effects of urbanization. This research aims to mitigate (reduce the impact) of the carbon footprint of the livestock sector which is developing quite rapidly in DI Yogyakarta. The analytical method uses a content analysis approach based on secondary data and information that is confirmed directly from the local government. Calculation and analysis of the carbon footprint is carried out using a simplified Excel program from the Cool Farm Tool instrument, which is a carbon footprint calculator specifically for the livestock sector. The results of the study show that carbon dioxide (CO₂) emissions resulting from livestock sector activities in the D.I.Yogyakarta Province continue to increase significantly based on the results of data analysis for 2018-2021. The trend of increasing carbon emissions from the livestock sector needs to be anticipated with one of the strategic impact mitigation actions is by planting trees, especially in livestock activity areas. Efforts to mitigate environmental impacts, especially from the livestock sector, need to be carried out massively, one of which is through a tree planting program in open spaces, especially in livestock activity areas.

Keywords: mitigation, carbon footprint, livestock, vegetation

PENDAHULUAN

Jejak karbon (*carbon footprint*) adalah singkatan dari istilah profesional yang banyak digunakan dalam domain publik untuk mengatasi ancaman yang ditimbulkan oleh perubahan iklim. Jejak karbon umumnya diadopsi sebagai indikator untuk mengukur emisi karbon dioksida (CO₂) atau emisi gas rumah kaca (*greenhouse gases*) dalam karbon dioksida ekuivalen (CO₂-ek) (Chen et al., 2021). Definisi ilmiah dari jejak karbon adalah “ukuran jumlah total eksklusif emisi karbon dioksida (CO₂) yang secara langsung dan secara tidak langsung disebabkan oleh aktivitas atau terakumulasi selama masa hidup suatu produk”, dan gas rumah kaca lainnya (terutama metana, CH₄ dan dinitrogen oksida, N₂O) biasanya ditambahkan ke rentang pengukuran dalam praktik penelitian selanjutnya (Sukhoveeva, 2021; Wiedmann & Minx, 2008).

Emisi gas rumah kaca (GRK) menjadi perhatian global karena dampaknya terhadap perubahan iklim. Produksi pangan telah diidentifikasi sebagai kontributor signifikan terhadap emisi GRK global. Hal ini menyebabkan keinginan yang kuat dari produsen dan konsumen untuk memahami emisi yang terkait dengan makanan yang berbeda dan bagaimana cara menguranginya (Mazzetto et al., 2023). Kesadaran global mengenai dampak Perubahan Iklim telah menyebabkan masyarakat semakin membatasi dan menuntut kepedulian terhadap Emisi Gas Rumah Kaca yang terkait dengan konsumsi. Dalam konteks ini, sektor peternakan dipandang sebagai kontributor utama terhadap berbagai dampak, seperti yang diterapkan di seluruh zona iklim yang berbeda, dengan variasi produksi dan sistem pangan yang tinggi, yang, pada gilirannya, memberikan dampak langsung pada produktivitas dan eksternalitas lingkungan (Florindo et al., 2018). Peternakan merupakan sumber utama emisi gas rumah kaca global. Untuk mengatasi masalah ini, karakteristik ekonomi sirkular yang rendah karbon memberikan landasan teoretis untuk mengurangi emisi karbon di sektor ini (Xue et al., 2019).

Kasus di Eropa, peta jalan Eropa menuju ekonomi rendah karbon bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) 80% di bawah tingkat tahun 1990 pada tahun 2050. Produksi daging sapi merupakan sumber penting emisi GRK dan diperkirakan akan meningkat seiring pertumbuhan populasi dunia. *Life Beef Carbon* adalah inisiatif sukarela Eropa yang bertujuan untuk mengurangi emisi GRK per unit daging sapi (jejak karbon) sebesar 15% selama periode 10 tahun di 2172 peternakan di empat negara penghasil daging sapi besar. Sektor peternakan diperkirakan bertanggung jawab atas 14,5% emisi GRK global, dan produksi daging sapi merupakan sumber terbesar sektor ini. Produksi daging sapi memiliki beberapa efek positif pada lingkungan, termasuk melindungi ekosistem padang rumput dan melestarikan karbon

tanah. Namun, produk makanan ini, seperti makanan lainnya, menghasilkan emisi yang tidak diinginkan selama tahap produksi. Emisi yang dikenal sebagai gas rumah kaca (GRK) atau emisi karbon, dapat menyebabkan perubahan iklim dan dengan demikian mempengaruhi ekosistem global (O'Brien et al., 2020).

Sektor peternakan berada di bawah tekanan yang cukup besar untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK). Pengukuran emisi berulang selama beberapa tahun akan menunjukkan apakah industri berada di jalur yang tepat untuk berhasil memenuhi target pengurangan emisi (Hyland et al., 2016). Sektor peternakan diperkirakan menyumbang 15% dari emisi gas rumah kaca (GRK) global, 80% di antaranya berasal dari sistem hewan ruminansia karena tingginya emisi metana (CH_4) dari fermentasi enterik dan pengelolaan pupuk kandang. Namun, analisis terbaru berpendapat bahwa jejak karbon daging ruminansia dan produk susu berkurang secara substansial jika seseorang mengadopsi metrik alternatif untuk membandingkan emisi GRK - misalnya, potensi perubahan suhu global 100 tahun (GTP 100), bukan potensi pemanasan global 100 tahun yang umum digunakan (GWP 100) - karena penilaian emisi CH_4 yang lebih rendah (Persson et al., 2015).

Produksi ternak merupakan kontributor utama emisi gas rumah kaca (GRK), sehingga akan berperan penting dalam upaya mitigasi. Literatur terbaru menyoroti berbagai strategi untuk memitigasi emisi GRK di sektor peternakan (Llonch et al., 2017). Selain menjadi sumber utama nitro oksida (N_2O), metana (CH_4), dan gas rumah kaca (GRK) lainnya, sektor peternakan juga mengkonsumsi 8% air global. Sektor hewan didominasi oleh pemilik lahan kecil dan miskin sumber daya di negara berkembang. Dampak buruk ternak terhadap lingkungan disebabkan oleh cara peternakan yang dipraktikkan, tidak sedikit karena hewan tidak terintegrasi dengan praktik berbasis pertanian dan kehutanan lainnya. Dengan demikian, meningkatkan dan mempertahankan sektor peternakan sangat penting untuk memajukan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) Perserikatan Bangsa-Bangsa, terutama SDG 1. Tanpa Kemiskinan, SDG 2. Tanpa Kelaparan, SDG 6. Air Bersih dan Sanitasi, dan SDG 13. Aksi Iklim. Pemisahan pemeliharaan ternak dari penanaman tanaman musiman dan pohon tahunan telah memisahkan siklus biogeokimia dan biogeofisik karbon (C), air (H_2O), nitrogen (N), fosfor (P), dan belerang (S) (Lal, 2020).

Penelitian yang berkaitan dengan jejak karbon di D.I.Yogyakarta dari beragam sektor telah dilakukan sebelumnya oleh penulis sendiri. Diantaranya adalah jejak karbon pada sektor ritel (pasar/toko modern) yang berkembang pesat di kawasan perkotaan bahkan pinggiran. Beragam sektor tersebut dianalisis jejak karbonnya dalam rangka mitigasi emisi gas rumah kaca

yang berdampak buruk bagi perubahan iklim nasional bahkan global. Strategi yang direkomendasikan dalam penelitian tersebut adalah mitigasi jejak karbon berbasis vegetasi (pohon) yang perlu ditanam di sekitar kawasan sumber emisi gas rumah kaca. Diketahui bahwa pohon membutuhkan karbon dioksida (CO₂) untuk proses fotosintesis dan pohon juga memiliki kemampuan yang luar biasa dalam mengakumulasi polutan lainnya di udara melalui stomata daunnya. Adapun jumlah vegetasi yang perlu ditanam disesuaikan dengan jumlah karbon dioksida ekuivalen (CO₂-ek) yang dihasilkan (Firdaus, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mitigasi (mengurangi dampak) jejak karbon sektor peternakan yang cukup pesat perkembangannya di Provinsi D.I.Yogyakarta. Terlebih saat pandemi Covid-19 melanda, masyarakat cenderung beraktifitas di rumah dan di kampung masing-masing dengan berternak sapi, kambing/domba, dan unggas. Ditambah lagi dengan adanya tren perlombaan/kontes sapi, domba, dan unggas yang semakin populer di tingkat daerah maupun nasional, diprediksi ke depan sektor peternakan (sapi, kambing/domba, dan unggas) akan semakin berkembang pesat. Oleh sebab itu perlu dilakukan upaya preventif untuk mitigasi jejak karbon yang akan ditimbulkan dari sektor peternakan ini khususnya di wilayah D.I.Yogyakarta berbasis vegetasi/pohon.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini berlokasi di Provinsi D.I.Yogyakarta menggunakan data sekunder yang terkonfirmasi oleh pemerintah daerah. Data yang digunakan adalah data sektor peternakan yang terbit dalam 4 tahun terakhir (2018-2021). Metode analisisnya menggunakan pendekatan content analysis berbasis data sekunder dan informasi yang dikonfirmasi langsung dengan pemerintah daerah. Kalkulasi dan analisis jejak karbon dilakukan menggunakan program Excel yang disederhanakan dari instrumen *Cool Farm Tool* yang merupakan kalkulator jejak karbon khusus untuk sektor peternakan (Chen et al., 2021; Sukhoveeva, 2021; Wiedmann & Minx, 2008). Setelah diketahui secara kuantitatif emisi karbon dioksida ekuivalen (CO₂-ek) yang dihasilkan selanjutnya dikonversi dalam jumlah pohon yang perlu ditanam di wilayah sektor peternakan sebagai upaya reduksi emisinya (Firdaus, 2021). Mengingat satu pohon dapat menyerap hingga 1.5 ton CO₂ dalam kurun waktu pertumbuhan 50 tahun atau (0,03 ton atau 300 kg CO₂ per tahun) maka strategi mitigasi yang dipilih adalah reduksi emisi sektor peternakan menggunakan basis vegetasi/pohon. Selain itu pohon juga memiliki kemampuan untuk mereduksi emisi/cemaran udara selain CO₂ melalui stomata daunnya sehingga mitigasi jejak karbon diharapkan dapat berjalan secara efektif dan efisien (Gülten et al., 2016; Nowak

et al., 2014; Selmi et al., 2016).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diketahui hasil kalkulasi sumber emisi karbon yang fokuskan pada sektor peternakan berikut hasil analisis jejak karbonnya. Selain itu hasil analisis jejak karbon tersebut juga menghasilkan konversi jumlah pohon yang perlu ditanam ekivalen dengan jumlah karbon CO₂ yang diemisikan di Provinsi D.I.Yogyakarta. Dalam Tabel 1 berikut ditampilkan data hasil kalkulasi jumlah sumber emisi karbon berupa jumlah hewan ternak (sapi, kambing dan unggas) yang ada di Provinsi D.I.Yogyakarta.

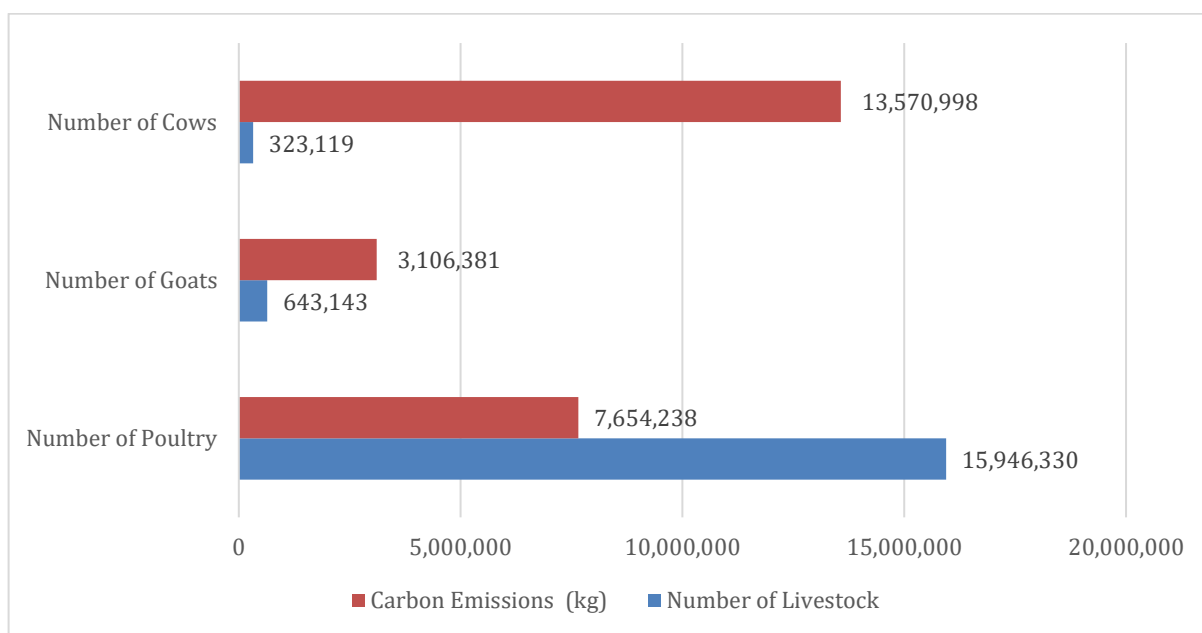
Tabel 1. Jejak karbon sektor peternakan di Provinsi D.I.Yogyakarta

Sumber Emisi Karbon	Tahun			
	2021	2020	2019	2018
Jumlah Hewan Ternak-Unggas (ekor)*	15.946.33 0	16.448.39 4	15.691.16 3	15.632.19 3
Jumlah Hewan Ternak-Kambing (ekor)*	643.143	618.576	607.817	607.887
Jumlah Hewan Ternak-Sapi (ekor)*	323.119	315.109	310.652	319.702
Jumlah Emisi Karbon (ton)	24.332	24.118	23.515	23.867
Jumlah Pohon yang perlu Ditanam	81.106	80.392	78.383	79.557

* http://bappeda.jogjaprov.go.id/dataku/data_dasar/index/171-peternakan?id_skpd=29

Data yang ditampilkan dalam Tabel 1 tersebut merupakan data peternakan yang berhasil dihimpun selama rentang tahun 2018-2021 yang berasal dari Provinsi D.I.Yogyakarta yang membawai Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, Bantul, Kulon Progo dan Gunungkidul. Berkaitan dengan data jumlah hewan ternak yang ada di D.I.Yogyakarta tampak bahwa terjadi peningkatan jumlah secara kuantitas baik unggas, kambing maupun sapi. Berkaitan dengan emisi karbon yang dihasilkan dari aktifitas peternakan tersebut, diketahui secara teori bahwa faktor emisi secara berurutan adalah bahwa unggas memiliki faktor emisi paling rendah dan sapi memiliki faktor emisi paling tinggi, sedangkan kambing berada di antara unggas dan sapi. Sedangkan aktifitas peternakan dalam hal ini hanya disoroti dari proses pemeliharaan hewan ternaknya saja yakni pada konsumsi pakan baik konsentrat maupun hijauan/rumput/daun dan limbah kotoran ternak yang dihasilkan yang menghasilkan emisi karbon (*from gate to gate*). Jadi proses produksi pakan (*cradle*) dan proses pengolahan hasil peternakan menjadi beragam produk olahan daging dan lainnya serta pengolahan limbah yang dihasilkan (*grave*) tidak

diperhitungkan. Dalam Gambar 1-2 berikut tampak detail emisi karbon yang dihasilkan dari aktifitas peternakan.



Gambar 1. Emisi karbon yang dihasilkan dari sumber emisi berupa hewan ternak (contoh kasus data tahun 2021)

Tampak dalam Gambar 1 tersebut bahwa emisi karbon yang dihasilkan oleh 3 jenis hewan ternak yang ada di Provinsi D.I.Yogyakarta menunjukkan grafik yang berbeda. Terlihat dengan jelas bahwa grafik emisi karbon pada hewan ternak jenis sapi menduduki peringkat tertinggi dan yang paling rendah adalah hewan ternak unggas. Hal ini berkaitan dengan faktor emisi pada hewan ternak sapi paling besar menyusul kemudian hewan ternak kambing dan yang paling kecil adalah jenis unggas. Secara fisik dapat dikaitkan dengan ukuran tubuh hewan ternaknya dan secara linear berkaitan dengan volume pakan ruminansia yang diperlukan serta kotoran yang dihasilkan per ekor hewan ternak tersebut sehingga pasti hewan ternak sapi paling besar. Berangkat dari temuan ini, jika dikaitkan dengan kebijakan pembangunan yang berkelanjutan maka dampak lingkungan yang paling kecil pada sektor peternakan dihasilkan oleh peternakan unggas. Namun perlu dicatat bahwa penilaian ini lebih condong pada tahapan proses daur hidup yang terbatas pada *gate to gate* yang berarti bahwa penilaiannya dibatasi mulai dari proses pemeliharaan ditambah pemberian ransum pakan hingga menghasilkan kotoran ternak. Adapun penilaian dari bahan pakan (konsentrat) yang dikonsumsi unggas berasal dari industri pakan yang juga menghasilkan limbah (*cradle*), dan tahap pengolahan pasca panen unggas yang berupa industri pengolahan daging unggas menjadi beragam produk olahan yang menghasilkan limbah (*grave*) tidak dipertimbangkan.

Salah satu kontributor utama emisi gas rumah kaca adalah komponen peternakan yang memiliki kontribusi yang signifikan, domba menjadi bagian penting dari peternakan juga berkontribusi terhadap jejak karbon (CFs) lingkungan melalui fermentasi enterik, emisi kotoran dan input yang digunakan dalam peternakan domba. Untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi dampak lingkungan dari sektor peternakan, peternakan intensif merupakan strategi yang menjanjikan; namun, pendekatan pemberian pakan konsentrat yang lebih banyak untuk meningkatkan produktivitas ternak kurang kompeten dan menimbulkan dampak lingkungan dibandingkan dengan produksi pakan ternak. Selain itu, untuk menghindari ketergantungan pada padang penggembalaan dan menyediakan pakan berkualitas sepanjang tahun untuk hewan, jejak karbon dari produksi hijauan yang diperlukan untuk pakan kandang harus dipertimbangkan bersama dengan praktik agromonik lainnya untuk melakukan penilaian siklus hidup peternakan domba (Lal et al., 2022).

Upaya mitigasi dampak emisi karbon (CO_2) yang dihasilkan dari aktifitas peternakan tersebut diperlukan program penanaman pohon khususnya di sekitar area aktifitas peternakan tersebut dalam jumlah yang mencukupi sesuai hasil perhitungan konversi emisi karbon dengan jumlah pohon yang perlu ditanam. Pohon termasuk vegetasi yang sangat strategis dijadikan sebagai solusi terhadap persoalan kelimpahan karbon dioksida di udara yang berlebih dikarenakan pohon secara khusus dan vegetasi secara umum sangat membutuhkan CO_2 untuk proses fotosintesis di siang hari. Penanaman pohon ini dipandang sebagai alternatif utama dalam upaya pemecahan masalah emisi CO_2 di udara yang berlebih dan dapat menimbulkan dampak lingkungan yang berskala lokal maupun global seperti *urban heat island* dan *global warming*. Vegetasi seperti pohon dan lainnya memiliki fungsi strategis dalam mitigasi dampak emisi maupun polusi lingkungan seperti peneduh/perindang dari teriknya sinar matahari di siang hari, *barrier* angin, kebisingan, bau (*odor*), pencemaran udara, maupun pencemaran air dan tanah oleh bahan kimia beracun dan berbahaya.

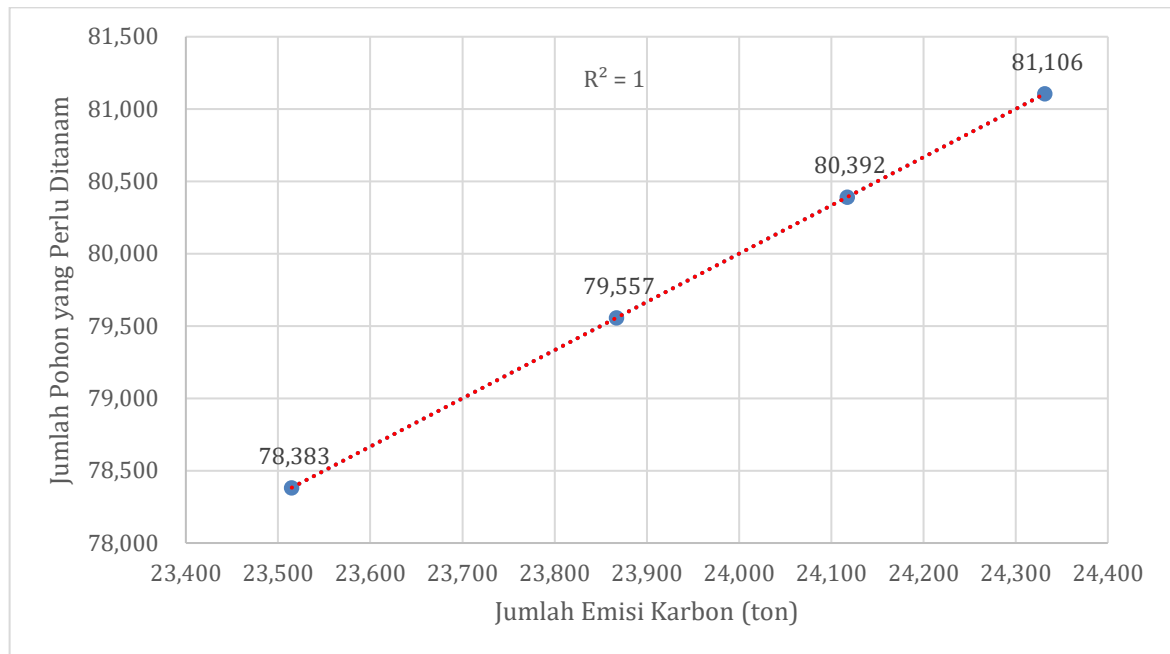
Ruminansia (hewan ternak) bertanggung jawab atas sebagian besar emisi gas rumah kaca pertanian dalam bentuk metana. Peningkatan efisiensi produksi sambil secara signifikan mengurangi emisi GRK dari peternakan, sangatlah mendesak. Kontribusi GRK peternakan terbesar berasal dari sistem produksi sapi dan domba yang bertanggung jawab atas hingga 18% dari total emisi GRK global dan terutama dalam bentuk metana enterik (CH_4). CH_4 enterik merupakan produk sampingan dari fermentasi anaerob bahan organik pakan oleh konsorsium mikroba dalam rumen. Fermentasi enterik ini menghasilkan karbondioksida (CO_2) dan hidrogen (H_2) yang kemudian berperan dalam pembentukan CH_4 pada jalur reduksi oleh

mikroba metanogenik archaea. Perhatian global, karena emisi dari daging merah dan produksi susu mendorong penelitian dan pengembangan bahan pakan inovatif dengan kemampuan untuk secara signifikan mengurangi atau secara khusus menghilangkan CH₄ enterik dan secara menguntungkan mengalihkan energi pakan yang hilang sebagai CH₄ (Kinley et al., 2020).

Oleh karena itu, mengidentifikasi dan mengadopsi sistem yang mengintegrasikan ternak dengan tanaman dan pohon sangat penting untuk mengurangi jejak lingkungan dari produk makanan hewani. Memasukkan padang rumput/hijauan dalam siklus rotasi bersama dengan penggembalaan terkontrol, yang disebut pertanian ley, dan agroforestri, seperti penanaman lorong, adalah contoh sistem pertanian terpadu. Strategi lain untuk mengurangi jejak lingkungan adalah sebagai berikut: mengurangi fermentasi enterik dengan memberi makan secara tepat dan mencocokkan protein makanan dengan kebutuhan hewan, mengolah emisi CH₄ dan N₂O untuk penggunaan lain, dan mengelola pupuk kandang dan kotoran hewan lainnya dengan hati-hati. Pertimbangan penting lainnya adalah mengadopsi berbagai perspektif GRK dan meminimalkan pertukaran gas, mengurangi pemborosan produk hewani, mengurangi penggunaan antibiotik, dan memulihkan lahan penggembalaan untuk penyerapan CO₂ di atmosfer sebagai bahan organik tanah (Lal, 2020).

Strategi utama mitigasi GRK ternak diklasifikasikan menurut pendekatan mitigasinya sebagai pengurangan total emisi (menghambat produksi metana dalam rumen), atau mengurangi intensitas emisi (mengurangi CH₄ per unit keluaran tanpa secara langsung menargetkan metanogenesis). Strategi yang diklasifikasikan sebagai antimetanogenik termasuk penghambat kimia, akseptor elektron (yaitu nitrat), ionofor (yaitu Monensin) dan lipid makanan. Meningkatkan pencernaan pakan, perumahan intensif, peningkatan kesehatan dan kesejahteraan, peningkatan efisiensi reproduksi dan pemuliaan untuk produktivitas yang lebih tinggi dikategorikan sebagai strategi yang mengurangi emisi CH₄ per unit keluaran tanpa secara langsung menargetkan metanogenesis. Strategi yang meningkatkan produktivitas merupakan cara yang sangat menjanjikan untuk mengurangi jejak karbon ternak, meskipun dalam sistem intensif hal ini mungkin dicapai dengan mengorbankan kesejahteraan. Strategi lain dapat secara efektif mengurangi emisi GRK sekaligus meningkatkan kesejahteraan hewan (misalnya suplementasi pakan atau meningkatkan kesehatan). Strategi ini harus sangat didukung karena menangani kelestarian lingkungan dan etika. Untuk mengidentifikasi langkah-langkah yang paling hemat biaya untuk meningkatkan kelestarian lingkungan dari produksi ternak, konsekuensi dari strategi saat ini dan masa depan untuk kesejahteraan hewan harus diteliti dan dikontraskan dengan efektivitasnya dalam mitigasi perubahan iklim (Llonch et al., 2017).

Studi kasus reduksi emisi gas rumah kaca (GRK) di Brasil menunjukkan hasil yang optimis bahwa untuk memperkirakan emisi GRK dari sektor peternakan dengan mempertimbangkan penerapan tiga teknologi emisi rendah karbon yakni pemulihan padang rumput, sistem tanaman-ternak terintegrasi, dan sistem tanaman-ternak-hutan terintegrasi. Hasil studi menunjukkan bahwa teknologi yang diusulkan tersebut dapat memitigasi perubahan iklim dan sektor peternakan di Brasil serta dapat mengurangi jejak karbonnya dan menjadi sektor utama dalam mitigasi emisi (Martins et al., 2018).



Gambar 2. Jumlah pohon yang perlu ditanam sebagai konversi ekuivalen emisi karbon CO₂ yang dihasilkan (contoh kasus data tahun 2018-2021)

Gambar 2 tersebut menunjukkan tren kurva peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan dari aktifitas sektor peternakan di wilayah D.I.Yogyakarta terus meningkat setidaknya berdasarkan hasil analisis pada tahun 2018 sampai 2021 secara signifikan. Tren peningkatan emisi karbon dari sektor peternakan perlu diantisipasi dengan aksi mitigasi dampaknya salah satunya yang strategis adalah dengan penanaman pohon khususnya di area aktifitas peternakan. Upaya mitigasi menggunakan vegetasi ini dipandang strategis lantaran mudah dilakukan oleh siapa saja dan murah serta dapat memberikan dampak positif bagi terciptanya ekosistem yang kondusif bagi kehidupan umat manusia dan makhluk hidup lainnya. Area ruang terbuka yang dipenuhi dengan vegetasi dapat mengembalikan fungsi lingkungannya dengan terbentuknya iklim mikro yang sangat diperlukan bagi kelangsungan makhluk hidup di wilayah tersebut. Iklim mikro tersebut menjadi indikator positif bahwa

wilayah tersebut merupakan wilayah yang ramah lingkungan (*eco-friendly*) dan pastinya berkelanjutan (*sustainable*). Amanat pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) yang tertuang dalam SDGs 2030 mengisyaratkan pada semua *stake holders* untuk bekerjasama secara proaktif dalam mitigasi dampak lingkungan akibat aktifitas manusia yang dapat mencemari lingkungan. Tujuan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development goals*) yang disepakati oleh banyak negara di dunia termasuk Indonesia menjadi tolok ukur dan sekaligus panduan dalam merancang kebijakan pemerintah dan aksi implementasinya secara berkelanjutan.

Dalam beberapa tahun terakhir, urban heat island menjadi faktor luar biasa yang mempengaruhi kenyamanan iklim di perkotaan. Studi di kota Elazig Turki menunjukkan bahwa pohon yang ditanam di perkotaan dapat menurunkan suhu udara perkotaan (*urban heat island*), diketahui bahwa pengaruh udara panas di Elazig, yang ada pada 38,41 lintang dan 39,14 bujur di sisi timur Turki, dievaluasi dengan program dinamika fluida komputasi. Untuk tujuan ini, simulasi dibuat untuk daerah perkotaan di Jalan Gazi yang berorientasi timur-barat, yang memiliki kepadatan perkotaan tertinggi di kota, dan hasilnya dievaluasi dengan parameter potensi panas udara. Ditemukan juga bahwa kecepatan/arah angin dan efek pohon berdampak signifikan terhadap potensi panas udara perkotaan (Gülten et al., 2016).

Pohon menghilangkan polusi udara dengan intersepsi partikel pada permukaan tanaman dan penyerapan polutan gas melalui stomata daun. Namun, besarnya dan nilai pengaruh pohon dan hutan terhadap kualitas udara dan kesehatan manusia berdasarkan studi kasus di seluruh Amerika Serikat masih belum diketahui. Simulasi komputer dengan data lingkungan lokal mengungkapkan bahwa pepohonan dan hutan di Amerika Serikat yang berbatasan langsung menghilangkan 17,4 juta ton (t) polusi udara pada tahun 2010 (kisaran: 9,0-23,2 juta t), dengan dampak kesehatan manusia senilai 6,8 miliar dolar AS (kisaran: \$1,5-13,0 miliar). Penghilangan polusi ini disamakan dengan peningkatan kualitas udara rata-rata kurang dari satu persen. Sebagian besar penghilangan polusi terjadi di daerah pedesaan, sementara sebagian besar dampak dan nilai kesehatan berada di daerah perkotaan. Dampak kesehatan termasuk menghindari lebih dari 850 insiden kematian manusia dan 670.000 insiden gejala pernapasan akut (Nowak et al., 2014).

Penghilangan polusi udara bervariasi terutama dengan tutupan pohon dan tingkat konsentrasi polutan udara. Perbandingan antara tingkat penghilangan polusi dan emisi lokal menunjukkan bahwa pohon yang ditanam di perkotaan berdasarkan studi kasus di kota Strasbourg mengurangi sekitar 7% dari PM10 kasar yang dipancarkan di atmosfer kota; Namun,

efek pada polutan udara lainnya terbilang kecil. Oleh karena itu, penelitian ini mengungkapkan bahwa pohon perkotaan merupakan elemen penting untuk mengurangi polusi udara, tetapi bukan satu-satunya solusi untuk masalah ini. Kemudian direkomendasikan untuk mengasosiasikan penanaman dan pengelolaan sumber daya hutan kota dengan strategi lain yang mempertimbangkan karakteristik lingkungan perkotaan: struktur yang dibangun, desain jalan, lokasi sumber daya lokal, dll (Selmi et al., 2016).

KESIMPULAN

Mitigasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari sektor peternakan (unggas, kambing, sapi) perlu dilakukan mengingat pertumbuhan penduduk di wilayah D.I.Yogyakarta terus meningkat lebih dari efek urbanisasi. Banyak sekali masyarakat dari berbagai daerah yang kemudian tinggal di D.I. Yogyakarta lantaran keperluan sekolah, kuliah, kerja atau bahkan karena motif pilihan kenyamanan tinggal di kota budaya dan kota pendidikan D.I.Yogyakarta. Upaya mitigasi dampak lingkungan khususnya dari sektor peternakan perlu dilakukan secara masif salah satunya melalui program penanaman pohon atau secara umum perluasan vegetasi di ruang terbuka hijau (RTH) khususnya di area aktifitas peternakan. Emisi karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan dari aktifitas sektor peternakan di wilayah D.I.Yogyakarta terus meningkat setidaknya berdasarkan hasil analisis pada tahun 2018 sampai 2021 secara signifikan. Tren peningkatan emisi karbon dari sektor peternakan perlu diantisipasi dengan aksi mitigasi dampaknya salah satunya yang startegis adalah dengan penanaman pohon khususnya di area aktifitas peternakan. Upaya mitigasi menggunakan vegetasi ini dipandang strategis lantaran mudah dilakukan oleh siapa saja dan murah serta dapat memberikan dampak positif bagi terciptanya ekosistem yang kondusif bagi kehidupan ummat manusia dan makhluk hidup lainnya. Diharapkan dengan pelaksanaan program penanaman pohon tersebut dapat mereduksi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh sektor peternakan yang diprediksi terus tumbuh dan berkembang khususnya di Provinsi D.I.Yogyakarta dan umumnya di Indonesia.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih banyak pada Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta yang telah membiayai peneitian ini hingga purna. Penulis juga mengucapkan terimakasih banyak kepada pihak-pihak terkait yang turut serta membantu dalam proses pengumpulan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, R., Zhang, R., & Han, H. (2021). Where has carbon footprint research gone? *Ecological Indicators*, 120, 106882. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106882>
- Firdaus, F. (2021). Green Retail Model Berbasis Jejak Karbon Di Kabupaten Sleman D.I Yogyakarta. *JGG - Jurnal Green Growth Dan Manajemen Lingkungan*, 10(1), 1–13.
- Florindo, T. J., Florindo, G. I. B. d. M., Talamini, E., Costa, J. S. d., Léis, C. M. d., Tang, W. Z., Schultz, G., Kulay, L., Pinto, A. T., & Ruviaro, C. F. (2018). Application of the multiple criteria decision-making (MCDM) approach in the identification of Carbon Footprint reduction actions in the Brazilian beef production chain. *Journal of Cleaner Production*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.116>
- Gülten, A., Aksoy, U. T., & Öztop, H. F. (2016). Influence of trees on heat island potential in an urban canyon. *Sustainable Cities and Society*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.006>
- Hyland, J. J., Styles, D., Jones, D. L., & Williams, A. P. (2016). Improving livestock production efficiencies presents a major opportunity to reduce sectoral greenhouse gas emissions. *Agricultural Systems*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.06.006>
- Kinley, R. D., Martinez-Fernandez, G., Matthews, M. K., de Nys, R., Magnusson, M., & Tomkins, N. W. (2020). Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. *Journal of Cleaner Production*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120836>
- Lal, B., Sarkar, S., Gautam, P., Meena, R. L., Bhatt, R. S., & Sahoo, A. (2022). Environmental impacts and resource use for sheep production in semi-arid India investigated by life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 345. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131088>
- Lal, R. (2020). Integrating Animal Husbandry With Crops and Trees. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 4). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00113>
- Llonch, P., Haskell, M. J., Dewhurst, R. J., & Turner, S. P. (2017). Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: An animal welfare perspective. In *Animal* (Vol. 11, Issue 2). <https://doi.org/10.1017/S1751731116001440>
- Martins, S. C., Assad, E. D., Pavão, E., & Lopes-Assad, M. L. R. C. (2018). Inverting the carbon footprint in Brazilian agriculture: an estimate of the effects of the ABC plan. *Revista Cincia, Tecnologia & Ambiente*, 7(1). <https://doi.org/10.4322/2359-6643.07106>
- Mazzetto, A. M., Falconer, S., & Ledgard, S. (2023). Carbon footprint of New Zealand beef

- and sheep meat exported to different markets. *Environmental Impact Assessment Review*, 98(September 2022), 106946. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106946>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>
- O'Brien, D., Herron, J., Andurand, J., Caré, S., Martinez, P., Migliorati, L., Moro, M., Pirlo, G., & Dollé, J. B. (2020). LIFE BEEF CARBON: a common framework for quantifying grass and corn based beef farms' carbon footprints. *Animal*, 14(4), 834–845. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002519>
- Persson, U. M., Johansson, D. J. A., Cederberg, C., Hedenus, F., & Bryngelsson, D. (2015). Climate metrics and the carbon footprint of livestock products: Where's the beef? *Environmental Research Letters*, 10(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/3/034005>
- Selmi, W., Weber, C., Rivière, E., Blond, N., Mehdi, L., & Nowak, D. (2016). Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban Forestry and Urban Greening*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.010>
- Sukhoveeva, O. E. (2021). Carbon Calculators as a Tool for Assessing Greenhouse Gas Emissions from Livestock. *Doklady Earth Sciences*, 497(1). <https://doi.org/10.1134/S1028334X21030119>
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A Definition of 'Carbon Footprint' ISA Research Report 07-01.' In *Ecological Economics Research Trends*.
- Xue, Y. nan, Luan, W. xin, Wang, H., & Yang, Y. jie. (2019). Environmental and economic benefits of carbon emission reduction in animal husbandry via the circular economy: Case study of pig farming in Liaoning, China. *Journal of Cleaner Production*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117968>