



## Estimasi Keseimbangan Karbon pada Peternakan Kerbau Semi Intensif di Desa Surajaya, Pemalang, Jawa Tengah

### *Estimation of Carbon Balance in Semi-Intensive Buffalo Farming in Surajaya Village, Pemalang, Central Java*

Khansa Aqila Hasnarani<sup>1\*</sup>, Himmatul Hasanah<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Biology Education, Faculty of Mathematics and Natural Science, Yogyakarta State University. Jl. Colombo 1, Karang Malang, Caturtunggal, Depok, Sleman, DIY, Indonesia

\* Corresponding Author. E-mail address: khansaaqila.2020@student.uny.ac.id

#### ARTICLE HISTORY:

Submitted: 13 Juny 2024

Revised: 05 December 2024

Accepted: 08 December 2024

Published: 01 March 2025

#### KATA KUNCI:

Emisi Metana ENterik  
Penyerapan Karbon  
Kerbau Lumpur  
Semi Intensif

#### KEYWORDS:

Enteric Methane Emissions  
Carbon Sequestration  
Mud Buffalo  
Semi Intensive

#### ABSTRAK

Emisi dari sektor peternakan banyak dihasilkan oleh fermentasi enterik melalui sendawa yang dihasilkan ruminansia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keseimbangan karbon pada peternakan kerbau semi intensif di Desa Surajaya, Pemalang, Jawa Tengah. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif. Dengan populasi berupa seluruh ternak kerbau berjumlah 204 ekor di Desa Surajaya, Pemalang, Jawa Tengah. Sebanyak 52 sampel berupa ukuran lingkara dada kerbau, diambil dengan teknik *accidental sampling*. Kemudian sampel dikategorikan berdasarkan status produksi untuk dikonversikan ke satuan ternak dan dilakukan estimasi perhitungan emisi fermentasi enterik dengan metode tier-2 IPCC AFOLU (2006). Hasil penelitian didapatkan bahwa konsep silvopastura kerbau dan hutan jati memberikan dampak positif dari keseimbangan karbon. Emisi metana enterik diestimasikan sebesar 176.58 ton Gg CO<sub>2</sub>-eq/tahun dan estimasi penyerapan karbon sebesar 844.306,67 ton. Sehingga peternakan dapat dimaksimalkan hingga menampung 730.273,64 ST lagi pada area 1830 hektar lahan hutan jati yang ada.

#### ABSTRACT

Emissions from the livestock sector are mostly produced by enteric fermentation through salt peter produced by ruminants. This research aims to determine the carbon balance in semi-intensive buffalo farming in Surajaya Village, Pemalang, Central Java. This research is quantitative descriptive. With a population of 204 buffalo in Surajaya Village, Pemalang, Central Java. A total of 52 samples in the form of buffalo chest circumference measurements were taken using accidental sampling technique. Then the samples were categorized based on production status to be converted to livestock units and estimates of enteric fermentation emissions were calculated using the IPCC AFOLU (2006) tier-2 method. The research results showed that the concept of buffalo silvopasture and teak forests had a positive impact on carbon balance. Enteric methane emissions are estimated at 176.58 tonnes Gg CO<sub>2</sub>-eq/year and estimated carbon absorption at 844,306.67 tonnes. So that livestock can be maximized to accommodate 730,273.64 AU in the existing 1830 hectare area of teak forest land.

## 1. Pendahuluan

Perubahan iklim yang signifikan dengan terjadinya pemanasan global, salah satunya disebabkan oleh peningkatan gas rumah kaca. Aktivitas peternakan ternyata menjadi salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca yang dihasilkan melalui dua proses. Pertama, emisi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$  dari hasil proses fermentasi enterik dalam pencernaan. Selama proses pencernaan pakan oleh mikroba rumen pada ternak ruminansia akan terjadi proses fermentasi enterik yang diekskresikan melalui eruktasi (Akhadiarto dan Rofiq, 2017). Kedua, proses dekomposisi dari limbah feses yang ditumpuk dapat menghasilkan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{N}_2\text{O}$  atau feses yang disebar di lahan menjadi sumber emisi (Nurhayati *et al.*, 2017 dalam Rochman *et al.*, 2023). Pemanasan global dapat terjadi karena sebagian panasnya terperangkap dalam bentuk radiasi infra merah kemudian gas-gas yang ada tersebut menyerap dan memantulkan kembali radiasinya dan tersimpan dipermukaan bumi dalam bentuk panas.

Sektor peternakan tentu saja sangat diperlukan dalam rangka memenuhi kebutuhan daging dalam negeri. Dalam hal ini, Dinas Pertanian Pemalang, Jawa Tengah bagian Peternakan terus mendorong pengembangan ternak ruminansia. Kerbau menjadi salah satu ternak yang berpotensi dikembangkan dilihat dari data pada tahun 2023, populasi ternak kerbau di Pemalang terdapat 6.535 ekor atau terbanyak kedua dari populasi ternak kerbau yang berada di Provinsi Jawa Tengah (BPS Provinsi Jawa Tengah, 2024). Lokasi ternak kerbau tersebar di berbagai daerah Pemalang, salah satunya ada di Desa Surajaya dengan sistem pemeliharaan semi intensif.

Desa Surajaya sendiri berada pada Kecamatan Pemalang yang memiliki lahan jati dari pengelolaan Perum Perhutani dengan luas 2.68,06 hektar (BPS Provinsi Jawa Tengah, 2024). Sehingga aktivitas peternakan berpotensi dikembangkan dengan luasnya lahan penggembalaan. Dengan penerapan sistem semi intensif, peternakan sangat perlu dioptimalkan dengan baik karena sinergi antara sektor peternakan dan kehutanan sangat penting dilakukan agar keseimbangan karbon juga terjaga.

Estimasi emisi dapat dihitung menggunakan metode dan rumus yang telah ditentukan oleh IPCC AFOLU (2006). Dengan keterbatasan alat yang ada, pengukuran lingkaran dada dapat dilakukan untuk mengestimasi bobot badan dengan rumus *schrool*. Estimasi penyerapan karbon dapat dihitung dari rumus allometrik jati yang sudah ditentukan. Kemudian berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti akan melakukan

penelitian dengan tujuan untuk mengetahui seberapa satuan ternak untuk memaksimalkan peternakan kerbau di Surajaya ini dengan memperhatikan keseimbangan karbonnya.

## 2. Materi dan Metode

### 2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Desa Surajaya yang terdiri dari peternakan kerbau semi intensif di Dusun Kemamang dan Dusun Slarang. Dengan total populasi terdapat kerbau sebanyak 204 ekor.

### 2.2. Sampel dan populasi

Desain penelitian ini deskriptif kuantitatif. Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 52 sampel lingkaran dada. Sampel diambil dengan teknik *accidental sampling*. Setiap anggota populasi mempunyai peluang yang sama untuk dipilih sebagai sampel. Dengan metode ini, penentuan sampel berdasarkan kebetulan, yang secara kebetulan bertemu dengan peneliti dapat digunakan sebagai sampel, bila dipandang cocok sebagai sumber data (Sugiyono, 2016).

### 2.2. Pengukuran Lingkaran Dada

Lingkaran dada kerbau diukur dengan pita ukur. Lingkaran dada diukur pada tulang rusuk belakang kaki depan mengikuti lingkaran dada. Pengukuran diukur melingkar pada bagian dada dibelakang punuk atau tulang belikat dalam satuan centimeter (SNI, 2020).

### 2.3. Estimasi Emisi Metana Enterik

Estimasi nilai enterik emisi metana enterik ternak didasarkan lingkaran dada yang dikonversikan ke satuan ternak (AU) menggunakan perhitungan tier-2 IPCC AFOLU (2006), sebagai berikut:

$$\text{CH}_4 \text{ EF emisi} = N(\text{AU}) \times \text{FEe (kg/AU)} \times \frac{21}{1000}$$

|                          |   |                                                                        |
|--------------------------|---|------------------------------------------------------------------------|
| Keterangan               | : |                                                                        |
| CH <sub>4</sub> EF emisi | : | Emisi enterik metana ternak (ton Gg CO <sub>2</sub> -eq/tahun)         |
| N                        | : | Jumlah populasi kerbau                                                 |
| AU                       | : | Satuan ternak (AU)                                                     |
| FEe                      | : | Faktor emisi fermentasi enterik metana (kg CH <sub>4</sub> /AU/tahun)  |
| 21/1000                  | : | Konversi konstan dari CH <sub>4</sub> ke CO <sub>2</sub> dan kg ke ton |

Data lingkar dada (cm) yang didapat digunakan untuk menduga bobot badan kerbau dengan menggunakan rumus *schoorl* yaitu:

$$\text{Bobot Badan (kg)} = \frac{(\text{Lingkar Dada (cm)} + 22)^2}{100}$$

Kemudian hasil bobot badan ternak yang didapat dikonversikan menjadi satuan ternak. Satuan ternak merupakan ukuran hubungan berat badan dengan jumlah makanan ternak dan dapat digunakan dalam berbagai perhitungan masukan dan keluaran fisik. Konversi bobot badan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Satuan Ternak (AU)} = \frac{\text{Jumlah ternak} \times \text{Bobot badan (kg)}}{1 \text{ lbs} = 453 \text{ kg}}$$

#### 2.4. Estimasi Penyerapan Karbon

Dalam perkiraan serapan karbon oleh vegetasi, perhitungan dilakukan dari biomassa tumbuhan menggunakan rumus Manuri *et al.* (2011) dalam Ariyanti *et al.* (2018) sebagai berikut:

$$\text{Serapan CO}_2(\text{kg}) = C \times 3,67 = \text{Biomassa} \times 0,47 \times 3,67$$

Keterangan :

- C : Simpanan karbon dari biomassa (kg)
- Biomassa : Bahan organik tanaman sebagai energi (kg)
- 0,47 : % kandungan karbon
- 3,67 : Perbandingan massa atom CO<sub>2</sub> terhadap C (44/12=3,67)

Kemudian dalam menghitung biomassa vegetasi tegakan jati menggunakan persamaan alometrik pohon jati di Jawa tengah yang sudah ditentukan oleh *The Forest Trust Indonesia* (2018) sebagai berikut:

$$\text{BBA} = 0,015(D^2H)^{1,084}$$

Keterangan:

- BBA : Biomassa bagian atas (kg/pohon)
- D : Diameter setinggi dada (cm)
- H : Tinggi pohon (m)

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Hasil Estimasi Emisi $CH_4$ Fermentasi Enterik

Mengacu pada perhitungan tier-2 IPCC AFOLU (2006), didapatkan total estimasi hasil perhitungan emisi  $CH_4$  fermentasi enterik dengan populasi ternak berjumlah 204 sebesar 176,58 ton Gg  $CO_2$ -eq/tahun. Dengan rincian 34,44 ton Gg  $CO_2$ -eq/tahun dari anakan, 21,47 ton Gg  $CO_2$ -eq/tahun dari muda, dan 120,67 ton Gg  $CO_2$ -eq/tahun dari dewasa.

**Tabel 1.** Hasil Estimasi Emisi  $CH_4$  Fermentasi Enterik

| Status Produksi | Satuan Ternak | Jumlah Kerbau | Emisi $CH_4$ Enterik (ton Gg $CO_2$ -eq/tahun) |
|-----------------|---------------|---------------|------------------------------------------------|
| Anakan          | 29,82         | 65            | 34,44                                          |
| Muda            | 18,59         | 28            | 21,47                                          |
| Dewasa          | 104,48        | 111           | 120,67                                         |
| Total           |               |               | 176,58                                         |

#### 3.2. Hasil Estimasi Penyerapan Karbon oleh Vegetasi Jati

Berdasarkan perhitungan dengan rumus yang sudah ditentukan, penyerapan karbon oleh vegetasi milik Perhutani yang ada di Desa Surajaya sebesar 844.573,33 ton.

**Tabel 2.** Estimasi Penyerapan Karbon

| Estimasi Penyerapan Karbon (ton) |            |
|----------------------------------|------------|
| Vegetasi Tegakan                 | 843.483,25 |
| Setelah dikurangi emisi ternak   | 844.306,67 |

#### 3.3. Kondisi Peternakan Kerbau Semi Intensif di Surajaya

Pada peternakan kerbau di Desa Surajaya, Pemalang, Jawa Tengah menggunakan sistem silvopastura antara hutan jati dengan peternakan kerbau. Kandang kerbau berada di dekat kawasan hutan jati milik Perum Perhutani. Pemeliharaan kerbau oleh peternak disana dengan semi intensif. Setiap hari kurang lebih pada pukul 09.00 - 18.00 WIB, seluruh ternak kerbau digembalakan. Ternak digembalakan dalam hutan mendekati kawasan sungai, kurang lebih satu kilometer dari kandang. Berdasarkan wawancara

dengan peternak, kerbau memakan rerumputan yang ada di sekitar pinggir sungai pada kawasan hutan jati. Untuk induk kerbau yang belum lama lahiran dengan anaknya, tetap berada di kandang dengan air minum dan rumput disediakan oleh peternak. Pada Dusun Kemamang, kerbau tanpa diberi tambahan pakan sedangkan pada Dusun Slarang, kerbau diberi tambahan pakan.

### 3.4. *Proses Metana Fermentasi Enterik Metana*

Berdasarkan **Tabel 1**, hasil emisi gas rumah kaca dari peternakan kerbau di Desa Surajaya, Pemalang, Jawa Tengah yang sudah dikonversikan dalam satuan CO<sub>2</sub> diperkirakan dalam setahun menghasilkan 176,58 ton Gg CO<sub>2</sub>-eq/tahun. Dengan estimasi emisi paling besar adalah kerbau dewasa diperkuat dengan populasinya paling banyak dan satuan ternaknya paling besar. Satuan CO<sub>2</sub> menjadi standar nilai pemanasan global potensial atau GWP sehingga satuan emisi menjadi equivalen (Akhadiarto dan Rofiq 2017).

Pada estimasi emisi gas rumah kaca sektor peternakan ini menggunakan metode tier-2 dengan rumus IPCC AFOLU (2006). Pada penelitian ini faktor emisi gas metana dari fermentasi enterik adalah populasi ternak, satuan ternak, dan status produksi. Kemudian faktor emisi metana enterik didasarkan pada karakteristik ternak pada negara dengan data baku yang sudah ditetapkan oleh IPCC kerbau wilayah Asia ditetapkan oleh IPCC 55 kg CH<sub>4</sub>/ek/thn.

Dalam periode 100 tahun, CH<sub>4</sub> berpotensi menyebabkan pemanasan global 25 kali lebih besar daripada CO<sub>2</sub> (Balcombe *et al.*, 2018). Artinya emisi CH<sub>4</sub> 25 kali lipat lebih berdampak daripada emisi CO<sub>2</sub> dengan jumlah yang sama dalam periode 100 tahun. Gas CH<sub>4</sub> berdampak besar dalam jangka waktu pendek 8,4 tahun, sedangkan CO<sub>2</sub> mempunyai efek kecil dalam jangka waktu lama, lebih dari 100 tahun (Balcombe *et al.*, 2018). Jika terus menumpuk di udara, maka perubahan iklim ekstrem semakin berpotensi terjadi, bahkan menjadi zat utama yang merusak lapisan ozon (Peters dan Thompson, 2020).

Kerbau merupakan hewan ruminansia yang memiliki sistem pencernaan unik. Adanya lambung dengan empat bagian sehingga pakan yang masuk dalam tubuh dapat dicerna secara optimal. Empat bagian tersebut terdiri dari rumen, retikulum, omasum, dan abomasum. Diawali secara mekanis dalam mulut pakan dikunyah menjadi partikel yang lebih kecil dan ditelan masuk ke dalam lambung bagian rumen melalui esofagus. Dalam

rumen, makanan yang halus dan masih kasar dipisahkan. Makanan yang masih kasar akan didorong oleh rumen kembali ke mulut untuk dikunyah lagi sampai halus.

Berdasarkan Pazla *et al.* (2022), dalam lambung ruminansia terjadi fermentasi enterik dengan melibatkan mikroba penghasil asam organik berupa asetat, propionat, dan butirat sebagai sumber energi. Polisakarida dari pakan seperti selulosa dan pati dihidrolisis menjadi monosakarida oleh enzim-enzim mikroba rumen. Lalu, monosakarida diubah menjadi piruvat untuk membentuk produksi akhir berupa VFA. Pembentukan asam propionat membutuhkan  $H_2$ , sedangkan pembentukan asetat dan butirat menghasilkan  $H_2$ . Dari  $H_2$  yang ada ini dimanfaatkan mikroba methanogen dalam mereduksi  $CO_2$  kemudian membentuk  $CH_4$ . Selain itu, metil amin dan metanol juga bisa jadi substrat metanogen dalam membentuk metana. Dengan mengoksidasi methanogen menjadi  $CO_2$  sehingga menghasilkan elektron untuk mereduksi gugus metil menjadi metana (Poulsen *et al.*, 2013 dalam Pazla *et al.*, 2022).

Salah satu usaha dalam mengurangi gas metana dengan memperhatikan kualitas pakan perlu. Selain rumput yang ada di lahan gembala, peternak bisa memberi tambahan pakan berupa silase. Kandungan serat kasar yang tinggi pada pakan mengandung lignin dan selulosa yang tinggi sehingga menyebabkan aktivitas mikroba rumen yang menghasilkan enzim selulase dalam memecah selulosa tinggi. Perlakuan silase yang memanfaatkan bakteri asam laktat dapat memecah ikatan lignin dan selulosa sehingga dapat meningkatkan pencernaan (Mc Donald, 1988 dalam Nur *et al.*, 2015).

### 3.5. Penyerapan Karbon oleh Vegetasi

Pada Desa Surajaya, jati (*Tectona grandis*) ditanam secara monokultur yang dikelola oleh Perum Perhutani. Menurut Forest Watch Indonesia (2014), sumber penyerapan karbon terbesar yang mampu berkontribusi besar terhadap siklus karbon (C) di seluruh dunia adalah hutan. Tanaman melakukan proses penyerapan  $CO_2$  dan diubah menjadi karbohidrat sebagai biomassa. Biomassa digunakan dalam memperkirakan karbon karena 50% biomassa tumbuhan merupakan karbon (Brown, 1997 dalam Alinus *et al.*, 2017). Dalam menentukan biomassa jati perlu diketahui ukuran pohon. Menurut Ma *et al.* (2019) dalam Wahyudiono *et al.* (2023), bertambahnya ukuran dan umur pohon, selaras dengan peningkatan kandungan karbon batang.

Diketahui perkiraan pohon jati berdiameter 40 cm dengan jarak tanam 6x6 meter di lahan seluas 1.830 hektar. Jumlah pohon dapat diperkirakan dengan luas lahan dalam satuan meter di bagi jarak tanam dengan satuan meter kuadrat. Didapatkan perkiraan jumlah pohon yang ada sejumlah 508.333 pohon. Kemudian estimasi jumlah penyerapan karbon didapatkan dari rumus didasari dengan biomassa pada pohon. Dalam mencari biomassa pohon menggunakan persamaan allometrik dengan parameter diameter setinggi dada dan tinggi pohon yang sudah ditentukan khusus untuk pohon jati di wilayah Provinsi Jawa Tengah.

Hasil dapat dilihat pada **Tabel 2**, didapatkan estimasi serapan karbon sebesar 844.573,33 ton. Total estimasi penyerapan karbon yang ada jauh lebih besar dari emisi yang dihasilkan. Estimasi emisi kerbau hanya 0,02% dari total estimasi penyerapan karbon. Artinya vegetasi jati Perum Perhutani di Surajaya mampu memberikan kontribusi penyerapan karbon sebesar 844.306,67 ton.

### 3.6. Keseimbangan Karbon

Konsep silvopastura mampu mengimbangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari peternakan kerbau. Selain sebagai sumber pakan ternak kerbau, kawasan hutan jati yang luas mampu menyerap karbon yang ada di udara. Karbon diambil oleh tumbuhan melalui proses fotosintesis. Dengan bantuan sinar matahari, tumbuhan akan menyerap CO<sub>2</sub> dalam udara untuk diubah menjadi karbohidrat dan disimpan dalam bentuk biomassa. Berdasarkan emisi ternak yang dihasilkan dengan serapan karbon oleh tanaman, peternakan kerbau di Desa Surajaya ini dapat dimaksimalkan hingga menampung 730.273,64 satuan ternak.

Proses fotosintesis yang mempengaruhi pertumbuhan batang membuat bertambahnya diameter pohon. Jumlah cabang bagian-bagian pohon lainnya akan bertambah dalam prosesnya, dimana karbon yang berasal dari CO<sub>2</sub> di atmosfer diambil oleh pohon dan disimpan dalam bentuk biomassa. Nilai biomassa pohon berbanding lurus dengan hasil perhitungan total karbon yang tersimpan dalam biomassa pohon (Mustikaningrum dan Rosida, 2023). Biomassa merupakan organik hasil fotosintesis dengan menyerap CO<sub>2</sub> yang disimpan dalam pohon sebagai energi. Dalam tumbuhan terdapat proses fotosintesis yang dalam prosesnya menyerap CO<sub>2</sub> untuk diubah menjadi karbohidrat dan disimpan dalam biomassa tubuh pohon (Karim *et al.*, 2019). Karbon

dioksida yang terserap oleh tanaman disimpan dalam batang, daun, bunga, ranting, dan buah dalam bentuk karbohidrat sehingga dapat menggambarkan jumlah karbon.

Luasnya vegetasi milik Perhutani di Desa Surajaya menjadi salah satu upaya baik untuk mengimbangi emisi gas rumah kaca dari berbagai sektor termasuk peternakan kerbau yang ada ini. Banyaknya vegetasi pohon yang ada memiliki kemampuan dalam menyerap karbon dalam gas CO<sub>2</sub> yang merupakan salah satu gas rumah kaca. Vegetasi pepohonan mampu menyimpan cadangan karbon dan disimpan dalam biomasa sehingga emisi dapat ditekan. Sistem silvopastura jati dengan ternak kerbau sangat perlu dikembangkan di Desa Surajaya. Keterbatasan peternak dalam memelihara dan mengembangkan ternak membuat potensi peternakan di Desa Surajaya belum maksimal. Kerjasama peternak dengan perhutani dengan didasari peraturan yang ada, baiknya perlu dilakukan. Lahan jati yang ada ditumbuhi rerumputan liar sebagai pakan ternak. Pertumbuhan rumput-rumput liar yang ada tidak merata sehingga, pada sekitar hutan jati yang sekiranya belum terkena naungan pohon juga dapat ditanami dengan hijauan pakan ternak.

#### **4. Kesimpulan**

Konsep silvopastura vegetasi jati dengan peternakan kerbau yang ada di Desa Surajaya memberikan dampak positif dalam keseimbangan karbon. Emisi metana enterik diestimasikan sebesar 176.58 ton Gg CO<sub>2</sub>-eq/tahun dan estimasi penyerapan karbon sebesar 844.306,67 ton. Sehingga peternakan dapat dimaksimalkan hingga menampung 730.273,64 satuan ternak lagi pada area 1830 hektar lahan hutan jati yang ada.

#### **Ucapan Terima Kasih**

Terimakasih kepada Bu Himmatul Hasanah yang telah memfasilitasi penelitian ini dan telah memberikan dukungan apapun. Pak Bramada Winiar Putra Mbak Avi, dan Tim Penelitian Bu himma atas kerja sama dan bantuannya dalam penelitian. Seluruh Pegawai Dinas Pertanian Kabupaten Pematang Alam bidang Peternakan serta Perangkat dan Peternak Kerbau di Desa Surajaya, Pematang Alam, Jawa Tengah yang telah memberikan bantuan, ketersediaan diwawancarai, dan kerja sama yang baik dalam pelaksanaan penelitian.

## Daftar Pustaka

- Akhadiarto, S. & Rofiq, M. N. (2017). Estimasi emisi gas metana dari fermentasi enterik ternak ruminansia menggunakan metode Tier-1 di Indonesia. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(1), 1-8.
- Alinus, R., & Linda, R. (2017). Biomassa dan cadangan karbon di Kawasan Agroforestri Karet Tradisional di Desa Nanga Pemubuh Kecamatan Sekadau Hulu Kabupaten Sekadau. *Protobiont*, 6(3), 249-254.
- Ariyanti, D., Wijayanto, N., & Hilwan, I. (2018). Keanekaragaman jenis tumbuhan dan simpanan karbon pada berbagai tipe penggunaan lahan di Kabupaten Pesisir Barat Provinsi Lampung. *Journal of Tropical Silviculture*, 9(3), 167-174.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Pemalang. (2023). *Kabupaten Pemalang dalam angka Pemalang regency in figures 2023*. Pemalang: BPS Kabupaten Pemalang.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Pemalang. (2024). *Kabupaten Pemalang dalam angka Pemalang regency in figures 2024*. Pemalang: BPS Kabupaten Pemalang.
- Balcombe, P., Speirs, J. F., Brandon, N. P., & Hawkes, A. D. (2018). Methane emissions: choosing the right climate metric and time horizon. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 20(10), 1323-1339.
- Firdaus, F. (2023). *Mitigasi jejak karbon (Carbon Footprint) sektor peternakan berbasis vegetasi di Yogyakarta*. Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat. 77-89.
- IPCC. (2006). *IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories-A primer, Prepared by the national greenhouse gas inventories programme*. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, editors. Hayama (Japan): Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Karim, M.A., Purwiyanto, A.I.S., & Agustriani, F. (2019). Analysis of carbon content (C) production rate of mangrove litter at Pulau Payung, Banyuasin District. *Marine Science Research Journal*. 11(1), 1-8.
- Mayulu, H., & Daru, T. P. (2019). Kebijakan pengembangan peternakan berbasis kawasan: studi kasus di Kalimantan Timur. *Journal of Tropical AgriFood*, 1(2), 49-60.
- Mustikaningrum, D., & Rosida, A. (2023). Estimasi Sekuestrasi Karbon Pada Tanaman Pokok Hutan Produksi Di Kabupaten Tuban, Jawa Timur. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 143-148.
- Nur, K., Atabany, A., Muladno, M., & Jayanegara, A. (2015). Produksi gas metan ruminansia sapi perah dengan pakan berbeda serta pengaruhnya terhadap produksi dan kualitas susu. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, 3(2), 65-71.
- Pazla et al. (2022). *Upaya Mengurangi Gas Metan dari Sektor Peternakan*. Indramayu: Penerbit Adab.
- Peters, G. & Thompson, R. L (2020). Nitrous oxide: A potent, long-lived, and rapidly increasing greenhouse gas. *CICERO*. <https://cicero.oslo.no/en/articles/nitrous-oxide-a-potent-long-lived-and-rapidly-increasing-greenhouse-gas>
- Standar Nasional Indonesia. (2020). SNI 7706-1:2020 Bibit kerbau-bagian 1: Lumpur. Badan Standarisasi Nasional.
- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: PT Alfabet
- Wahyudi, J. (2017). Jejak Karbon Produksi Susu pada Peternakan Sapi Perah Rakyat di Kabupaten Pati. *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi*, 1(1), 72-77.