BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains
Volume 8, No 3, Mei – Juni 2025
e-ISSN: 2598-7453
DOI: https://doi.org/10.31539/q3mx7839

POTENSI PRODUKSI METANA DARI LIMBAH KOTORAN SAPI DAN MITIGASI EMISINYA DI KABUPATEN PATI JAWA TENGAH

Bagas Mukti Kumudasmoro[1], Endang Kusdiyantini[2], Sutaryo[3]
Universitas Diponegoro[1,2,3]
bagasmukti@students.undip.ac.id[1], ekusdiyantini @gmail.com[2],
sutaryoundip@yahoo.com[3]

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung potensi biogas dari limbah kotoran sapi di Kabupaten Pati, khususnya kandungan gas metana (CH_4), serta menghitung langkah-langkah mitigasi emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan dari limbah tersebut. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif berdasarkan pendekatan *Intergovermental Panel on Climate Change* (IPCC), yang didukung dengan observasi lapangan, wawancara kepada peternak dari beberapa kecamatan, dan pengambilan sampel data populasi ternak sapi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi produksi gas metana di Kabupaten Pati mencapai 1.763 m^3 per hari, dengan potensi terbesar terdapat di Kecamatan Jaken sebesar 201 m^3/hari dan Kecamatan Margoyoso sebesar 160 m^3/hari. Selain itu, emisi gas rumah kaca yang berasal dari limbah sapi potong di Kabupaten Pati diperkirakan mencapai 5,49 $GgCO_2$ eq. Simpulan, Kabupaten Pati memiliki potensi besar dalam pemanfaatan limbah sapi sebagai sumber energi terbarukan berupa biogas, sekaligus menghadapi ancaman signifikan dari emisi metana yang belum tertangani. Oleh karena itu, diperlukan strategi mitigasi berbasis analisis SWOT, termasuk pengembangan proyek percontohan (*pilot project*) pengolahan gas metana yang melibatkan kolaborasi antara peternak, pengajar, dan pemerintah daerah, serta peningkatan partisipasi masyarakat melalui edukasi mengenai manfaat pengelolaan limbah yang ramah lingkungan.

Kata kunci: Emisi Gas Rumah Kaca (GRK), Gas Metana (CH_4), IPPC, Kabupaten Pati, Limbah Ternak Sapi Potong.

ABSTRACT

This study aims to quantify the biogas potential of beef cattle waste in Pati Regency, specifically the methane (CH_4) content, and to formulate mitigation measures for greenhouse gas (GHG) emissions generated from this waste. The method used is a quantitative method based on the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) approach, supported by field observations, interviews with livestock farmers from several sub-districts, and cattle population data sampling. The results indicate that the potential methane gas production in Pati Regency reaches 1,763 m^3 per day, with the largest potential in Jaken District at 201 m^3/day and Margoyoso District at 160 m^3/day. Furthermore, greenhouse gas emissions from

beef cattle waste in Pati Regency are estimated to reach 5.49 $GgCO_2$ eq. In conclusion, Pati Regency has great potential to utilize beef cattle waste as a renewable energy source in the form of biogas, while facing a significant threat from unaddressed methane emissions. Therefore, a SWOT analysis-based mitigation strategy is needed, including developing a pilot methane gas processing project involving collaboration between livestock breeders, academics, and local governments, as well as increasing community participation through education on the benefits of environmentally friendly waste management.

***Keywords**: Greenhouse Gas (GHG) Emissions, Methane Gas (CH_4), IPPC, Pati Regency, Beef Cattle Waste.*

PENDAHULUAN

Indonesia, sesuai dengan Undang-Undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi dan Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, telah menetapkan target bauran energi primer pada tahun 2025 sebesar 412 juta ton setara minyak (*Million Tonnes of Oil Equivalent* atau MTOE). Bauran ini mencakup 22% gas alam, 30% batu bara, 25% minyak bumi, dan 23% energi baru dan terbarukan. Namun, pasokan energi Indonesia masih didominasi oleh bahan bakar fosil, seperti minyak bumi dan batu bara, yang berkontribusi signifikan terhadap polusi udara, emisi gas rumah kaca (GRK), dan pemanasan global. Situasi ini diperparah oleh harga bahan bakar fosil yang fluktuatif serta terbatasnya aksesibilitas di daerah terpencil. Tantangan-tantangan ini menekankan urgensi transisi menuju sumber energi terbarukan untuk memastikan keberlanjutan lingkungan dan ketahanan energi jangka panjang (Aji, 2021).

Selain itu, transisi menuju *Variable Renewable Energy* (VRE) diidentifikasi sebagai jalur penting untuk mencapai tujuan *Net Zero Emission* (NZE) Indonesia, dengan mengintegrasikan sumber daya yang lebih berkelanjutan ke dalam jaringan listrik nasional (Aprilianto Ajie & Ariefianto Mendung Rizki, 2021). Mengingat cadangan minyak Indonesia saat ini semakin terbatas, pada tahun 2016 tercatat cadangan minyak sebesar 3,6 miliar barel, sedangkan konsumsi minyak mencapai 1,6 juta barel per hari (BP Statistical Review of World Energy, 2016). Data ini menunjukkan bahwa Indonesia berisiko mengalami krisis energi yang berkepanjangan.

Pengolahan limbah ternak menjadi biogas menjadi salah satu solusi untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Produksi biogas dari feses ternak memberikan keuntungan karena memiliki nilai ekonomi. Biogas dihasilkan dari feses ternak yang difermentasi oleh bakteri metanogenik secara anaerobik (Prasetya & Andika; Adji & Sutaryo; Sutaryo & Purnomoadi, 2018). Banyaknya peternakan sapi dan lahan pertanian yang subur menjanjikan potensi besar dalam peningkatan perekonomian masyarakat di sektor pertanian (Sakuri et al., 2024).

Perubahan iklim merupakan fenomena peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer. *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) menyatakan bahwa terdapat enam jenis gas rumah kaca utama, yaitu karbon dioksida (CO_2), dinitrogen oksida (N_2O), metana (CH_4), sulfur heksafluorida (SF_6), perfluorokarbon (PFCs), dan hidrofluorokarbon (HFCs). Peningkatan konsentrasi gas-gas tersebut disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, perubahan tata guna lahan dan hutan, serta kegiatan pertanian dan peternakan.

Pengembangan peternakan sapi perah di Indonesia memberikan dampak positif, seperti meningkatkan kesejahteraan peternak dan mendukung ketahanan pangan. Namun demikian, limbah ternak yang dihasilkan dapat mencemari lingkungan (Jatmiko & Wahyudi, 2015).

Sapi merupakan mamalia yang banyak diternakkan di Indonesia. Dukungan kondisi geografis tropis dan lahan pertanian yang luas memudahkan masyarakat Indonesia untuk beternak sapi (Riyanto et al., 2024). Sistem peternakan sapi potong di pedesaan terbagi menjadi dua, yaitu sistem pembibitan dan sistem penggemukan (Rampai, 2017). Peternakan sapi potong merupakan sektor penting di Indonesia, menyumbang 24,1% dari total emisi GRK sektor pertanian (Yurike, 2024). Meskipun sektor pertanian memberikan manfaat dalam menyediakan pangan, sektor ini juga menghasilkan sekitar 14% emisi GRK secara global dan 7% secara nasional (Ngadisih et al., 2024).

Salah satu masalah lingkungan yang menonjol di Indonesia adalah buruknya pengelolaan limbah pertanian dan peternakan, terutama limbah sapi yang menghasilkan gas metana (CH_4), yaitu salah satu GRK yang lebih kuat dibandingkan CO_2. Limbah peternakan yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan polusi udara dan memperparah perubahan iklim. Namun, limbah ini dapat dikonversi menjadi energi terbarukan melalui teknologi biogas, sehingga mengatasi tantangan energi dan lingkungan secara simultan.

Pembuatan kebijakan atau regulasi oleh pemerintah harus didasarkan pada data yang akurat dan terkini. Data emisi metana dari sektor peternakan—meliputi sapi potong, kerbau, domba, kambing, dan babi—diperbarui secara nasional dari tahun 2000 hingga 2015 untuk keperluan pengambilan kebijakan. Data ini menunjukkan tren peningkatan emisi gas metana. Sebagai perbandingan, peta jalan Eropa menuju ekonomi rendah karbon bertujuan mengurangi emisi GRK sebesar 80% dari tingkat tahun 1990 pada tahun 2050 (Vegetasi & Yogyakarta, 2021).

Biogas merupakan hasil dekomposisi bahan organik yang mengalami fermentasi secara anaerobik (Styana et al., 2022). Biogas dihasilkan melalui proses pencernaan anaerobik oleh *archaea* metanogenik dan merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang menjanjikan. Usman Ali (2015) menyatakan bahwa metode ini memungkinkan gas metana (CH_4) dapat ditangkap dan dimanfaatkan secara efektif. Studi serupa juga menunjukkan manfaat lingkungan dan ekonomi dari konversi limbah ternak menjadi energi, terutama di wilayah pedesaan.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2024 di Kabupaten Pati, Jawa Tengah. Objek penelitian adalah sebagian peternak sapi di wilayah tersebut. Proses pengumpulan data dan analisis dilakukan selama kurang lebih empat bulan hingga laporan ini selesai disusun.

Perhitungan Berat Sapi

Rumus Schoorl digunakan untuk memperkirakan berat badan sapi serta produksi pupuk kandang per hari ditunjukkan pada persamaan (1) sebagai berikut:

$$\mathbf{BB} = \frac{(LD+22)}{100} \quad \mathbf{(1)}$$

Keterangan:
BB = Berat badan sapi (kg)
LD = Lingkar dada sapi (cm)
22 = Koefisien Schoorl

Perhitungan Volume Biogas

Potensi gas metana dari limbah kotoran sapi dihitung menggunakan persamaan (2), (3), (4) sebagai berikut:

$$\mathbf{N_{limbah} = n_{sapi}\ x\ produksi\ limbah\ kotoran\ sapi\ rata\text{-}rata\ setiap\ harinya} \quad \mathbf{(2)}$$

$$\mathbf{V_{biogas} = BX\ VS} \quad \mathbf{(3)}$$

$$\mathbf{VCH_4 = CXV_{biogas}} \quad \mathbf{(4)}$$

Keterangan:
N_{limbah} = Produksi limbah ternak harian (kg/hari)
n = Jumlah sapi
P = Produksi rata-rata pupuk kandang per sapi per hari (kg/hari)
V_{biogas} = Volume biogas yang dihasilkan per hari (m^3/hari)
B = Produksi biogas per kg limbah (m^3/kg)
VS = Kandungan padatan volatil dalam pupuk kandang
VCH_4 = Volume gas metana (m^3/hari)
C = Kandungan metana dalam biogas (60–65%)

Perhitungan Konversi LPG untuk Mitigasi Emisi

Penghematan gas LPG akibat pemanfaatan biogas dihitung dengan rumus pada persamaan (5) berikut:

$$\mathbf{LPG\ (kg)} = \frac{(V\ Biogas)\ \mathbf{x\ CV\ biogas}}{CV\ LPG} \quad \mathbf{(5)}$$

Keterangan:
LPG = Jumlah setara LPG (kg)
V_{biogas} = Volume biogas (liter)
CV_{biogas} = Nilai kalor biogas (4.810 kkal/liter)
CV_{LPG} = Nilai kalor LPG (11.256,61 kkal/kg)

Dengan menggunakan nilai kalor biogas sebesar 4.810 kkal/liter dan LPG sebesar 11.256,61 kkal/kg *(American Society of Agricultural Engineers(ASAE, 2005)*

Perhitungan Nilai Total Emisi Metana dari Limbah Sapi

Emisi metana dihitung menggunakan metode Tier 1 sebagaimana diuraikan oleh Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC, 2021). Penggunaan metode Tier 1 tepat dalam kasus ini karena kurangnya data emisi spesifik untuk sapi potong dan sapi perah di Kabupaten Pati. Pendekatan Tier 1 merupakan metode perhitungan sederhana yang menerapkan persamaan dan nilai parameter standar untuk estimasi emisi. Biasanya, Tier 1 mengandalkan data global yang luas dan tersedia secara luas, seperti statistik populasi ternak, penggunaan pupuk, dan data pertanian.

Untuk menghitung emisi metana mengikuti metodologi Tier 1, langkah pertama adalah menentukan populasi ternak (dalam satuan hewan) dengan mengalikan jumlah populasi dengan faktor koreksi khusus untuk jenis ternak.

Proses penghitungan emisi metana menggunakan metode Tier 1, sebagaimana diuraikan oleh IPCC, melibatkan beberapa langkah kunci. Pertama, populasi ternak (dalam Satuan Hewan) ditentukan dengan mengalikan jumlah ternak dengan faktor koreksi yang sesuai dengan jenis hewan. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup, faktor koreksi untuk sapi perah adalah 0,75. Rumus untuk menghitung Satuan Hewan adalah sebagai berikut:

$$\boldsymbol{NAU = N \times K} \tag{6}$$

Keterangan:
NAU = Jumlah hewan dalam Unit Hewan
N = Jumlah ternak (ekor)
k = Faktor koreksi berdasarkan jenis hewan (0,75 untuk sapi perah)

Langkah kedua adalah menentukan faktor emisi untuk jenis ternak. Menurut IPCC, faktor emisi untuk fermentasi enterik pada sapi perah adalah 61, sedangkan faktor emisi untuk pengelolaan pupuk kandang pada sapi perah adalah 31.

Langkah ketiga adalah menghitung emisi metana dari fermentasi enterik dan pengelolaan pupuk kandang. Rumus untuk emisi metana dari pengelolaan limbah ternak adalah:

$$\mathbf{CH4}_{\text{pupuk kandang}} = \sum \frac{(EF \ * N \ )}{10} \tag{7}$$

Keterangan:
$CH_{4\ \text{Pupuk Kandang}}$ = Emisi metana dari pengelolaan limbah ternak (Gg CH_4 /tahun)
EF = Faktor emisi untuk populasi ternak (kg CH_4 / ekor/tahun, nilai = 61 untuk sapi perah)
N = Jumlah populasi ternak dalam Satuan Ternak
T = Jenis/kategori ternak

HASIL PENELITIAN

Potensi Produksi Metana dari Limbah Kotoran Sapi di Kabupaten Pati

Kabupaten Pati, yang dikenal dengan motonya *"Pati Bumi Mina Tani"*, merupakan wilayah yang sebagian besar dicirikan oleh sektor pertanian dan peternakan. Frasa tersebut mencerminkan ketergantungan wilayah ini pada sektor pertanian dan peternakan sebagai bagian integral dari ekonomi dan budaya masyarakat. Hal ini tercermin dari data penggunaan lahan, di mana sekitar 59.299 hektar atau 39,43% dari total luas wilayah digunakan untuk lahan persawahan. Sawah-sawah ini umumnya terletak di dekat peternakan sapi, sehingga terbentuk hubungan simbiosis antara sektor pertanian dan peternakan. Petani memanfaatkan sisa tanaman sebagai pakan ternak, dan kotoran sapi sebagai pupuk kandang untuk menyuburkan tanah.

Iklim di Kabupaten Pati tergolong sedang, tidak terlalu kering maupun terlalu basah, dengan kondisi tanah yang sangat mendukung untuk budidaya rumput, padi, tebu, dan tanaman lainnya. Situasi ini mendorong perkembangan peternakan sapi yang pesat di seluruh kecamatan, sebagaimana ditunjukkan oleh data populasi sapi (lihat Tabel 1).

Penaksiran emisi metana dari peternakan sapi perah di daerah lain, seperti di Malang, juga dilakukan dengan pendekatan serupa (Mahmud & Prima, 2021). Kotoran sapi, yang merupakan produk sampingan dari sektor peternakan, berpotensi besar sebagai sumber produksi metana (CH_4). Saat mengalami proses penguraian secara anaerobik, kotoran sapi menghasilkan metana, yaitu gas rumah kaca yang sangat berbahaya. Namun, gas metana ini dapat ditangkap dan dimanfaatkan sebagai biogas yang memiliki nilai energi tinggi apabila dikelola secara tepat.

Keberadaan peternakan sapi dalam jumlah besar di Kabupaten Pati, beserta volume kotoran sapi yang signifikan, membuka peluang yang menjanjikan untuk pengembangan sistem biogas sebagai sumber energi lokal. Produksi biogas dari kotoran sapi di wilayah ini tidak hanya dapat mengurangi emisi metana, tetapi juga menyediakan energi terbarukan bagi masyarakat sekitar. Hal ini mendukung target nasional Indonesia dalam meningkatkan bauran energi terbarukan serta mengatasi permasalahan lingkungan seperti polusi udara dan emisi gas rumah kaca.

Lebih lanjut, penerapan teknologi biogas selaras dengan tujuan pembangunan pedesaan berkelanjutan, mendorong kemandirian energi, dan menyediakan alternatif energi bagi rumah tangga serta pelaku usaha. Integrasi produksi biogas dalam sektor pertanian dan peternakan di Kabupaten Pati dapat menjadi model bagi daerah lain di Indonesia, memperlihatkan bagaimana masyarakat pedesaan dapat mengoptimalkan sumber daya lokal guna memenuhi kebutuhan energi sekaligus menjawab tantangan lingkungan.

Dengan populasi ternak yang besar, iklim yang mendukung, serta infrastruktur pertanian yang memadai, Kabupaten Pati memiliki potensi yang kuat untuk mengembangkan energi terbarukan berbasis limbah ternak. Hal ini

diharapkan dapat berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan dan pertumbuhan ekonomi lokal.

Tabel 1. Distribusi Peternakan Sapi Potong di Wilayah Kabupaten Pati

TIDAK	Daerah	Jumlah Sapi Potong (pcs)	Jumlah Peternak	Jumlah Sapi Perah (buah)
1	Jaken	12.741	6.504	-
2	Pucakwangi	10.154	4.487	-
3	Margoyoso	7.528	1.335	-
4	Sukolilo	7.352	2.671	-
5	Jakenan	7.056	2.923	-
6	Dukuhseti	6.677	1.945	-
7	Trangkil	5.930	1.415	-
8	Winong	5.737	3.811	-
9	Tlogowungu	5.423	2.231	-
10	Gembong	4.943	1.185	-
11	Margorejo	4.487	1.612	98
12	Pati	4.456	1.834	47
13	Gabus	4.415	2.960	-
14	Tambakromo	4.366	2.036	-
15	Batangan	4.241	1.890	-
16	Tayu	3.761	853	8
17	Kayen	3.433	511	-
18	Wedarijaksa	3.222	1.300	-
19	Gunungwungkal	2.816	2.816	-
20	Juwana	2.406	1.456	-
21	Cluwak	1.834	982	5
	Total	**112.978**	**44.952**	**158**

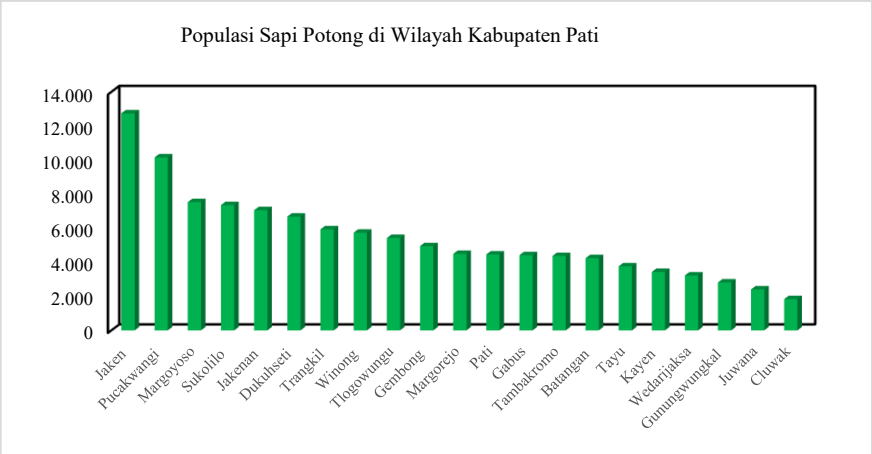
Berdasarkan hasil perhitungan emisi metana (CH_4) dan karbon dioksida ekuivalen (CO_2-eq), total emisi di Kabupaten Pati sebesar 5.321,624 ton CH_4 yang setara dengan 253.398,582 ton CO_2-eq. Kecamatan yang menyumbang emisi metana terbesar adalah Kecamatan Jaken, yang terletak di sebelah utara Kabupaten Pati, dengan emisi metana sebesar 600,11 ton CH_4 yang setara dengan 28.576,814 ton CO_2-eq. Di sisi lain, Kecamatan Cluwak menyumbang emisi metana fermentasi enterik paling sedikit dengan 86,3814 ton CH_4 yang setara dengan 4.113,482 ton CO_2-eq.

Angka emisi ini mencerminkan kondisi yang diamati di lapangan di berbagai kecamatan di Kabupaten Pati, tempat populasi sapi potong tersebar. Konsentrasi ternak, khususnya, lebih tinggi di kecamatan seperti Jaken dan Pucakwangi, yang menyebabkan emisi metana yang lebih tinggi di wilayah tersebut. Sektor peternakan, khususnya peternakan sapi, merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar di wilayah tersebut.

Potensi Gas Metana (CH_4)

Potensi produksi metana dari limbah kotoran sapi di setiap kecamatan di Kabupaten Pati digambarkan dalam grafik pada Gambar 1. Grafik ini

menggambarkan kapasitas emisi metana yang dapat dimanfaatkan untuk produksi energi, yang mencerminkan peran penting peternakan dalam emisi gas rumah kaca lokal. Dengan menangkap dan memanfaatkan metana ini, Kabupaten Pati berpotensi mengurangi dampak lingkungannya secara signifikan sekaligus menghasilkan energi terbarukan dari limbah.



Gambar 1. Populasi Sapi Potong di Wilayah Kabupaten Pati

Sebagaimana diilustrasikan pada grafik di atas, Kecamatan Jaken, Pucakwangi, dan Margoyoso memiliki populasi sapi tertinggi di Kabupaten Pati. Jika para peternak sapi di wilayah ini diberikan edukasi mengenai potensi gas metana (CH_4) sebagai sumber energi terbarukan, mereka dapat memanfaatkan sumber daya ini untuk kebutuhan sehari-hari, misalnya sebagai pengganti gas LPG untuk memasak. Saat ini, sebagian besar limbah ternak di Kabupaten Pati masih diolah secara konvensional, di mana kotoran sapi umumnya digunakan untuk pengomposan. Namun, sejumlah besar limbah juga masih menumpuk di kandang, yang turut berkontribusi terhadap polusi udara dan bau yang tidak sedap.

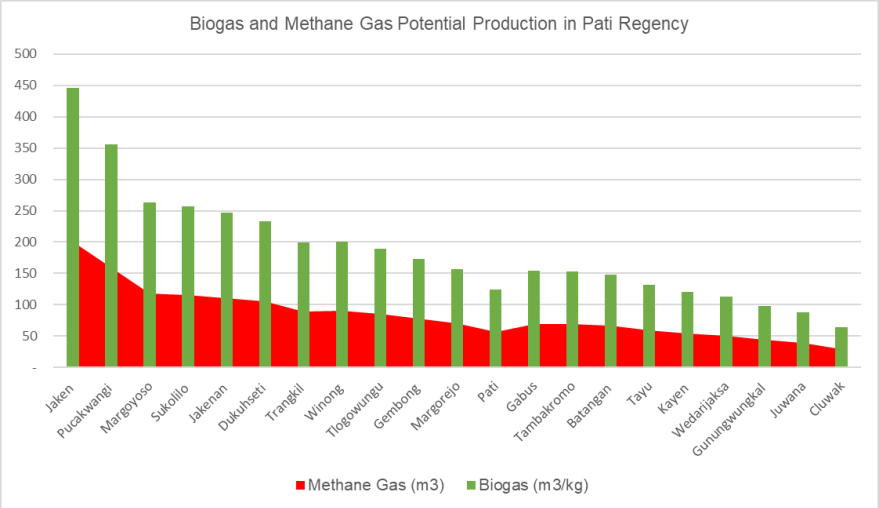
Pengembangan energi terbarukan dari gas metana (CH_4) melalui pemanfaatan kotoran sapi berpotensi memberikan banyak dampak positif. Gas metana dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif untuk memasak, sumber energi untuk pertanian rumah tangga, serta sebagai energi untuk sistem biogas. Bahkan setelah proses ekstraksi metana, sisa limbah olahannya masih dapat digunakan sebagai pupuk, sehingga peternak tetap memperoleh manfaat tanpa kekurangan pasokan pupuk kandang. Jumlah gas metana yang dihasilkan sangat berkaitan erat dengan volume kotoran ternak yang dihasilkan setiap hari oleh setiap sapi, baik dalam bentuk kotoran padat (limbah) maupun limbah cair (urin).

Perhitungan produksi limbah kotoran ternak di 21 kecamatan di Kabupaten Pati menunjukkan bahwa total limbah yang dihasilkan per hari mencapai 2.259.560 kg. Dari jumlah tersebut, potensi produksi biogas dapat diperkirakan menggunakan rumus perhitungan dengan nilai konversi sebesar 0,029, dan tingkat konversi biogas menjadi gas metana (CH_4) sebesar 45% dari total biogas. Berdasarkan nilai-nilai

ini, total potensi produksi biogas dan metana dari populasi ternak sapi di Kabupaten Pati dapat dihitung.

Potensi produksi biogas di Kabupaten Pati adalah sebesar 3.918 m^3/kg dari 21 kecamatan, yang setara dengan 1.763 m^3 gas metana. Potensi produksi gas metana ini bervariasi di seluruh wilayah, dengan nilai tertinggi terdapat di Kecamatan Jaken, yakni sebesar 446 m^3/kg, dan yang terendah di Kecamatan Cluwak, yakni sebesar 64 m^3/kg, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Angka-angka tersebut menyoroti adanya peluang besar untuk pengembangan produksi biogas di Kabupaten Pati, yang sekaligus dapat menjadi solusi bagi penyediaan energi berkelanjutan serta penanganan permasalahan pengelolaan limbah dan lingkungan.

Singkatnya, potensi produksi biogas dari limbah sapi potong di Kabupaten Pati tidak dapat diabaikan, dan dari sisi volume produksi, meskipun terdapat keterbatasan, masih terdapat peluang yang signifikan. Selain itu, pengelolaan limbah kotoran sapi secara terpadu dapat memberikan manfaat lingkungan dan ekonomi. Pengembangan infrastruktur biogas di wilayah ini berpotensi meningkatkan kemandirian energi lokal serta mengurangi emisi gas rumah kaca secara signifikan, sehingga berkontribusi pada pencapaian tujuan keberlanjutan yang lebih luas.



Gambar 2. Potensi Gas Metana di Wilayah Kabupaten Pati (m^3)

Distribusi Gas Metana di Kabupaten Pati

Potensi volume produksi gas metana (CH_4) di wilayah Kabupaten Pati yang tersebar di 21 kecamatan adalah sebesar 1.763 m^3. Terdapat lima kecamatan dengan penyumbang gas metana (CH_4) terbesar, a) Kecamatan Jaken dengan potensi produksi gas metana sebesar 201 m^3; b) Kecamatan Pucakwangi sebesar 160 m^3; c) Kecamatan Margoyoso sebesar 119 m^3; d) Kecamatan Sukolilo dengan potensi gas

metana sebesar 116 m^3; e) Kecamatan Jakenan dengan potensi gas metana sebesar 111 m^3.

Di sisi lain, terdapat tiga kecamatan dengan potensi produksi gas metana (CH_4) paling rendah, a) Kecamatan Gunungwungkal dengan potensi produksi gas metana sebesar 44 m^3; b) Kecamatan Juwana sebesar 39 m^3; c) Kecamatan Cluwak sebesar 29 m^3.

Dari paparan tersebut, menunjukkan bahwa potensi produksi gas metana di wilayah Kabupaten Pati belum layak untuk dijadikan energi alternatif pengganti gas minyak bumi cair dalam kebutuhan energi skala rumah tangga.

Metana (CH_4) dari Pengelolaan Kotoran Ternak

Emisi metana dari pengelolaan kotoran ternak juga dihitung untuk seluruh 21 kecamatan di Kabupaten Pati. Perhitungan ini membandingkan emisi metana pada tahun 2023 di berbagai kecamatan untuk mengidentifikasi penyumbang emisi metana terbesar dan terkecil dari pengelolaan kotoran sapi potong. Emisi metana diukur dalam ton CH_4 per tahun dan kemudian dikonversi menjadi ton CO_2-ekuivalen per tahun menggunakan faktor Potensi Pemanasan Global (GWP) sebesar 21 untuk metana, sebagaimana direkomendasikan oleh IPCC (2006).

Tabel 4.13 menyajikan hasil emisi metana dari pengelolaan kotoran ternak di seluruh kecamatan di Kabupaten Pati. Tabel ini menggambarkan total emisi metana dari pengelolaan kotoran sapi potong pada tahun 2023, memberikan wawasan tentang kecamatan mana yang merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar dari limbah ternak. Informasi ini penting untuk mengembangkan strategi pengelolaan dan pengurangan emisi metana di wilayah-wilayah dengan emisi tinggi sekaligus mendorong praktik pengelolaan limbah regional yang lebih berkelanjutan.

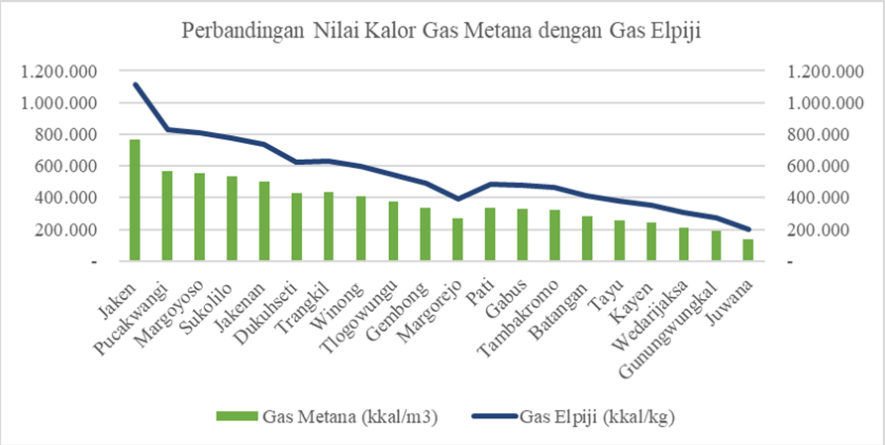
Jumlah Kalori Gas Metana dan LPG

Potensi produksi gas metana (CH_4) di Kabupaten Pati diperkirakan sebesar **1.**763 m^3 dengan kandungan energi sebesar 8.463.106 kkal/m^3. Kalori gas metana ini setara dengan, a) 12.302.323 kkal/kg LPG; b) 9.002.628 kkal/kg minyak tanah; c) 9.901.833 kkal/kg solar; d) 14.330.859 kkal/kg bensin; e) 1.494.620 kkal/kg minyak tanah batubara arang.

Distrik Jaken memiliki potensi tertinggi, menghasilkan 201 m^3 metana, yang setara dengan 207 kg LPG. Sebaliknya, Distrik Cluwak memiliki potensi metana terendah, menghasilkan 29 m^3 metana, yang setara dengan 22 kg LPG.

Sebaran potensi gas metana di Kabupaten Pati menunjukkan peluang signifikan bagi konversi metana menjadi sumber energi alternatif seperti LPG. Konversi ini dapat secara substansial mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil tradisional seperti LPG, minyak tanah, solar, dan bensin. Dengan pemanfaatan metana yang efektif, terutama di wilayah dengan potensi lebih tinggi seperti Kecamatan Jaken, Kabupaten Pati dapat mencapai kemandirian energi yang lebih

besar sekaligus berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca melalui energi terbarukan yang berasal dari limbah kotoran ternak.



Gambar 4. Perbandingan Nilai Potensi Gas Metana (CH_4) terhadap Potensi Gas LPG di Kabupaten Pati

Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai kalor gas metana (CH_4) belum dapat digunakan sebagai substitusi atau alternatif bahan bakar fosil, terutama sebagai bahan bakar skala rumah tangga untuk menggantikan gas LPG, karena potensi produksi gas metana masih sangat rendah. Namun, untuk mewujudkan potensi ini sepenuhnya, penting bagi pemilik ternak untuk terlibat aktif dalam mengonversi kotoran sapi potong menjadi gas metana (CH_4), sehingga pemanfaatan sumber energi terbarukan ini dapat dilakukan secara efisien.

Ketersediaan Sapi Potong

Ketersediaan ternak berperan penting sebagai bahan baku produksi gas metana (CH_4). Kelimpahan kotoran ternak secara langsung memengaruhi jumlah gas metana yang dapat dihasilkan. Berdasarkan wawancara yang dilakukan dengan peternak sapi potong dari empat kecamatan di Kabupaten Pati, dipastikan bahwa setiap kecamatan memiliki peternakan sapi potong. Rincian ketersediaan ternak di kecamatan-kecamatan ini tercantum dalam Tabel 2 di bawah ini, yang menunjukkan pentingnya populasi sapi dalam menjaga produksi metana pada tingkat optimal.

Tabel 2. Peternakan Sapi Potong di 4 Wilayah Kecamatan di Kabupaten Pati

TIDAK.	Daerah	Jenis kelamin	Berat	Produksi Feses per Hari (kg)	Jumlah	Instalasi Gas Metana (CH_4)
1	Pati	Perempuan	335	10	< 10	Tidak ada
2	Juwana	Perempuan	640	15	10-15	Tidak ada
3	Trangkil	Pria	364	12	10-15	Tidak ada
4	Jaken	Tidak ada data	Tidak ada data	Tidak ada data	>20	Tidak ada

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa setiap peternakan di Kabupaten Pati memelihara rata-rata 10 ekor sapi potong. Jenis peternakan di setiap kecamatan dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama: peternakan yang berfokus pada pembibitan, di mana sapi dipelihara dari anak sapi hingga sapi muda (pembibitan), dan peternakan yang sebagian besar terdiri dari sapi dewasa siap potong. Perlu dicatat bahwa tidak satu pun peternakan sapi potong di keempat kecamatan yang disebutkan dilengkapi dengan instalasi untuk mengolah kotoran sapi menjadi gas metana (CH_4).

Beban emisi metana dinyatakan dalam satuan Gg CH_4 per tahun dan dapat dikonversi menjadi CO_2-ekuivalen (CO_2-eq) menggunakan nilai Potensi Pemanasan Global (GWP) untuk metana, yaitu 23.

Berbagai faktor, termasuk populasi ternak, jenis ternak, kondisi kandang, jenis pakan, praktik pengelolaan pupuk kandang, dan perilaku peternak, memengaruhi emisi gas rumah kaca (GRK) dari sektor peternakan. Faktor-faktor ini memiliki dampak yang signifikan dan bervariasi terhadap nilai emisi yang dihasilkan.

Tabel 3. Emisi Gas Metana dari CH_4 Enterik

Jenis Peternakan Hewan	Faktor Emisi
Sapi Perah	61
Sapi potong	47
Kerbau	55
Kuda	18
Kambing	5
Domba	5
Babi	1

Perhitungan emisi metana (CH_4) dari fermentasi enterik untuk seluruh populasi sapi potong di seluruh kecamatan di Kabupaten Pati dilakukan menggunakan metode Tier-1. Dengan menerapkan faktor emisi untuk sapi potong sebesar 61 dan data populasi untuk setiap kecamatan, emisi metana dari fermentasi enterik dapat dikuantifikasi.

Total emisi metana di Kabupaten Pati mencapai 5.321,624 ton CH_4, yang setara dengan 253.398,582 ton CO_2-ekuivalen (CO_2-eq). Kecamatan dengan kontribusi tertinggi terhadap emisi metana adalah Jaken, dengan emisi sebesar 600,11 ton CH_4, setara dengan 28.576,814 ton CO_2-eq. Kecamatan Jaken terletak di bagian utara Kabupaten Pati. Sebaliknya, Kecamatan Cluwak memberikan sumbangan paling kecil, yaitu sebesar 86,3814 ton CH_4 atau setara dengan 4.113,482 ton CO_2-eq.

Data emisi metana ini mencerminkan kondisi aktual di lapangan, di mana populasi sapi potong tersebar di seluruh kecamatan dengan konsentrasi tertinggi terdapat di Kecamatan Jaken dan Pucakwangi. Akibatnya, sektor peternakan merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar di wilayah tersebut.

PEMBAHASAN

Langkah-Langkah Mitigasi Emisi Metana untuk Mengurangi Emisi dari Limbah Sapi sebagai Pengganti LPG

Untuk mengurangi emisi metana dan menurunkan tingkat emisi keseluruhan dari limbah ternak, dua model matriks akan digunakan:

Matriks Faktor Internal

Faktor-faktor internal akan diidentifikasi dan dianalisis menggunakan tabel IFAS (*Internal Factor Analysis Summary*. Tabel ini membantu dalam mengidentifikasi kekuatan (*strengths*) dan kelemahan (*weaknesses*) yang ada di dalam organisasi atau sistem yang sedang dikaji, sehingga dapat dijadikan dasar dalam penyusunan strategi pengembangan atau perbaikan.

Matriks Faktor Eksternal

Pembuatan matriks faktor eksternal memerlukan pemahaman yang mendalam terhadap faktor-faktor strategis eksternal yang memengaruhi organisasi atau sistem, yang dirangkum dalam tabel EFAS (*External Factor Analysis Summary*). Tabel ini berfungsi untuk mengidentifikasi peluang (*opportunities*) dan ancaman (*threats*) dari lingkungan luar yang dapat memengaruhi pencapaian tujuan, sehingga strategi yang tepat dapat dirumuskan untuk menghadapi dinamika lingkungan tersebut.

Tabel 4 menyajikan hasil analisis faktor internal (IFAS).

Tabel 4. Strategi Analisis Faktor Internal

Faktor Strategis		Perkataan	Jumlah	Peringkat	Skor
Kekuatan	Ternak	Jumlah dan distribusi ternak sapi potong ditetapkan	0,17	3	0,50
	Medan	Penggunaan lahan dan jarak dari peternakan ke dapur ideal dan langkah-langkah perawatan ternak sudah ditetapkan.	0,06	2,5	0,15
	Sumber daya manusia	Jumlah peternak sapi terpenuhi	0,03	2,5	0,07
Subtotal					**0,72**
Kelemahan	Efek Lingkungan	Limbah kotoran sapi yang tidak terkelola dengan baik di samping kandang sapi dapat menimbulkan efek rumah kaca dan polusi	0,10	2	0.20
	Pemanfaatan	Gas Metana (CH_4) belum dimanfaatkan	0,15	2	0,30
	Partisipasi	Tingkat partisipasi masyarakat sangat rendah	0,15	2	0,30
	Pergeseran Teknologi	Peralihan teknologi belum optimal karena sebagian besar masyarakat menggunakan bahan bakar LPG untuk konsumsi energi rumah tangga.	0,10	1,5	0,15
	Organisasi	Penerapan pemanfaatan energi gas metana (CH_4) belum didukung oleh organisasi tertentu	0,05	1,5	0,07
Subtotal					**1,02**

Tabel 5 menyajikan hasil analisis faktor eksternal (EFAS) yang digunakan untuk mengidentifikasi peluang dan ancaman dari lingkungan eksternal yang dapat memengaruhi keberhasilan program atau kegiatan yang dikaji.

Tabel 5. Strategi Analisis Faktor Eksternal (EFAS)

Faktor Strategis		Perkataan	Nilai	Peringkat	Skor
Peluang	Sosialisasi	Ada arahan dan peraturan dari pemerintah daerah	0,2	0,50	0,10
	Mitigasi Gas Rumah Kaca	Mendukung program pemerintah daerah yang peduli terhadap pengurangan Gas Rumah Kaca dari efek gas metana	0,3	0,50	0,15
	Sistem Pemuliaan	Sistem pembiakan terhubung dan bersinergi dengan para peternak di daerah setempat	0,2	0,40	0,08
	Mitigasi Lingkungan Polusi	Mendukung program pemerintah daerah untuk mengurangi pencemaran lingkungan melalui pengelolaan limbah kotoran sapi	0,2	0,30	0,06
		Subtotal			**0,39**
Benang	Penyakit Ternak	Ada ancaman dari penyakit ternak	0,2	0,20	0,04
	Pemasangan dan Perawatan Alat	Kurangnya Instalasi Pengolahan Gas Metana (CH_4).	0,3	0,40	0,12
	Gas Minyak Cair	Stok LPG melimpah di daerah dengan harga terjangkau	0,5	0,8	0,40
	Pengetahuan dan Minat	Kurangnya pengetahuan dan kepedulian terhadap manfaat gas metana dan alur kerja untuk menghasilkan gas metana	0,4	0,50	0,20
		Subtotal			**0,73**

Berdasarkan perhitungan matriks Strategi Analisis Faktor Eksternal (EFAS), faktor peluang memperoleh skor 0,35, sementara faktor ancaman memperoleh skor 0,73. Hal ini menunjukkan bahwa ancaman yang dihadapi petani di Kabupaten Pati lebih besar daripada peluangnya, sehingga disimpulkan bahwa masyarakat sebagian besar masih belum menyadari atau acuh tak acuh terhadap potensi kotoran ternak sebagai bahan baku pengolahan gas metana (CH_4) sebagai sumber energi alternatif bagi rumah tangga.

Analisis faktor internal dan eksternal menghasilkan skor tertimbang sebagai berikut: Faktor Kekuatan = 0,72, Faktor Kelemahan = 1,02, Faktor Peluang = 0,35, dan Faktor Ancaman = 0,73. Setelah skor-skor ini ditetapkan, langkah selanjutnya adalah menentukan strategi pengembangan produksi gas metana dan mitigasi

emisinya menggunakan analisis SWOT. Hal ini dilakukan dengan menggabungkan skor tertimbang dari Strategi Analisis Faktor Internal (IFAS) dan EFAS, seperti yang ditunjukkan pada Tabel di atas.

SIMPULAN

Potensi produksi limbah kotoran sapi di setiap kecamatan di wilayah Kabupaten Pati dari 21 kecamatan menunjukkan total produksi limbah kotoran sapi sebesar 2.259.560 kg/hari. Dengan jumlah limbah tersebut, maka dapat dihitung potensi biogas yang dihasilkan dari limbah kotoran sapi. Dengan menggunakan rumus perhitungan biogas terhadap gas metana (CH_4), nilai potensi biogas dari kotoran sapi di wilayah Kabupaten Pati dengan jumlah total mencapai 3.918 m^3/kg biogas atau setara dengan kandungan gas metana (CH_4) sebesar 1.763 m^3.

Total emisi metana dari pengelolaan limbah ternak sapi adalah 115,24 ton CH_4, yang setara dengan 5,49 ton CO_2-ekuivalen (CO_2-eq). Kecamatan dengan emisi metana tertinggi adalah Jaken, yang menyumbang 13 ton CH_4, setara dengan 0,62 ton CO_2-eq. Jaken terletak di bagian utara Kabupaten Pati. Di sisi lain, Kecamatan Cluwak memiliki emisi terendah dari pengelolaan limbah ternak sapi, dengan 1,87 ton CH_4, setara dengan 0,09 ton CO_2-eq.

Nilai emisi metana ini mencerminkan kondisi riil di setiap kecamatan di Kabupaten Pati, di mana populasi sapi potong tersebar di seluruh wilayah, dengan konsentrasi ternak yang tinggi di Kecamatan Jaken dan Pucakwangi. Hal ini menjadikan sektor peternakan sebagai penyumbang utama emisi gas rumah kaca di wilayah tersebut.

Berdasarkan perhitungan matriks IFAS untuk tabel kekuatan, skornya adalah 0,72 dan skor kelemahannya adalah 1,02. Hal ini menunjukkan bahwa skor kekuatan untuk pengembangan gas metana (CH_4) dan mitigasi emisinya memiliki nilai yang lebih kecil daripada kelemahannya.

Berdasarkan perhitungan matriks EFAS (Strategi Analisis Faktor Eksternal), titik peluang memperoleh skor 0,35 dan titik ancaman memperoleh skor 0,73. Hal ini menunjukkan bahwa skor ancaman yang dimiliki peternak di wilayah Kabupaten Pati masih lebih besar dibandingkan dengan titik peluang.

DAFTAR PUSTAKA

Aji, K. P. (2021). *Pemanfaatan kotoran sapi sebagai sumber energi ramah lingkungan di Kabupaten Pati* [Skripsi, Universitas Diponegoro]. https://eprints2.undip.ac.id/id/

Ajie, A., & Rizki, A. M. (2021). Peluang dan tantangan menuju net zero emission (NZE) menggunakan variable renewable energy (VRE) pada sistem ketenagalistrikan Indonesia. *Paradigma*, *2*, 21. https://jurnal.ugm.ac.id/paradigma/issue/view/4672

ASAE. (2005). *Produksi dan karakteristik pupuk kandang*.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Pati. (2021). *Kabupaten Pati dalam angka tahun 2021*. https://repository.uksw.edu/bitstream/123456789/17718/1/PROS_Eni%20Y,%20Ali%20P_Emisi%20Gas%20Rumah_.pdf

IPCC. (2021). *Pedoman IPCC untuk inventarisasi gas rumah kaca nasional: Pertanian, kehutanan, dan penggunaan lahan lainnya* (Vol. 4, hlm. 693).

Jatmiko, W. (2015). *Pengaruh penggunaan biogas pada pengelolaan limbah peternakan sapi perah terhadap aspek sosial, ekonomi dan mitigasi gas rumah kaca (Studi kasus di Kabupaten Pati)* [Skripsi, Universitas Padjadjaran]. https://pustaka.unpad.ac.id/

Mahmud, A., & Prima, A. (2021). Inventarisasi potensi emisi metana (CH_4) pada peternakan sapi perah di Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang. *Penelitian Peternakan dan Hewan*, *19*(3), 265–274. https://doi.org/10.20961/lar.v19i3.50420

Muara, K., & Kota, S. (2021). Pengolahan limbah organik menjadi energi terbarukan. *Krida Cendekia*, *1*(5), 30–34. https://kridacendekia.com

Ngadisih, N., Sinatrya, A., Retno Wulan, I., Tanjung, C., Fahima, S., & Lestari, P. (2024). Potensi ancaman dan upaya mitigasi emisi gas rumah kaca di sektor pertanian Indonesia: Tinjauan sistematis atas literatur. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, *12*(1), 245–259. https://doi.org/10.26418/jtllb.v12i1.74231

Prasetya, A. A., Sutaryo, S., & Purnomoadi, A. (2018). *Pengaruh penambahan ampas tahu pada feses sapi sebagai biogas terhadap produksi metan, kecernaan bahan organik, dan pH* [Skripsi, Universitas Diponegoro]. https://eprints.undip.ac.id

Rampai, S. B. (2017). *Dinamika pembangunan daerah*. Mitra Sejati. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/95524398/151236938-libre.pdf

Riyanto, J., Rahadian, D., Muhammad, A., & Rahayu, M. (2024). Pendampingan pengolahan limbah kotoran sapi menjadi biogas menggunakan instalasi biodigester biogas dengan inovasi penyerap di Desa Kebakalan Kabupaten Kebumen. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, *8*(2), 4453–4462. https://journal.ummat.ac.id/index.php/jpmb/article/view/27706/10916

Sakuri, S., Sugiarto, T., Hartono, H., & Supriyana, N. (2024). Pengolahan feses sapi dengan menerapkan teknologi anaerob digester biogas sebagai sumber energi alternatif dan pupuk organik. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, *8*(1), 691–702. https://doi.org/10.31764/jmm.v8i1.19684

Styana, U. I. F., Widodo, G. N., & Cahyono, M. S. (2022). Potensi campuran kotoran sapi dan limbah cair rumah pemotongan ayam sebagai sumber energi penghasil biogas. *Jurnal Offshore: Minyak, Fasilitas Produksi dan Energi Terbarukan*, *6*(1), 29–35. https://doi.org/10.30588/jo.v6i1.1142

Usman, A. (2015). *Pemanfaatan limbah peternakan untuk biogas dan pengurangan gas rumah kaca* [Universitas Negeri Makassar]. https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jmtluntan

Vegetasi, B., & Didi, Y. (2021). Mitigasi jejak karbon (*carbon footprint*) sektor peternakan berbasis vegetasi di DI Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, 77–89.

Yulianingsih, E., & Pramono, A. (2019). Emisi gas rumah kaca dari pengelolaan kotoran ternak dan biogas. *Konser Karya Ilmiah Nasional*, *3*, 7–13. https://dspace.uii.ac.id/bitstream/handle/123456789/45803/77-89_Feris%20Firdaus_MITIGASI%20JEJAK%20KARBON%20%28CARBON%20FOOTPRINT%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Yurike, Y. (2024). Estimasi emisi metana (CH_4) pada ternak sapi potong di Kabupaten Bengkulu Utara. *Buletin Peternakan Tropis*, *5*(1), 99–106. https://doi.org/10.31186/bpt.5.1.99-106