



Analisis Potensi dan Implementasi Biogas Skala Rumah Tangga di NTB dalam Mendukung Target *Net Zero Emission* Tahun 2050 melalui Pengurangan Emisi Karbon Sektor Peternakan

Krisna Wijaya^{1*}, Sarjan¹

¹ Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Universitas Mataram. Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1612>

Article Info:

Received : 20 Desember 2025
Revised : 11 Januari 2026
Accepted : 21 Januari 2026
Published : 25 Februari 2026

Correspondence:

Krisna Wijaya

Phone:

Abstract: West Nusa Tenggara Province (Nusa Tenggara Barat/NTB) has demonstrated a strong commitment to reducing greenhouse gas (GHG) emissions through various policies and strategic documents. However, among the many contributing sectors, the livestock sector—particularly cattle farming—has not received sufficient attention, despite its substantial contribution to GHG emissions in line with the increasing cattle population, which has exceeded 1.3 million heads. Improperly managed cattle manure contributes significantly to methane (CH₄) emissions, which have a much higher global warming potential than carbon dioxide (CO₂). This study aims to analyze the potential utilization of cattle manure as a biogas feedstock, estimate the amount of energy generated, and assess its contribution to GHG emission reduction in supporting the achievement of Net Zero Emissions (NZE) in NTB Province by 2050. The research employs a mixed qualitative and quantitative descriptive approach through literature review, secondary data analysis, and limited interviews with the NTB Provincial Office of Energy and Mineral Resources and the Regional Development Planning Agency (Bappeda). The results indicate that with 6,150 constructed biogas units utilizing approximately 12,300 cattle, the potential GHG emission reduction reaches 26,658.65 tons CO₂e per year, equivalent to about 0.625% of the total emission potential from the cattle livestock waste sector in NTB. This emission reduction is derived from methane (CH₄) emission avoidance and the substitution of fossil fuels such as liquefied petroleum gas (LPG). In addition to climate mitigation benefits, biogas utilization provides economic advantages through household energy savings and supports the implementation of a circular economy by utilizing bio-slurry as organic fertilizer. Although the current level of biogas utilization remains relatively low compared to its potential, biogas technology has proven to be a strategic and sustainable solution for livestock waste management, renewable energy development, and climate change mitigation efforts in NTB Province.

Keywords: Biogas; Cattle Manure; Greenhouse Gas Emissions; Emission Mitigation; Net Zero Emissions; West Nusa Tenggara

Citation: Wijaya, K., & Sarjan. (2026). Analisis Potensi dan Implementasi Biogas Skala Rumah Tangga di NTB dalam Mendukung Target Net Zero Emission Tahun 2050 melalui Pengurangan Emisi Karbon Sektor Peternakan. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(1), 370–378. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1612>

Pendahuluan

Jumlah emisi CO₂ di Indonesia tergolong tinggi, yaitu 1,55 ton karbon (5,67 ton CO₂e) per kapita (Kalpikajati & Hermawan, 2022). Angka ini dapat

mencapai sebesar 3,22 ton karbon per kapita pada tahun 2050 mengikuti pertumbuhan penduduk dan peningkatan PDB jika tidak dilakukan mitigasi atau kegiatan berjalan seperti biasanya (business as usual)

Email: kriwimail28@gmail.com

(Haryanto et al., 2020). Pada sektor-sektor yang memproduksi emisi CO₂ yang tinggi, Indonesia telah menyatakan komitmennya pada Conference of Parties (COP) 15 tahun 2009 untuk menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 26% (dengan usaha sendiri) dan sebesar 41% (jika mendapat bantuan internasional) pada tahun 2020. (Pergub RAD GRK Nomor 51 Tahun 2012).

Komitmen Indonesia tersebut diperkuat melalui dokumen Nationally Determined Contribution (NDC) Republik Indonesia yang pertama pada bulan November 2016 dengan ditetapkannya target unconditional sebesar 29% dan target conditional sampai dengan 41% dibandingkan skenario business as usual (BAU) di tahun 2030. Secara nasional, target penurunan emisi pada tahun 2030 berdasarkan NDC adalah sebesar 834 juta ton CO₂e pada target unconditional (CM1) dan sebesar 1,081 juta ton CO₂e pada target conditional (CM2). Untuk memenuhi target tersebut, secara nasional telah dilakukan berbagai aksi mitigasi pada semua sektor oleh penanggung jawab aksi mitigasi (Wahyuni et al., 2023). Sebagaimana perubahan iklim telah menjadi sebuah agenda nasional, akan diperlukan dukungan yang besar dari provinsi-provinsi dan sektor-sektor untuk mencapai target pengurangan emisi.

NTB turut mendorong target pengurangan emisi karbon nasional yang telah disepakati dalam Paris Agreement, yaitu 29% secara mandiri dan 41% dengan dukungan internasional. Untuk itu, paling tidak terdapat tujuh program pembangunan lingkungan di NTB yaitu NTB Zero Waste, NTB Hijau, Mencapai IKLH, Hutan Tanaman Energi, Waste To Energy, Net Zero Emission, dan Ekonomi Hijau. Untuk mencapai pembangunan rendah karbon dan berketahanan iklim dibutuhkan kolaborasi dan komitmen bersama, salah satunya dari mitra pembangunan. Pemerintah Daerah NTB telah mengeluarkan banyak kebijakan, antara lain Peraturan Gubernur No. 51 Tahun 2012 tentang Rencana Aksi Daerah Gas Rumah Kaca. Selanjutnya Peraturan Gubernur No. 36 Tahun 2018 tentang RAD SDGs Tahun 2019 - 2023. Ada juga Peraturan Gubernur Tahun 2019 Rencana Aksi Daerah Adaptasi Perubahan Iklim. "NTB telah menerbitkan Peraturan Daerah No. 3 Tahun 2019 tentang Rencana Umum Energi Daerah (RUED) Provinsi NTB.

Nusa Tenggara Barat tahun 2019 melaporkan bahwa provinsi ini menghadapi tiga tantangan lingkungan hidup yang kritis: konversi lahan, penurunan kualitas dan kuantitas air, dan peningkatan timbunan sampah. Dalam sepuluh tahun terakhir, pemerintah provinsi telah mempromosikan pertanian jagung sebagai upaya untuk program ini juga menyebabkan konversi hutan menjadi kawasan produksi jagung dalam skala besar, yang menyebabkan

degradasi lahan dan merusak ekosistem alam. Sektor pertanian merupakan penyumbang emisi GRK terbesar di NTB, disusul sektor energi. Pada tahun 2018, sisa lahan kritis di provinsi ini adalah sekitar 657 km² dimana sekitar 481 km² merupakan kawasan hutan. Indeks kualitas air di provinsi ini menurun sekitar 40% pada tahun 2018. Pada tahun 2018, hanya 20% dari total sampah yang dihasilkan provinsi tersebut dibuang ke tempat pembuangan sampah. Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah provinsi meluncurkan Program Nol Sampah (Zero Waste Program), yang bertujuan untuk mengurangi timbunan sampah sebesar 30% dan meningkatkan pengolahan sampah hingga 70% pada tahun 2023.

Sumber emisi dari sektor pertanian yang utama dapat dibagi menjadi 3, yaitu (1) emisi metana (CH₄) akibat dekomposisi bahan organik oleh organisme tanah pada suasana anaerob (tergenang, miskin/tanpa oksigen) seperti pada lahan sawah, gambut, kotoran, sampah, perut ternak, limbah organik, (2) emisi karbon dioksida (CO₂) akibat dekomposisi bahan organik secara aerobik pada tanah pertanian, termasuk emisi CO₂ akibat pembakaran limbah organik/pertanian, dan pengeringan gambut (untuk NTB ini tidak termasuk), dan (3) emisi dinitrogen oksida (N₂O) akibat proses nitrifikasi dan denitrifikasi, seperti pemupukan N yang tidak tepat sasaran dan penumpukan limbah organik pada lahan pertanian (Kevin & Sari, 2025; Runtuni, 2019; Santoso et al., 2020; Subakti et al., 2022). Untuk bidang peternakan (pertanian dalam arti luas), emisi GRK terutama dari sendawa ternak, sedangkan dari kotorannya relatif sedikit. Dalam rangka mengokohkan NTB sebagai produsen sapi sekaligus mendukung percepatan program swasembada daging sapi, Pemerintah Provinsi NTB sejak 17 Desember 2008 telah melaksanakan sebuah program akselerasi pengembangan ternak sapi yaitu Program Bumi Sejuta Sapi (BSS), sehingga dengan program tersebut hingga saat ini populasi sapi meningkat pesat sebanyak 1.305.294 ekor (11,11%) dg tingkat pertumbuhan 0,5%/tahun. dari jumlah populasi ternak sapi potong Indonesia 11.749.780 ekor (Nuhung, 2015).

Data diatas menunjukkan potensi emisi karbon dari sektor ternak sapi cukup tinggi, sehingga salah satu strategi Implementasi Pembangunan Rendah Karbon dan Berketahanan Iklim adalah Pengembangan Teknologi Biogas dan Pakan untuk mengurangi GRK dari ternak dengan target tahun 2035 melalui Dinas Pertanian Provinsi NTB, Dinas Peternakan Provinsi NTB dan Dinas ESDM Provinsi NTB. Selaras dengan strategi pada sektor energi guna penyediaan energi yang lebih ramah lingkungan pemanfaatan biogas untuk rumah tangga menjadi target prioritas Dinas ESDM Provinsi NTB dan Dinas Peternakan Provinsi NTB. Mitigasi GRK dari sektor peternakan menjadi biogas. Menurut Liang

et al. (2013), memiliki potensi mitigasi mencapai 1,36 Tg CO₂e per tahun, itulah yang kemudian pada jurnal ini akan coba di analisis potensi kontribusi biogas sektor peternakan di Nusa Tenggara Barat dalam mereduksi emisi GRK dalam mendukung NZE pada tahun 2050.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan faktor emisi dari GRK dari sektor peternakan dalam hal ini ternak sapi serta penerapan teknologi biogas dari pemanfaatan limbah ternak sapi tersebut serta dampaknya terhadap upaya mitigasi Provinsi NTB dalam mencapai NZE Tahun 2050. Rumusan lingkup penelitian ini mencakup analisis potensi limbah ternak sapi di NTB sebagai bahan baku biogas, kajian terhadap emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari limbah ternak yang diolah menjadi biogas dibandingkan dengan metana (CH₄) yang dihasilkan, serta perhitungan potensi pengurangan emisi GRK dari penerapan teknologi biogas skala rumah tangga. Sejalan dengan itu, tujuan penelitian adalah menganalisis potensi limbah peternakan sapi untuk diolah menjadi biogas, mengkaji volume biogas dan energi yang dihasilkan beserta pengurangan emisi per hari maupun per tahun, serta mengukur kontribusi pengurangan emisi karbon secara kumulatif dari implementasi biogas skala rumah tangga terhadap upaya mitigasi dalam mencapai Net Zero Emission (NZE) tahun 2050.

Konsep Dasar Gas Rumah Kaca (GRK)

Perubahan iklim adalah perubahan yang terjadi pada iklim baik secara langsung maupun tidak langsung dipengaruhi oleh aktivitas manusia yang mempengaruhi komposisi dan konsentrasi emisi GRK di atmosfer secara global dan juga mengakibatkan variasi iklim alami dalam periode waktu tertentu (Ngadisih et al., 2024; Pamungkas et al., 2025; Sukmono et al., 2024). Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), (2006) perubahan iklim berakibat pada perubahan siklus alam, secara khusus perubahan pada temperatur, permukaan air laut, presipitasi dan juga meningkatkan kejadian-kejadian yang terkait dengan bencana (perubahan ekstrem). Dalam beberapa tahun terakhir, telah terjadi peningkatan suhu sebesar antara 0,2 - 0,6 °C pada skala global (Prasad et al. 2009). Bagaimana terjadinya efek rumah kaca dan pemanasan global digambarkan dalam gambar di samping ini. Bumi kita dapat diibaratkan sebagai mobil yang diparkir di bawah panas terik dan kaca-kacanya ibarat gas rumah kaca dalam lapisan atmosfer bumi. Tentu suhu dalam mobil akan lebih panas daripada suhu di luarnya dan bila kaca-kaca mobil tersebut dipertebal maka suhu dalam mobil pun akan meningkat.

Konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer semakin meningkat karena kegiatan manusia. Kegiatan industri memerlukan banyak sumber energi yang sampai saat ini sebagian besar berasal dari minyak dan gas bumi.

Pembakaran bahan bakar minyak dan gas bumi melepaskan gas karbon dioksida ke udara. Beberapa proses industri melepaskan emisi sulfurheksafluorida (SF₆) dan gas rumah kaca lainnya. Pembusukan limbah industri dan rumah tangga melepaskan emisi metana (CH₄). Kebutuhan lahan menyebabkan hutan-hutan ditebang, mengurangi kemampuan bumi menyerap karbon dioksida dari udara dan melepaskan karbon yang tadinya telah tersimpan sebagai biomassa menjadi gas rumah kaca kembali.

Menangani perubahan iklim memerlukan dua jalur tindakan yang dilakukan bersamaan yakni mitigasi dan adaptasi. Mitigasi bermakna tindakan untuk memperlambat laju perubahan iklim, sedangkan adaptasi bermakna tindakan untuk menyesuaikan diri dengan risiko dampak perubahan iklim yang telah atau mungkin terjadi. Kedua tindakan ini akan meringankan dampak perubahan iklim bagi kehidupan manusia.

Emisi Metana Sektor Peternakan

Kotoran ternak berkontribusi besar terhadap emisi global amonia (NH₃) dan gas rumah kaca (GHG), terutama metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O). Berbagai langkah telah dikembangkan untuk mengurangi emisi ini, tetapi sebagian besar fokus pada satu sumber gas dan / atau emisi tertentu (Hou et al, 2015).

Penyimpanan kotoran hewan pada kondisi anaerob juga menghasilkan emisi metana. Metana yang dihasilkan dari dekomposisi kotoran dihitung terpisah dari fermentasi enterik. Emisi yang lebih tinggi terjadi ketika ternak dalam jumlah besar dan dikandangkan seperti peternakan sapi perah, peternakan sapi pedaging, dan peternakan babi, yang biasanya mengelola kotoran sistem cair. Dekomposisi kotoran padat dan urin pada kondisi cair menghasilkan emisi metana lebih tinggi. Penanganan kotoran dalam bentuk padat atau yang digembalakan menghasilkan emisi metana lebih rendah (Carlsson-Kanyama & González, 2007).

Teknologi Biogas

Biogas gas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar yang terdiri dari campuran 65% metana dan 35% karbon dioksida (Harissatria et al., 2025; Yanti et al., 2019). Biogas adalah energi terbarukan yang dihasilkan dari biomassa yang didapatkan dari berbagai limbah organik, industri, kotoran hewan dan lain sebagainya (Maeanti et al., 2013).

Pemanfaatan biogas diarahkan untuk bisa memberikan kontribusi yang signifikan terhadap bauran energi nasional (national energy mix) terutama sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar fosil (Anggari & Prayitno, 2023; Hamri et al., 2024; Ramli, 2019). Biogas dapat menyalakan bunga api dengan

energi 6.400 – 6.600 kcal/m³ sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan. Kandungan 1 m³ biogas setara dengan 0,62 minyak tanah, 0,46 liter LPG, 0,52 liter minyak solar, 0,80 liter bensin dan 3,50 kg kayu bakar.

Pengolahan kotoran ternak di dalam digester anaerob menangkap Metana (CH₄) yang seharusnya dilepas ke atmosfer. Metana yang tertangkap kemudian dibakar (digunakan sebagai bahan bakar) untuk menghasilkan energi (listrik atau panas), yang pada akhirnya dilepaskan sebagai CO₂ Karena CH₄ memiliki GWP 23-28 kali lebih tinggi, mengubahnya menjadi CO₂ secara terkontrol menghasilkan pengurangan emisi GRK yang signifikan serta penggunaan biogas menggantikan penggunaan bahan bakar fosil (seperti minyak tanah atau LPG) atau kayu bakar, sehingga menghasilkan pengurangan emisi CO₂ lebih lanjut dari sektor energi (emisi yang dihindari/avoided emissions).

Biogas sebagai Mitigasi Rencana Aksi Daerah

Tindakan mitigasi dalam pengelolaan limbah padat industri meliputi pemanfaatan lumpur WWTP dan limbah padat industri melalui pengomposan, penggunaan kembali sebagai bahan baku, dan penggunaan sebagai energi. Dalam pengelolaan limbah cair industri, tindakan mitigasi meliputi pengolahan air limbah di industri kelapa sawit, pulp dan kertas, pengolahan buah/sayuran dan jus, serta industri lainnya, dan penerapan penangkapan dan pemanfaatan metana (biogas).

Pada Pilar Aksi 2: Penerapan Praktik dan Tindakan Efisiensi dan Konservasi Energi di Sektor Rumah Tangga, terdapat Aksi 3 yaitu : masakan modern termasuk proyek percontohan konversi biogas dan kompor listrik, hal ini sangat terkait bagaimana sektor pertanian merupakan sektor penting di provinsi NTB dan tanaman utama yang dihasilkan meliputi jagung, kelapa, dan beras. Oleh karena itu, hanya residu pertanian yang dikalkulasikan untuk memperkirakan potensi biogas.

Terakhir, kotoran ternak juga banyak tersedia dan dapat digunakan untuk produksi biogas serta Kompor limbah pertanian dan peternakan berbasis biogas dapat memanfaatkan limbah organik untuk menghasilkan biogas, sehingga mengurangi jumlah limbah yang berakhir di tempat pembuangan sampah atau dibakar. Secara umum terdapat beberapa aksi yang perlu dilakukan dan segera dijadikan program dari SKPD sektor energi dan transportasi yaitu konversi penggunaan bahan bakar minyak tanah ke LPG dan biogas, efisiensi energi, dan pembangunan energi terbarukan. Selain itu, perencanaan pengembangan sistem pengolahan sampah untuk menghasilkan biogas harus segera dilakukan sehingga emisi GRK dapat segera diturunkan lebih besar dari sektor ini serta

pengembangan teknologi biogas dan pakan untuk mengurangi emisi GRK dari ternak.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur dengan metode analisis deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Data diperoleh dari berbagai sumber literatur ilmiah, laporan resmi pemerintah, serta wawancara terbatas dengan Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Provinsi NTB. Pendekatan ini bertujuan untuk memvalidasi data dan laporan resmi pemerintah sekaligus memperoleh informasi tambahan mengenai peran teknologi biogas sebagai aksi mitigasi dalam mereduksi emisi karbon pada sektor peternakan, khususnya ternak sapi di Provinsi NTB.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kualitatif untuk mengkaji kebijakan dan kondisi eksisting pengelolaan biogas, serta secara deskriptif kuantitatif untuk mengestimasi potensi produksi biogas, energi yang dihasilkan, dan pengurangan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dalam satuan karbon dioksida ekuivalen (CO_{2e}). Pengurangan emisi karbon dari pemanfaatan biogas terjadi melalui dua mekanisme utama, yaitu penghindaran emisi metana (CH₄) dari dekomposisi kotoran ternak secara terbuka serta substitusi penggunaan bahan bakar fosil oleh energi yang dihasilkan dari biogas.

Estimasi potensi gas metana dari limbah peternakan sapi di Provinsi NTB dihitung menggunakan Persamaan (1), yaitu:

$$PCH_4 = \Sigma (\text{Populasi} \times \text{Produksi kotoran} \times \text{Yield biogas} \times 365)$$

Dengan populasi ternak sapi sebesar 1.305.294 ekor, produksi kotoran rata-rata 25 kg/ekor/hari, dan yield biogas sebesar 0,04 m³/kg, maka estimasi produksi biogas harian dihitung menggunakan Persamaan (2), yaitu:

$$V_{\text{biogas(hari)}} = \text{Populasi} \times \text{Produksi kotoran} \times \text{Yield biogas}$$

Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh nilai $V_{\text{biogas(hari)}} = 1.305.294 \times 25 \times 0,04 = 1.305.294 \text{ m}^3/\text{hari}$.

Dengan asumsi kandungan metana dalam biogas sebesar 50 persen, volume metana harian dihitung menggunakan Persamaan (3), yaitu:

$$V_{CH_4(\text{hari})} = V_{\text{biogas(hari)}} \times \text{fraksi } CH_4$$

Hasil perhitungan menunjukkan volume metana sebesar $1.305.294 \times 0,5 = 652.647 \text{ m}^3/\text{hari}$. Volume

metana tersebut kemudian dikonversi menjadi massa menggunakan massa jenis metana sebesar $0,716 \text{ kg/m}^3$ melalui Persamaan (4), yaitu:

$$MCH_4 = VCH_4 \times \rho CH_4.$$

Dengan demikian diperoleh massa metana sebesar $652.647 \times 0,716 = 467.295,25 \text{ kg/hari}$ atau setara dengan $467,30 \text{ ton/hari}$. Konversi emisi metana ke dalam satuan karbon dioksida ekuivalen dilakukan menggunakan nilai Global Warming Potential (GWP) metana sebesar 25 dengan menggunakan Persamaan (5), yaitu:

$$ECH_4(CO_2e) = MCH_4 \times GWPC H_4.$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh potensi emisi sebesar $467,30 \times 25 = 11.682,50 \text{ ton CO}_2e/\text{hari}$. Untuk memperoleh estimasi emisi tahunan, digunakan Persamaan (6), yaitu:

$$ECH_4(\text{tahun}) = ECH_4(\text{hari}) \times 365.$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa potensi emisi karbon dari sektor peternakan sapi di Provinsi NTB mencapai $4.264.112,50 \text{ ton CO}_2e/\text{tahun}$ apabila metana dilepaskan ke atmosfer tanpa pengolahan. Selain estimasi emisi, penelitian ini juga menghitung potensi energi dari biogas. Nilai energi biogas dihitung berdasarkan fraksi metana dan nilai kalor metana sebesar $11,72 \text{ kWh/m}^3$ menggunakan Persamaan (7), yaitu:

$$Ebiogas = \text{fraksi } CH_4 \times \text{energi } CH_4.$$

Dengan kandungan metana sebesar 50 persen, maka nilai energi biogas adalah $0,5 \times 11,72 = 5,86 \text{ kWh/m}^3$. Energi yang dihasilkan per ekor sapi per hari dihitung menggunakan Persamaan (8), yaitu:

$$Eekor(\text{hari}) = Vbiogas \times Ebiogas.$$

Dengan volume biogas $1,00 \text{ m}^3/\text{ekor/hari}$ diperoleh energi sebesar $5,86 \text{ kWh/ekor/hari}$. Energi tahunan per ekor sapi dihitung menggunakan Persamaan (9), yaitu:

$$Eekor(\text{tahun}) = Eekor(\text{hari}) \times 365,$$

Sehingga diperoleh energi sebesar $2.138,90 \text{ kWh/ekor/tahun}$. Pengurangan emisi GRK dari pencegahan emisi metana dihitung dengan asumsi emisi metana yang dapat dicegah sebesar $0,05 \text{ kg CH}_4/\text{ekor/hari}$ menggunakan Persamaan (10), yaitu:

$$MCH_4(\text{cegah}) = \text{faktor emisi } CH_4 \times 365$$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai sebesar $0,05 \times 365 = 18,25 \text{ kg CH}_4/\text{ekor/tahun}$. Nilai ini dikonversi ke dalam CO_2 ekuivalen menggunakan Persamaan (11), yaitu:

$$ERCH_4 = MCH_4(\text{cegah}) \times GWPC H_4,$$

sehingga diperoleh pengurangan emisi sebesar $456,25 \text{ kg CO}_2e/\text{ekor/tahun}$. Pengurangan emisi dari substitusi bahan bakar fosil dihitung berdasarkan energi biogas tahunan dan faktor emisi listrik sebesar $0,8 \text{ kg CO}_2e/\text{kWh}$ menggunakan Persamaan (12), yaitu:

$$ERenergi = Eekor(\text{tahun}) \times \text{faktor emisi listrik}$$

Hasil perhitungan menunjukkan pengurangan emisi sebesar $1.711,12 \text{ kg CO}_2e/\text{ekor/tahun}$. Total pengurangan emisi per ekor sapi dihitung menggunakan Persamaan (13), yaitu:

$$ERtotal = ERCH_4 + ERenergi,$$

sehingga diperoleh total pengurangan emisi sebesar $2.167,37 \text{ kg CO}_2e/\text{ekor/tahun}$. Dengan asumsi jumlah ternak sapi yang dimanfaatkan sebanyak 12.300 ekor, total pengurangan emisi GRK dari unit biogas terpasang di Provinsi NTB dihitung menggunakan Persamaan (14), yaitu:

$$ERNTB = ERtotal \times \text{jumlah sapi}$$

Hasil perhitungan menunjukkan total pengurangan emisi sebesar $26.658.651 \text{ kg CO}_2e/\text{tahun}$ atau setara dengan $26.658,65 \text{ ton CO}_2e/\text{tahun}$. Persentase reduksi emisi karbon dari sektor peternakan sapi dihitung menggunakan Persamaan (15), yaitu:

$$R(\%) = (ERNTB / Epotensial) \times 100\%$$

sehingga diperoleh persentase penurunan emisi karbon sebesar $0,625$ persen dari total potensi emisi sektor peternakan sapi di Provinsi NTB.

Hasil dan Diskusi

Gambaran Penanganan Limbah Peternakan Sapi di Provinsi Nusa Tenggara Barat

Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan salah satu wilayah dengan potensi peternakan sapi yang sangat besar di Indonesia. Kondisi agroklimat, ketersediaan lahan, serta dukungan kebijakan daerah menjadikan NTB sebagai salah satu lumbung daging nasional. Data Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Provinsi NTB menunjukkan bahwa populasi sapi potong di NTB menempati peringkat empat nasional dan cenderung mengalami peningkatan dalam lima

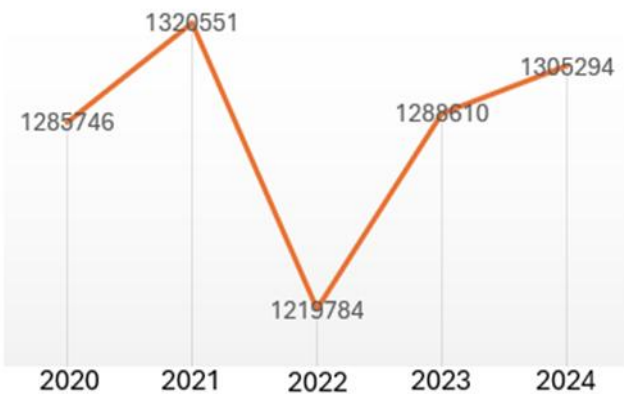
tahun terakhir (2020–2024), meskipun sempat mengalami penurunan pada tahun 2022–2023 akibat wabah Penyakit Mulut dan Kuku (PMK). Tren ini kembali meningkat pada tahun 2024 seiring dengan pemulihan sektor peternakan dan penguatan kebijakan ketahanan pangan berbasis potensi lokal.

Tabel 1. Perkembangan Populasi Ternak Sapi di NTB Tahun 2020–2024)

No.	Jenis Ternak	Populasi					Rata-rata Pertumbuhan
		2020	2021	2022	2023	2024	
1	Sapi	1.285.746	1.320.551	1.219.784	1.288.610	1.305.294	0,50
2	Kerbau	115.151	120.110	102.385	105.660	94.456	(4,46)
3	Kuda	43.705	41.715	36.871	34.078	32.986	(6,74)
4	Kambing	709.768	711.450	652.276	512.525	481.204	(8,90)
5	Domba	23.058	22.161	19.784	15.030	7.495	(22,19)
6	Babi	69.518	64.777	58.803	50.328	53.409	(6,08)
7	Ayam Buras	7.697.844	9.201.252	9.206.819	8.223.707	4.695.534	(8,50)
8	Ayam Ras Pedaging	15.787.388	34.124.270	31.713.828	39.045.381	15.855.597	18,20
9	Ayam Ras Petelur	1.438.497	3.444.223	3.131.512	2.780.498	1.850.146	21,42
10	Itik	737.703	777.467	727.130	524.339	460.115	(10,31)
Jumlah		27.908.376	49.827.976	46.869.192	52.580.156	24.836.236	8,01

Sumber : Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Provinsi NTB, 2025

Meskipun kontribusi ekonomi sektor peternakan cukup signifikan, pengelolaan limbah ternak sapi di NTB masih menghadapi berbagai permasalahan mendasar. Praktik umum yang masih banyak dijumpai adalah pembuangan limbah kotoran ternak ke sungai, saluran air, atau lahan terbuka. Kondisi ini tidak hanya menimbulkan pencemaran air, tanah, dan udara, tetapi juga berkontribusi terhadap pelepasan gas metana (CH₄) ke atmosfer. Metana merupakan gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global yang jauh lebih besar dibandingkan karbon dioksida (CO₂), sehingga pengelolaan limbah ternak yang tidak tepat menjadi sumber emisi GRK yang signifikan namun sering terabaikan.



Gambar 1. Grafik Tren Populasi Sapi di NTB

Meskipun kontribusi ekonomi sektor peternakan cukup signifikan, pengelolaan limbah ternak sapi di NTB masih menghadapi berbagai permasalahan mendasar. Praktik umum yang masih banyak dijumpai

adalah pembuangan limbah kotoran ternak ke sungai, saluran air, atau lahan terbuka. Kondisi ini tidak hanya menimbulkan pencemaran air, tanah, dan udara, tetapi juga berkontribusi terhadap pelepasan gas metana (CH₄) ke atmosfer. Metana merupakan gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global yang jauh lebih besar dibandingkan karbon dioksida (CO₂), sehingga pengelolaan limbah ternak yang tidak tepat menjadi sumber emisi GRK yang signifikan namun sering terabaikan.

Pengolahan kotoran ternak menjadi pupuk organik atau kompos memang telah dilakukan oleh sebagian kecil peternak, namun metode ini dinilai kurang efisien karena membutuhkan waktu yang relatif lama dan belum sepenuhnya menghilangkan potensi emisi metana pada fase awal dekomposisi. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan teknologi yang mampu menangani limbah ternak secara lebih efektif, cepat, dan sekaligus memberikan nilai tambah, salah satunya melalui pemanfaatan teknologi biogas.

Implementasi Teknologi Biogas di Provinsi Nusa Tenggara Barat

Teknologi biogas merupakan intervensi strategis yang mampu menjawab tantangan pengelolaan limbah ternak sekaligus mendukung transisi energi bersih. Implementasi biogas di NTB menunjukkan karakteristik yang berbeda antara Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa, yang dipengaruhi oleh pola peternakan yang berkembang (Hermansyah et al., 2023). Di Pulau Lombok, sebagian besar peternakan sapi menerapkan pola intensif, di mana ternak dikandangkan secara individu maupun komunal. Sebaliknya, di Pulau Sumbawa lebih banyak dijumpai pola ekstensif dan semi-ekstensif, di mana ternak dilepas di ladang atau kebun.

Perbedaan pola peternakan ini berimplikasi langsung terhadap efektivitas operasional biogas. Pola intensif cenderung lebih mendukung keberlanjutan biogas karena ketersediaan kotoran ternak lebih terjamin, proses pengumpulan limbah lebih mudah, serta pengisian reaktor biogas dapat dilakukan secara rutin. Dengan demikian, peternakan intensif memang menciptakan persoalan limbah yang terkonsentrasi, namun pada saat yang sama justru membuka peluang besar untuk memanfaatkan limbah tersebut sebagai sumber energi terbarukan dan solusi pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

Berdasarkan data Dinas ESDM Provinsi NTB Tahun 2025, jumlah unit biogas terpasang di NTB mencapai 6.150 unit yang tersebar di sepuluh kabupaten/kota. Jika dibandingkan dengan total populasi ternak sapi yang mencapai lebih dari 1,3 juta ekor, tingkat pemanfaatan biogas masih sangat rendah,

yaitu sekitar 0,47 persen. Angka ini menunjukkan adanya kesenjangan yang besar antara potensi dan realisasi pemanfaatan biogas. Padahal, manfaat biogas telah dirasakan secara langsung oleh masyarakat, antara lain melalui peningkatan kebersihan lingkungan kandang, pengurangan ketergantungan terhadap LPG dan kayu bakar, serta pemanfaatan residu biogas (bio-slurry) sebagai pupuk organik. Fakta bahwa lebih dari 30 persen pengguna biogas telah memanfaatkan bio-slurry untuk pertanian menunjukkan adanya embrio ekonomi sirkular yang layak dikembangkan lebih lanjut.

Tabel 2. Distribusi Unit Biogas Terpasang di Provinsi NTB

No.	Kabupaten	Jumlah (Unit)
1.	Kota Mataram	10
2.	Kabupaten Lombok Barat	627
3.	Kabupaten Lombok Utara	1.476
4.	Kabupaten Lombok Tengah	1.087
5.	Kabupaten Lombok Timur	1.034
6.	Kabupaten Sumbawa	668
7.	Kabupaten Sumbawa Barat	495
8.	Kabupaten Dompu	461
9.	Kota Bima	34
10.	Kabupaten Bima	258
Total		6.150

Sumber: Data Dinas ESDM Provinsi NTB Tahun 2025

Populasi Sapi dan Implikasinya terhadap Produksi Limbah Harian

Besarnya populasi sapi di NTB secara langsung berbanding lurus dengan volume limbah ternak yang dihasilkan setiap hari. Dengan asumsi produksi kotoran sapi rata-rata sebesar 25 kg per ekor per hari dan populasi ternak sapi sebanyak 1.305.294 ekor, maka total produksi kotoran mencapai sekitar 32.632.350 kg per hari atau setara dengan 32.632,35 ton per hari. Dalam skala tahunan, jumlah ini mencapai lebih dari 11,9 juta ton kotoran ternak.

Volume limbah yang sangat besar ini merepresentasikan dua sisi yang kontras. Di satu sisi, jika tidak dikelola dengan baik, limbah ternak berpotensi menjadi sumber pencemaran lingkungan dan emisi GRK yang signifikan. Di sisi lain, limbah ini juga merupakan sumber daya biomassa yang sangat besar dan bernilai strategis apabila dikelola melalui teknologi yang tepat, seperti biogas. Dengan demikian, isu utama bukan terletak pada ketersediaan bahan baku, melainkan pada sistem pengelolaan dan pemanfaatannya.

Potensi Biogas dan Nilai Energi yang Dihasilkan

Hasil analisis menunjukkan bahwa potensi produksi biogas dari ternak sapi di NTB mencapai

476.432.310 m³ per tahun. Jika dikonversikan ke dalam ekuivalen LPG, dengan asumsi 1 m³ biogas setara dengan 0,46 kg LPG, maka potensi biogas tersebut setara dengan sekitar 219.158.862,6 kg LPG per tahun. Dari perspektif ekonomi, dengan harga LPG bersubsidi sebesar Rp4.250 per kg, nilai ekonomi biogas ini mencapai lebih dari Rp931 miliar per tahun.

Nilai ini menunjukkan bahwa biogas tidak hanya relevan sebagai solusi lingkungan, tetapi juga memiliki potensi ekonomi yang sangat signifikan. Pemanfaatan biogas secara masif dapat mengurangi beban subsidi energi, meningkatkan kemandirian energi rumah tangga, serta membuka peluang usaha baru di sektor energi terbarukan berbasis komunitas.

Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca dari Pemanfaatan Biogas

Berdasarkan hasil perhitungan kuantitatif, total pengurangan emisi GRK dari 6.150 unit biogas terpasang di NTB mencapai 26.658,65 ton CO₂e per tahun, atau sekitar 0,625 persen dari total potensi emisi sektor peternakan sapi yang mencapai lebih dari 4,26 juta ton CO₂e per tahun. Meskipun secara persentase terlihat relatif kecil, angka absolut ini tetap signifikan dan menunjukkan kontribusi nyata biogas dalam mitigasi perubahan iklim.

Pengurangan emisi ini terjadi melalui dua mekanisme utama, yaitu pencegahan langsung emisi metana dari dekomposisi kotoran ternak dan substitusi energi fosil oleh energi biogas. Pencegahan emisi metana merupakan bentuk mitigasi primer yang sangat efektif, mengingat metana memiliki GWP yang jauh lebih tinggi dibandingkan CO₂. Sementara itu, substitusi energi fosil merupakan mitigasi sekunder yang berkontribusi pada pengurangan emisi CO₂ dari sektor energi rumah tangga.

Kontribusi Biogas terhadap Upaya Mitigasi dan Pencapaian NZE 2050

Hasil penelitian ini selaras dengan arah kebijakan Pemerintah Provinsi NTB sebagaimana tertuang dalam Pergub No. 43 Tahun 2024 tentang Peta Jalan NTB Menuju Net Zero Emission (NZE) Sektor Energi Tahun 2050. Meskipun isu limbah peternakan belum menjadi fokus utama dalam dokumen mitigasi GRK daerah, hasil analisis menunjukkan bahwa sektor ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai program unggulan mitigasi berbasis lokal.

Pemanfaatan biogas dari limbah ternak sapi memiliki keunggulan strategis karena mampu memberikan manfaat multipel, yaitu pengurangan emisi metana secara langsung, substitusi bahan bakar fosil, serta penciptaan rantai nilai ekonomi melalui pemanfaatan bio-slurry sebagai pupuk organik. Integrasi biogas ke dalam kebijakan mitigasi GRK

daerah tidak hanya berkontribusi pada pencapaian target NZE 2050, tetapi juga mendukung pembangunan pedesaan berkelanjutan, peningkatan kesehatan masyarakat, dan penguatan ekonomi sirkular berbasis sumber daya lokal.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kuantitatif, penelitian ini menyimpulkan bahwa sektor peternakan sapi di Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) memiliki potensi yang sangat besar dalam mendukung upaya mitigasi perubahan iklim melalui pemanfaatan teknologi biogas. Dengan populasi sapi potong sebesar 1.305.294 ekor, potensi produksi kotoran ternak mencapai 11.910.807,75 ton per tahun yang berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca sebesar 4.264.112,50 tonCO₂e per tahun apabila tidak dikelola dengan baik. Hingga saat ini, pemanfaatan biogas baru mencapai 6.150 unit atau sekitar 0,47% dari potensi populasi sapi, yang diasumsikan memanfaatkan limbah dari sekitar 12.300 ekor sapi. Dari kondisi tersebut, total pengurangan emisi yang berhasil dicapai sebesar 26.658,65 tonCO₂e per tahun, yang berasal dari pencegahan emisi metana sebesar 5.611.875 kgCO₂e per tahun dan substitusi energi fosil sebesar 21.046.776 kgCO₂e per tahun, atau setara dengan 0,625% dari total potensi emisi kotoran sapi di NTB. Selain manfaat mitigasi iklim, potensi energi biogas dari seluruh populasi sapi di NTB mencapai 476.432.310 m³ per tahun dengan nilai ekonomi setara penghematan LPG subsidi sebesar Rp931.425.166.050 per tahun. Meskipun kontribusi aktual biogas terhadap penurunan emisi masih relatif kecil akibat belum menjadi prioritas kebijakan daerah, hasil penelitian ini menegaskan bahwa biogas merupakan solusi berkelanjutan dengan manfaat multi-sektor, meliputi mitigasi iklim, penguatan energi terbarukan menuju NZE 2050, serta pengembangan ekonomi sirkular melalui pemanfaatan bio-slurry sebagai pupuk organik.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kerja sama sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Referensi

- Anggari, V. S., & Prayitno, P. (2023). STUDI LITERATUR LIMBAH TAPIOKA UNTUK PRODUKSI BIOGAS: METODE PENGOLAHAN DAN PERANAN STARTER SUBSTRAT. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 6(2), 176–187. <https://doi.org/10.33795/distilat.v6i2.106>
- B. Sorensen, *Renewable Energy Conversion, Transmission, and Storage*, Academic Press, 2007.
- D. Waskito, "Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi di Kawasan Usaha Peternakan Sapi," Doctoral Dissertation, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 2011.
- Dewan Nasional Perubahan Iklim. (2013). *Mari Berdagang Karbon! Pengantar Pasar Karbon untuk Pengendalian Perubahan Iklim*.
- Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. *Biogas: Mengolah Limbah Jadi Berkah "Turning Waste into Benefit."* 2016.
- ICLEI, *Peta Jalan 100% Energi Terbarukan Provinsi NTB*, 2023
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU), Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management.
- Karki B. Amrit, Shrestha Nath Jagan dan Sundar Bajgain, 2005, *Biogas, - as renewable source of energy in Nepal*, BSP-Nepal
- Kata Data Insight Center. (2022). *Indonesia Carbon Trading Handbook*
- Laporan SDG'S Provinsi NTB Tahun 2024
- Pembangunan Rendah Karbon dan Berketahanan Iklim Daerah Provinsi NTB, 2025 – 2045
- Pemerintah Provinsi NTB, *Dokumen Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJMD) Provinsi NTB 2025 – 2029*
- Peraturan Gubernur (Pergub) No. 43 Tahun 2024 tentang Peta Jalan Nusa Tenggara Barat Menuju Emisi Nol Bersih Sektor Energi Tahun 2050, menunjukkan komitmen daerah untuk mengelola dan mengurangi emisi.
- Second Nationally Determined Contribution Documents Republic of Indonesia, 2025
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 7826:2012 – *Konstruksi Biogas Model Kubah Tetap (Fixed Dome)*
- Wahyuni Sri, 2011, *Menghasilkan biogas dari aneka limbah*, Agro Media Pustaka, Jakarta.
- Hamri, H., Kamil, K., Atim, M. Z., & Efendi, R. (2024). Analisis Potensi Biogas Kotoran Sapi. *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 10(2), 546. <https://doi.org/10.35308/jmkn.v10i2.9590>
- Harissatria, Hendri, J., Surtina, D., Nurhaita, Asri, A., Afrini, D., Firnando, E., & Elinda, F. (2025). Penerapan Teknologi Biogas, Pupuk Organik dan Manajemen Reproduksi Sapi Potong di Berkah Tani Farm Kabupaten Solok. *PADMA*, 5(1), 368–373. <https://doi.org/10.56689/padma.v5i1.2004>

- Haryanto, A., Suharyatun, S., Rahmawati, W., & Triyono, S. (2020). Energi Terbarukan dari Jerami Padi: Review Potensi dan Tantangan Bagi Indonesia. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 7(2), 137-146. <https://doi.org/10.19028/jtep.07.2.137-146>
- Hermansyah, Dahlanuddin, Fachry, A., & Dilaga, S. H. (2023). Persepsi Peternak Tentang Lamtoro Taramba Sebagai Pakan Sapi Penggemukan di Kabupaten Sumbawa Nusa Tenggara Barat (NTB). *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Peternakan Indonesia (JITPI) Indonesian Journal of Animal Science and Technology*, 9(2), 63-69. <https://doi.org/10.29303/jitpi.v9i2.178>
- Kalpikajati, S. Y., & Hermawan, S. (2022). Hambatan Penerapan Kebijakan Energi Terbarukan di Indonesia. *Batulis Civil Law Review*, 3(2), 187-207. <https://doi.org/10.47268/ballrev.v3i2.1012>
- Kevin, D., & Sari, D. A. (2025). Pemberdayaan Masyarakat melalui Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas sebagai Sumber Energi Terbaharukan. *Abdi: Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat*, 7(1), 119-127. <https://doi.org/10.24036/abdi.v7i1.1043>
- Maeanti, R. F., Fauzi, A., & Istiqomah, A. (2013). Evaluasi Kelayakan Finansial Usaha Peternakan dan Pengembangan Biogas: Studi Kasus Desa Suntenjaya, Bandung. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 14(1), 27-42. <https://doi.org/10.21002/jepi.v14i1.02>
- Ngadisih, N., Sinatrya, A., Wulan, I. R., Tanjung, J. 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), 245-254. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v12i1.74231>
- Nuhung, I. A. (2015). Kinerja, Kendala, dan Strategi Pencapaian Swasembada Daging Sapi. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 33(1), 63. <https://doi.org/10.21082/fae.v33n1.2015.63-80>
- Pamungkas, A., Mahardhika, G. R., Puspita, A. D. A., Kurniawan, M., Merdekawati, I., Nurkholishari, A., & Jamalurrusid, A. (2025). Skenario Mitigasi Gas Rumah Kaca: Studi Kasus Pengurangan Emisi Kota Probolinggo. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 13(2), 1-19. <https://doi.org/10.14710/jwl.13.2.1-19>
- Ramli, I. R. (2019). MODIFIKASI SPUYER PADA KOMPOR BIOGAS DR DAN PEMBERIAN KATUP PENGAMAN TEKANAN BIOGAS. *Jurnal Rekayasa Industri (JRI)*, 1(1). <https://doi.org/10.37631/jri.v1i1.54>
- Runtuni, S. Y. (2019). Pemanfaatan Biogas dan Dampaknya terhadap Kesejahteraan Keluarga Peternak Sapi Perah di Mojosoongo, Boyolali. *PARAMETER: Jurnal Pendidikan Universitas Negeri Jakarta*, 31(2), 81-95. <https://doi.org/10.21009/parameter.312.02>
- Santoso, B., Warsono, I. U., Sesaray, D. Y., & Purwaningsih, P. (2020). PEMANFAATAN KOTORAN SAPI SEBAGAI SUMBER ENERGI BIOGAS DI KABUPATEN TELUK BINTUNI PROVINSI PAPUA BARAT. *JURNAL PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT*, 26(3), 119-123. <https://doi.org/10.24114/jpkm.v26i3.17633>
- Subakti, A., Irawan, D., Mafruddin, M., & Handono, S. D. (2022). Pengaruh komposisi campuran kotoran sapi dan limbah cair tapioka terhadap biogas yang dihasilkan. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 3(1), 37-45. <https://doi.org/10.24127/armatur.v3i1.1937>
- Sukmono, A., Imanudin, O., & Widianingrum, D. (2024). Evaluasi Potensi Emisi Gas Rumah Kaca Di Peternakan Sapi Potong Di Kecamatan Paseh Kabupaten Sumedang. *Tropical Livestock Science Journal*, 3(1), 13-28. <https://doi.org/10.31949/tlsj.v3i1.11359>
- Wahyuni, S., Kadarwati, S., & Aprilia, R. (2023). BIOFERTILIZER BERBASIS BIOCHAR UNTUK REMEDIASI LAHAN PERTANIAN INDONESIA. *Bookchapter Alam Universitas Negeri Semarang*, 2, 145-177. <https://doi.org/10.15294/ka.v1i2.140>
- Yanti, D., Santosa, S., Ekaputra, E. G., Mislaini, M., Chatib, O. C., & Irsyad, F. (2019). PEMANFAATAN SLUDGE HASIL IKUTAN BIOGASDARI KOTORAN SAPI UNTUK PEMBUATAN KOMPOS. *Jurnal Hilirisasi IPTEKS*, 2(2), 106-112. <https://doi.org/10.25077/jhi.v2i2.338>