

KAJIAN LITERATUR REVIEW : PEMANFAATAN KOTORAN SAPI MENJADI BIOGAS DAN PUPUK KOMPOS DALAM UPAYA PEMENUHAN KEBERLANJUTAN ENERGI DAN LINGKUNGAN

**MARTHA DIANA*, AN NABILA AZZAHRO, NAJMA GHINA SALSABILA,
JONO SUHARTONO**

Program Studi Teknik Kimia – Institut Teknologi Nasional Bandung

Email : martha.diana@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Sektor peternakan menghasilkan limbah organik dalam jumlah besar, khususnya kotoran sapi, yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk menyintesis dan menganalisis potensi pemanfaatan kotoran sapi sebagai biogas dan pupuk kompos dalam mendukung keberlanjutan energi dan lingkungan. Metode yang digunakan adalah studi literatur terhadap publikasi ilmiah pada periode 2015–2024 yang diperoleh dari berbagai sumber literatur ilmiah terakreditasi, dengan jumlah artikel yang dianalisis sebanyak 17 studi. Hasil sintesis menunjukkan bahwa produksi biogas dari kotoran sapi umumnya berada pada kisaran 0,20–0,30 m³/ekor/hari, dengan kandungan metana berkisar antara 50–70%, serta kondisi operasi optimal pada rentang suhu mesofilik sekitar 30–40°C dan pH 6,8 – 7,5. Selain itu, residu hasil proses anaerobik dapat dimanfaatkan sebagai pupuk kompos yang mengandung unsur hara penting bagi tanaman. Pemanfaatan kotoran sapi sebagai biogas dan pupuk kompos tidak hanya berpotensi mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga mendukung penyediaan energi terbarukan dan peningkatan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

Kata kunci: Biogas, Energi Terbarukan, Kotoran Sapi, Pupuk Kompos, Keberlanjutan

ABSTRACT

The livestock sector generates a large amount of organic waste, particularly cattle manure, which has the potential to pollute the environment if not properly managed. This study aims to synthesize and analyze the potential utilization of cattle manure as biogas and compost in supporting energy and environmental sustainability. The method used is a literature review of scientific publications from 2015 to 2024 obtained from various accredited scientific sources, with a total of 17 studies analyzed. The synthesis results indicate that biogas production from cattle manure generally ranges from 0.20 to 0.30 m³/head/day, with methane content ranging from 50–70%, and optimal operating conditions within the mesophilic temperature range of 30–40°C and pH conditions of 6.8–7.5. In addition, the residue from the anaerobic process can be utilized as compost containing essential nutrients for plants. The utilization of cattle manure as biogas and compost not only has the potential to reduce environmental pollution, but also supports the provision of renewable energy and enhances agricultural productivity in a sustainable manner.

Keywords: Biogas, Renewable Energy, Cattle Manure, Compost, Sustainability

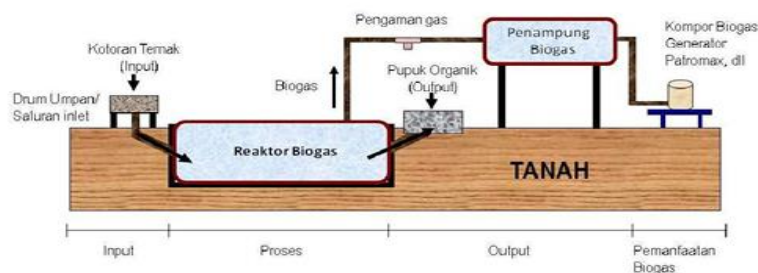
1. PENDAHULUAN

Salah satu ternak yang banyak dipelihara di Indonesia adalah sapi, terutama di wilayah agraris yang didukung oleh kondisi iklim tropis dan ketersediaan lahan pertanian yang luas. Selain berperan sebagai sumber pangan, peternakan sapi juga memiliki nilai ekonomi penting bagi masyarakat pedesaan sebagai sumber pendapatan dan penunjang kegiatan pertanian.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (Badan Pusat Statistik (2024). Statistik Peternakan Indonesia 2024), populasi sapi di Indonesia mencapai jutaan ekor dan tersebar di berbagai provinsi. Jumlah tersebut menunjukkan besarnya potensi limbah peternakan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber biomassa. Seekor sapi dewasa umumnya menghasilkan sekitar 20–25 kg kotoran per hari yang berpotensi diolah melalui proses digesti anaerob menjadi biogas dengan produksi sekitar 0,5 m³/ekor/hari (Fidela, dkk, 2024). Pemanfaatan limbah kotoran sapi sebagai biogas berpotensi mendukung penyediaan energi terbarukan, khususnya di wilayah pedesaan, sekaligus membantu mengurangi pencemaran lingkungan dan emisi gas rumah kaca.

Limbah peternakan sapi terdiri atas limbah padat dan limbah cair. Limbah padat meliputi kotoran ternak dan sisa pakan, sedangkan limbah cair berasal dari urin serta air pencucian kandang. Apabila tidak dikelola dengan baik, limbah tersebut dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, seperti penurunan kualitas air dan munculnya bau tidak sedap. Kotoran sapi sebagai limbah organik memiliki kandungan air dan senyawa organik yang cukup tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas maupun pupuk kompos (Sugiono, dkk, 2023).

Kotoran sapi merupakan salah satu bahan organik yang potensial untuk produksi biogas melalui proses fermentasi anaerob. Selain menghasilkan energi terbarukan, proses tersebut juga menghasilkan residu padat yang masih mengandung unsur hara dan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Pemanfaatan residu hasil fermentasi sebagai kompos berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia sekaligus mendukung sistem pertanian berkelanjutan (Irawan & Suwanto, 2017).



Gambar 1. Skema Integrasi Pemanfaatan Kotoran Sapi menjadi Biogas dan Pupuk Kompos dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan (Tonglolangi, 2017)

Gambar 1 menunjukkan konsep integrasi pemanfaatan kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk kompos dalam sistem pertanian berkelanjutan. Sistem tersebut menggambarkan pemanfaatan limbah peternakan sebagai sumber energi terbarukan sekaligus bahan baku pupuk organik sehingga dapat mendukung konsep circular agriculture. Selain mengurangi pencemaran lingkungan, sistem ini juga berpotensi meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya di sektor peternakan dan pertanian.

Meskipun pemanfaatan kotoran sapi sebagai biogas dan pupuk kompos telah banyak diteliti, hasil dari berbagai penelitian tersebut masih tersebar dan menunjukkan parameter operasional yang beragam, seperti produksi biogas, kandungan metana, suhu optimum, serta karakteristik pupuk organik yang dihasilkan. Kondisi ini menyebabkan belum tersedianya suatu kajian sintesis yang memberikan gambaran menyeluruh mengenai potensi pemanfaatan kotoran sapi sebagai sumber energi terbarukan dan pupuk organik secara berkelanjutan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menyintesis dan menganalisis potensi pemanfaatan kotoran sapi sebagai sumber energi biogas dan pupuk kompos berdasarkan berbagai penelitian terdahulu. Kajian ini dibatasi pada publikasi ilmiah periode 2015–2024 yang membahas produksi biogas, proses fermentasi anaerob, pengomposan, serta pemanfaatan residu kotoran sapi sebagai pupuk organik dalam mendukung pengelolaan limbah peternakan yang berkelanjutan.

2. METODE

Penelitian ini menerapkan metode *narrative literature* untuk mengkaji pemanfaatan kotoran sapi sebagai bahan baku biogas dan pupuk kompos. Metode ini digunakan untuk mengumpulkan, menelaah, serta menyintesis berbagai hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan produksi biogas, proses fermentasi anaerob, dan pemanfaatan residu kotoran sapi sebagai pupuk organik. Data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari berbagai publikasi ilmiah, seperti jurnal nasional dan internasional, artikel ilmiah, buku akademik, serta laporan penelitian yang relevan dengan topik penelitian.

Proses pengumpulan literatur dilakukan melalui beberapa basis data ilmiah, yaitu Google Scholar, SINTA, dan ScienceDirect. Pencarian literatur dilakukan menggunakan kata kunci seperti "biogas kotoran sapi", "cow manure biogas", "anaerobic digestion", "pupuk kompos kotoran sapi", dan "composting cow manure" "renewable energy". Literatur yang digunakan dibatasi pada publikasi dalam rentang tahun 2015–2024.

Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi artikel ilmiah yang membahas produksi biogas dari kotoran sapi, proses fermentasi anaerob, pemanfaatan residu biogas sebagai pupuk kompos, serta faktor-faktor yang mempengaruhi proses produksi biogas dan pengomposan. Sementara itu, artikel yang tidak relevan dengan topik penelitian, tidak memiliki data yang jelas, serta publikasi non-ilmiah dikeluarkan dari proses kajian.

Tahapan seleksi literatur dilakukan melalui identifikasi, penyaringan, dan analisis artikel. Dari hasil pencarian literatur, diperoleh sejumlah artikel yang kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaian topik dan tujuan penelitian hingga diperoleh 17 artikel utama yang digunakan dalam proses kajian. Analisis data dilakukan secara naratif dan tematik dengan membandingkan hasil dari berbagai penelitian terdahulu untuk mengidentifikasi potensi produksi biogas, kondisi operasional optimum, serta pemanfaatan residu kotoran sapi sebagai pupuk organik yang mendukung sistem pertanian berkelanjutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemanfaatan Kotoran Sapi sebagai Sumber Energi Biogas

Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dihasilkan melalui proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi anaerob. Proses ini menghasilkan campuran gas yang didominasi oleh metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), dengan sejumlah kecil gas lain seperti hidrogen sulfida (H_2S) dan nitrogen. Kandungan metana dalam biogas umumnya berkisar antara 45–75%, yang berperan sebagai komponen utama dalam menentukan nilai energi biogas. Metana sebagai komponen utama biogas memiliki sifat mudah terbakar sehingga berperan penting dalam menentukan nilai energi yang dihasilkan. Oleh karena itu, biogas berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar fosil.

Gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) adalah bahan utama biogas. dengan tingkat metana yang tinggi dan tingkat kalor yang tinggi —berkisar antara 4.800 hingga 6.700 kkal/ m^3 — Biogas memiliki banyak potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan. Selain itu, karena struktur molekul metana hanya terdiri dari satu atom karbon, proses pembakarannya cenderung lebih ramah lingkungan dan lebih bersih daripada bahan bakar fosil yang kompleks (Wardana, dkk, 2021)

Menurut Fidela dkk, (2024), seekor sapi dewasa dapat menghasilkan 20-30 kilogram kotoran sapi padat dan 100-150 liter limbah cair setiap hari. Limbah tersebut berpotensi diolah menjadi biogas melalui proses digesti anaerob, dengan estimasi produksi sekitar 0,023 m^3 biogas per kg kotoran, atau setara dengan 0,575 m^3 /ekor/hari. Biogas yang dihasilkan memiliki nilai kalor berkisar antara 6.400-6.600 kkal/ m^3 , sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk kebutuhan rumah tangga. Dengan demikian, pemanfaatan kotoran sapi sebagai biogas memiliki potensi yang signifikan dalam mendukung penyediaan energi yang lebih ramah lingkungan.

Selain ramah lingkungan, biogas juga dianggap lebih aman dibandingkan LPG. Jika terjadi kebocoran, biogas akan cepat menyebar dan menghilang tanpa menimbulkan ledakan, sehingga risiko kebakaran menjadi jauh lebih kecil. Kebocoran pada pipa atau penampungan biogas pun tidak menimbulkan bahaya besar karena gas yang keluar segera menguap. Bahkan ketika api didekatkan ke sumber kebocoran, tidak akan muncul semburan api yang dapat memicu kebakaran. Dengan demikian, biogas yang berasal dari kotoran sapi tergolong aman untuk digunakan sebagai bahan bakar. Selain sebagai bahan bakar, biogas juga berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik.

Proses pembentukan biogas dari kotoran sapi berlangsung melalui penguraian bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen (anaerob). Ini menghasilkan campuran gas, terutama metana dan karbon dioksida (CO_2), yang dikenal sebagai biogas atau gas rawa. Penguraian anaerob tersebut melibatkan mikroorganisme, termasuk bakteri metanogenik, yang berperan dalam fermentasi bahan organik. Produksi biogas umumnya berlangsung optimal pada kondisi mesofilik (30–40°C). Namun, proses juga dapat berlangsung pada kondisi termofilik (50–55°C) dengan kebutuhan kontrol yang lebih tinggi. Komposisi gas yang terbentuk selama proses ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi Biogas pada Kotoran Sapi
(Wardana, dkk, 2021)

Jenis Gas	Komposisi (%)
Metana (CH ₄)	54 – 70
Karbon Dioksida (CO ₂)	27 – 45
Nitrogen (N ₂)	0,5 – 3
Karbon Monoksida (CO)	0,1
Oksigen (O ₂)	0,1
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	Sedikit sekali

Berdasarkan Tabel 1, kandungan metana menjadi parameter utama yang menentukan kualitas biogas sebagai bahan bakar. Semakin tinggi konsentrasi CH₄, maka semakin tinggi pula nilai kalor yang dihasilkan. Variasi komposisi biogas pada berbagai penelitian dipengaruhi oleh kondisi operasional biodigester, seperti suhu fermentasi, waktu retensi, rasio pencampuran bahan baku, serta kestabilan pH selama proses anaerobik berlangsung. Kandungan karbon dioksida yang terlalu tinggi dapat menurunkan kualitas pembakaran biogas sehingga proses pemurnian sering diperlukan sebelum biogas dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Proses produksi biogas berlangsung melalui fermentasi anaerob oleh bakteri metanogenik yang menguraikan bahan organik tanpa adanya oksigen. Pada tahap awal, kotoran sapi dicampurkan dengan air di bak pemasukan (*inlet*) untuk membentuk slurry, kemudian dialirkan ke dalam digester yang tertutup rapat. Di dalam reaktor tersebut, bahan organik mengalami penguraian dan menghasilkan campuran gas berupa metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), serta sejumlah gas lain seperti hidrogen sulfida (H₂S), nitrogen (N₂), dan oksigen (O₂) dalam jumlah kecil.

Produksi biogas umumnya dilakukan menggunakan biodigester, yaitu reaktor tertutup yang beroperasi dalam kondisi anaerob untuk mendukung aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik menjadi gas. Proses pembentukan biogas dipengaruhi oleh beberapa faktor operasional, seperti pH, suhu, dan komposisi bahan baku. Aktivitas mikroorganisme anaerob umumnya berlangsung optimal pada kondisi pH mendekati netral dan suhu mesofilik. Selain itu, komposisi bahan baku, termasuk rasio campuran antara kotoran dan air, juga berperan dalam menentukan efisiensi proses fermentasi. Pengendalian faktor-faktor tersebut menjadi penting untuk menghasilkan biogas secara optimal (Aji & Bambang, 2019).

Jenis digester yang digunakan turut mempengaruhi efisiensi produksi dan penyimpanan gas. Digester tipe *fixed dome* umumnya lebih banyak diterapkan pada skala rumah tangga karena memiliki konstruksi yang sederhana, biaya perawatan relatif rendah, dan risiko kebocoran gas yang kecil. Sementara itu, digester tipe *floating drum* lebih sesuai digunakan pada kapasitas yang lebih besar karena volume gas yang dihasilkan lebih mudah dipantau. Gas biogas yang terbentuk kemudian dialirkan melalui pipa menuju kompor atau unit pemanfaatan lainnya dengan bantuan katup (*valve*) sebagai pengontrol aliran gas.

Keberadaan valve memungkinkan pengguna mengatur suplai gas sesuai kebutuhan penggunaan. Ketika katup dibuka, biogas akan mengalir menuju kompor dan digunakan sebagai sumber panas untuk keperluan rumah tangga. Sistem biodigester sederhana seperti ini dinilai cukup efektif diterapkan pada peternakan skala kecil karena selain mampu menyediakan energi alternatif, juga membantu mengurangi pencemaran lingkungan akibat

limbah organik ternak. Pemanfaatan biogas dari kotoran sapi juga berkontribusi dalam menurunkan emisi gas rumah kaca yang berasal dari sektor peternakan.

Rasio kotoran sapi dan air sangat berpengaruh terhadap produksi biogas. Rasio 1:1 hingga 1:2 terbukti menghasilkan viskositas lumpur yang ideal untuk pergerakan mikroorganisme. Jika terlalu pekat, difusi gas berkurang serta jika terlalu encer, konsentrasi substrat berkurang. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Wardana dkk, (2021), limbah kotoran sapi dimanfaatkan dengan mencampurkan kotoran tersebut dengan air menggunakan perbandingan 2:1 dalam bak penampung. Campuran ini kemudian dialirkan ke dalam tabung digester untuk menjalani proses fermentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada hari keempat belas gas mulai terbentuk dan mampu menyalakan api pada kompor. Umumnya, peningkatan pada jumlah rasio air yang ditambahkan, maka volume biogas yang dihasilkan semakin meningkat. Kondisi tersebut sesuai dengan tahap hidrolisis dan asetonogenesis di mana penambahan air dibutuhkan untuk molekul air yang mendukung reaksi hidrolisis. Hasil penelitian menyatakan bahwa pengaruh penambahan air pada produksi biogas sangat mempengaruhi volume biogas yang dihasilkan, dari variasi rasio kotoran sapi:air diperoleh variasi paling baik yaitu pada rasio 1:3, di mana pada variasi tersebut volume biogas yang diperoleh lebih banyak dibandingkan rasio lainnya terdapat peningkatan yang besar. Rasio 1:3 pun memiliki jumlah air yang lebih banyak untuk mendukung proses hidrolisis dan asetonogenesis.

Produksi biogas umumnya berlangsung optimal pada kondisi suhu mesofilik, yaitu sekitar 30–40°C, karena pada rentang tersebut aktivitas bakteri metanogenik cenderung lebih stabil sehingga proses pembentukan gas metana dapat berlangsung secara efektif. Suhu operasional menjadi salah satu faktor penting dalam fermentasi anaerob karena berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme di dalam digester. Pada suhu di bawah 25°C, aktivitas bakteri metanogen biasanya mengalami penurunan sehingga laju produksi biogas menjadi lebih rendah. Sementara itu, penggunaan suhu termofilik 55°C juga dapat digunakan namun memerlukan pengendalian energi yang lebih besar agar kondisi fermentasi tetap stabil (Carotenuto, dkk, 2016).

Menurut Fidela dkk, (2024) proses penguraian bahan organik secara anaerob berlangsung dengan bantuan berbagai mikroorganisme pada kisaran suhu fermentasi 25–55°C. Pada rentang suhu tersebut, mikroorganisme mampu bekerja secara optimal dalam mendegradasi senyawa organik menjadi biogas. Oleh karena itu, pengendalian suhu operasional dalam biodigester sangat diperlukan untuk menjaga kestabilan proses fermentasi dan meningkatkan efisiensi produksi biogas.

Waktu retensi dan kondisi pH merupakan faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan proses fermentasi anaerob dalam produksi biogas. Berdasarkan beberapa penelitian, waktu retensi optimum umumnya berada pada kisaran 30–45 hari dengan kondisi pH ideal sekitar 6,8–7,5. Nilai pH yang terlalu asam maupun terlalu basa dapat menghambat aktivitas bakteri metanogenik sehingga proses pembentukan gas metana menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, kestabilan pH dalam digester perlu dijaga, salah satunya melalui penambahan bahan penyangga alami seperti abu sekam. Menurut Mao dkk, (2015) menyatakan bahwa aktivitas bakteri metanogen berlangsung optimal pada kondisi pH mendekati netral, yaitu sekitar 6,8–7,5.

Hasil penelitian dari Fidela dkk, (2024) menunjukkan bahwa biogas mulai dapat digunakan untuk menyalakan kompor pada hari ke-14 fermentasi. Pada hari ke-18, gas masih dapat dimanfaatkan meskipun menghasilkan aroma yang lebih menyengat dibandingkan

sebelumnya. Sementara itu, pada hari ke-21 proses pembentukan gas masih terus berlangsung, yang menandakan bahwa aktivitas bakteri anaerob di dalam digester masih berjalan dengan baik. Penelitian lain oleh Fitriyah dkk, (2021) menyebutkan bahwa produksi biogas umumnya berlangsung selama 7–14 hari dan pada hari ke-14 kandungan metana mulai terbentuk dengan lebih baik.

Di sisi lain, penelitian yang dilakukan oleh Amrullah dkk, (2017) menyatakan bahwa fermentasi anaerob memerlukan waktu sekitar 60–90 hari untuk menghasilkan gas metana secara optimal. Sementara itu, menurut Wardana dkk, (2021) biogas sudah dapat dimanfaatkan setelah proses fermentasi berlangsung selama 4–5 minggu.

Tabel 2. Perbandingan Waktu Retensi pada Produksi Biogas dari Kotoran Sapi

Peneliti	Waktu Retensi	Kondisi Biogas yang Dihasilkan
(Fidela, dkk, 2024)	14 hari	Biogas mulai dapat menyalakan kompor
(Fitriyah, dkk, 2021)	7 – 14 hari	Metana mulai terbentuk
(Wardana, dkk, 2021)	28 – 35 hari	Biogas sudah dapat dimanfaatkan
(Amrullah, dkk, 2017)	60 – 90 hari	Produksi metana optimal

Menurut Haryanto dkk, (2018), semakin lama waktu retensi berlangsung, proses degradasi bahan organik oleh mikroorganisme anaerob berlangsung lebih optimal sehingga produksi metana cenderung meningkat hingga mencapai kondisi optimum tertentu. Perbedaan waktu retensi yang dilaporkan pada berbagai penelitian dipengaruhi oleh kondisi operasional digester, seperti suhu fermentasi, komposisi substrat, rasio campuran kotoran dan air, serta aktivitas mikroorganisme anaerob di dalam digester.

Hasil berbagai studi literatur menunjukkan bahwa kotoran sapi memiliki potensi yang cukup besar sebagai bahan baku produksi biogas. Produksi biogas yang dihasilkan berkisar antara 0,23–0,40 m³ per kilogram bahan kering, dengan kandungan bahan kering pada kotoran sapi sebesar 20% (Widyastuti, 2024). Setiap 1 m³ biogas memiliki nilai energi yang setara dengan sekitar 0,46–0,62 liter minyak tanah, 0,52 liter minyak solar, dan sekitar 3,5 kg kayu bakar. Nilai kalor biogas berkisar ±4.800–6.700 kkal/m³, tergantung kandungan metana yang dihasilkan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa limbah peternakan memiliki peluang besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan yang dapat mendukung kebutuhan energi rumah tangga maupun peternakan skala kecil.

Hasil berbagai studi literatur menunjukkan bahwa produksi biogas dari kotoran sapi bervariasi tergantung basis data yang digunakan. Perbandingan potensi produksi biogas dari beberapa penelitian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Potensi Produksi Biogas dari Kotoran Sapi Berdasarkan Studi Literatur

Peneliti	Yield Biogas	Basis Data
(Widyastuti, 2024)	0,23 – 0,40 m ³ /kg bahan kering	<i>Dry matter</i>
(Fidela, dkk, 2024)	0,575 m ³ /ekor/hari	Per ekor per hari

Berdasarkan Tabel 3, nilai produksi biogas yang dilaporkan oleh Widyastuti, (2024) sebesar 0,23–0,40 m³/kg bahan kering, sedangkan Fidela dkk, (2024) melaporkan produksi sekitar 0,575 m³/ekor/hari. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan basis pelaporan, yaitu per kilogram bahan kering dan per ekor sapi per hari, sehingga kedua nilai tersebut tidak dapat dibandingkan secara langsung tanpa konversi ke satuan yang sama.

Peningkatan produksi dan kualitas biogas dapat dilakukan melalui metode ko-digesti, yaitu proses fermentasi dengan mencampurkan kotoran sapi bersama bahan organik lainnya, seperti limbah dapur atau jerami padi. Penambahan bahan tersebut dapat membantu memperbaiki rasio karbon terhadap nitrogen (C/N ratio) sehingga mendekati kondisi optimum bagi aktivitas mikroorganisme anaerob, yaitu sekitar 25–30. Rasio C/N yang seimbang mampu meningkatkan efisiensi proses fermentasi, mempercepat penguraian bahan organik, dan meningkatkan produksi gas metana yang dihasilkan.

3.2 Pemanfaatan Kotoran Sapi sebagai Pupuk Kompos

Selain dimanfaatkan sebagai biogas, limbah kotoran sapi juga menghasilkan residu yang berpotensi diolah menjadi pupuk organik. Residu hasil proses digesti anaerob tersebut masih mengandung unsur hara yang bermanfaat bagi tanaman. Seekor sapi dapat menghasilkan limbah padat sekitar 20-30 kg per hari atau setara dengan 7,3-10,95 ton per tahun. Apabila dimanfaatkan secara optimal, limbah ini dapat diolah menjadi pupuk organik yang mampu mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia serta mendukung sistem pertanian berkelanjutan (Huda & Wikanta, 2016).

Menurut Rakhmawati dkk, (2019), Kotoran ternak mengandung unsur hara penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Sebagai bahan organik, kotoran sapi umumnya memiliki rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) yang relatif rendah. Oleh karena itu, untuk meningkatkan efisiensi proses pengomposan, kotoran ternak perlu dikombinasikan dengan bahan lain yang memiliki rasio C/N lebih tinggi, seperti limbah tanaman. Kombinasi tersebut dapat menghasilkan kompos kualitas yang lebih baik dan berkontribusi dalam meningkatkan kesuburan tanah.

Proses pembuatan kompos dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti keseimbangan bahan organik, kelembapan, aerasi, dan aktivitas mikroorganisme pengurai. Kotoran ternak sebagai bahan utama juga perlu dikombinasikan dengan bahan tambahan seperti serbuk gergaji, abu, kapur, atau material berserat tinggi lainnya. Penambahan bahan tersebut juga membantu membentuk rongga udara di dalam tumpukan kompos sehingga sirkulasi oksigen bagi mikroorganisme pengurai dapat berlangsung secara optimal (Fitra Yunanda, dkk, 2023). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses *composting* yaitu (Ren, dkk, 2023) seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Faktor yang Mempengaruhi Proses Composting Kotoran Sapi

Faktor	Kondisi Optimum	Pengaruh
Rasio C/N	30-40	Mempercepat dekomposisi
Kelembapan	40-60%	Mendukung aktivitas mikroba
Suhu	30-60 °C	Meningkatkan penguraian
pH	5,5-9	Menjaga aktivitas mikroba
Aerasi	Cukup oksigen	Mencegah anaerob
Ukuran Bahan	Kecil	Memperluas kontak

Kompos yang dihasilkan dari limbah kotoran sapi mengandung berbagai unsur hara yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman, seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Selain itu, kompos juga mengandung unsur mineral lain yang dapat membantu memperbaiki kesuburan tanah. Menurut Ekawandani, (2018) kandungan rata-rata unsur hara dalam kompos ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kandungan rata-rata unsur hara dalam kompos (Ekawandani, 2018)

Komponen	Kandungan (%)
Air	41 – 43
C- organik	4,88 – 8
N	0,10 – 0,51
P ₂ O ₅	0,35 – 1,12
K ₂ O	0,32 – 0,80
Ca	1,00 – 2,09
Mg	0,10 – 0,19
Fe	0,05 – 0,64
Al	0,50 – 0,92

Berdasarkan Tabel 5, kompos dari kotoran sapi mengandung unsur hara penting seperti nitrogen (N), fosfor (P₂O₅), dan kalium (K₂O) yang berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah. Perbedaan kandungan unsur hara pada berbagai penelitian dipengaruhi oleh jenis bahan baku, proses pengomposan, kadar air, serta penggunaan bahan tambahan seperti sekam padi atau aktivator mikroba. Selain itu, lama proses fermentasi dan kondisi aerasi juga mempengaruhi tingkat dekomposisi bahan organik sehingga menghasilkan kandungan nutrisi kompos yang berbeda-beda.

Limbah peternakan merupakan hasil samping dari aktivitas peternakan yang perlu dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu limbah yang paling banyak dihasilkan adalah kotoran sapi, baik dalam bentuk padat maupun cair. Berdasarkan berbagai studi literatur, seekor sapi dapat menghasilkan limbah padat sekitar 20–30 kilogram per hari tergantung pada jenis ternak, usia, pola pemberian pakan, serta sistem pemeliharaan yang diterapkan. Namun, penelitian lain oleh Suliartini dkk, (2024), menyebutkan bahwa produksi limbah padat sapi berkisar antara 8–10 kilogram per hari atau setara dengan 2,6–3,6 ton per tahun. Perbedaan jumlah limbah yang dihasilkan pada setiap penelitian dipengaruhi oleh kondisi ternak dan metode pengukuran yang digunakan.

Jumlah limbah yang cukup besar tersebut berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila tidak dilakukan pengelolaan yang baik, seperti munculnya bau tidak sedap, pencemaran air tanah, serta meningkatnya risiko penyebaran mikroorganisme patogen. Oleh karena itu, salah satu upaya pengelolaan limbah peternakan yang dapat dilakukan adalah dengan mengolah kotoran sapi menjadi pupuk organik kompos yang lebih ramah lingkungan dan memiliki nilai guna bagi sektor pertanian.

Menurut Ratriyanto dkk, (2019), pupuk kompos merupakan hasil dari pelapukan bahan organik seperti limbah tanaman dan kotoran hewan yang dilakukan oleh mikroorganisme pengurai. Pupuk kompos memiliki banyak manfaat, antara lain memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kandungan unsur hara, serta menjaga keseimbangan ekosistem mikroba tanah. Selain itu, menurut Wardana dkk, (2021) menyatakan bahwa aplikasi pupuk organik juga dapat meningkatkan aktivitas mikroba tanah yang bermanfaat sekaligus membantu menekan perkembangan patogen tanaman.

Kotoran sapi diketahui mengandung unsur hara penting yang dibutuhkan tanaman, seperti nitrogen (N) sebesar 0,33%, fosfor (P) 0,11%, kalium (K) 0,13%, dan kalsium (Ca) 0,26%. Kandungan unsur hara tersebut menunjukkan bahwa limbah kotoran sapi memiliki potensi yang cukup baik untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik. Namun, kotoran sapi segar belum dapat langsung diaplikasikan ke lahan karena masih memiliki kadar air

yang tinggi, mengandung amonia, serta berpotensi membawa mikroorganisme patogen yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman maupun kesehatan lingkungan.

Oleh karena itu, diperlukan proses pengomposan terlebih dahulu untuk menstabilkan bahan organik dan menurunkan kandungan zat yang berpotensi merugikan. Proses pengomposan juga membantu meningkatkan kualitas pupuk dengan menghasilkan bahan organik yang lebih matang, aman digunakan, dan mudah diserap oleh tanaman. Perbedaan kandungan unsur hara pada kompos dapat dipengaruhi oleh jenis bahan baku, lama pengomposan, kondisi aerasi, serta penambahan bahan pendukung selama proses fermentasi berlangsung.

Selama ini, proses pengomposan kotoran sapi umumnya dilakukan dengan bantuan aktivator komersial seperti EM4 yang mengandung berbagai mikroorganisme pengurai untuk mempercepat dekomposisi bahan organik. Penggunaan aktivator tersebut dinilai cukup efektif dalam mempercepat proses pembentukan kompos dan meningkatkan kualitas hasil pengomposan. Namun, penggunaan EM4 secara terus-menerus juga memiliki beberapa kelemahan, seperti meningkatnya biaya produksi serta ketergantungan terhadap produk komersial dari luar.

Oleh karena itu, mulai dikembangkan metode pengomposan yang lebih alami dan berkelanjutan melalui pendekatan *co-composting* dengan memanfaatkan bahan pertanian lokal, seperti sekam padi dan jerami. Penambahan bahan-bahan tersebut tidak hanya membantu meningkatkan rasio karbon terhadap nitrogen (C/N ratio), tetapi juga memperbaiki aerasi dan struktur tumpukan kompos sehingga proses dekomposisi dapat berlangsung lebih optimal. Selain lebih ekonomis, pemanfaatan limbah pertanian lokal juga mendukung konsep pengelolaan limbah terpadu dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan tambahan komersial.

Metode *co-composting* dilakukan dengan mencampurkan kotoran sapi sebagai sumber nitrogen dengan bahan organik berkadar karbon tinggi, seperti jerami dan sekam padi. Selain itu, proses pengomposan juga dapat ditambahkan abu dapur dan kapur pertanian untuk membantu meningkatkan kualitas kompos yang dihasilkan. Jerami berfungsi meningkatkan rasio karbon terhadap nitrogen (C/N ratio) karena memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi (Putra, dkk, 2021), sedangkan sekam padi membantu menjaga porositas tumpukan kompos sehingga sirkulasi oksigen tetap berlangsung dengan baik selama proses dekomposisi.

Penambahan abu dapur berperan dalam membantu menetralkan kondisi asam serta menambah kandungan unsur kalium pada kompos. Sementara itu, kapur pertanian digunakan untuk menjaga kestabilan pH agar aktivitas mikroorganisme pengurai tetap optimal. Kombinasi berbagai bahan tersebut menunjukkan bahwa proses *co-composting* tidak hanya bertujuan mempercepat penguraian bahan organik, tetapi juga meningkatkan kualitas unsur hara dan kondisi fisik kompos yang dihasilkan.

Selama proses pengomposan, campuran bahan disusun secara bertumpuk di tempat yang teduh dan terlindung dari hujan langsung, dengan kelembapan dijaga pada kisaran 50–60%. Pembalikan tumpukan dilakukan setiap 3–5 hari untuk mempertahankan aerasi dan mencegah terjadinya kondisi anaerob yang dapat menghambat proses dekomposisi. Suhu pengomposan yang optimal umumnya berada pada rentang 30–60°C karena pada kondisi tersebut aktivitas mikroorganisme berlangsung secara maksimal. Penurunan suhu tumpukan yang diikuti perubahan warna material menjadi lebih gelap serta munculnya aroma

menyerupai tanah menunjukkan bahwa proses pengomposan telah mendekati tahap matang.

Keberhasilan proses *co-composting* dipengaruhi oleh beberapa parameter penting, antara lain rasio karbon terhadap nitrogen (C/N ratio), jenis dan ukuran bahan, aerasi, kelembapan, suhu, serta pH selama proses pengomposan berlangsung. Rasio C/N yang optimal umumnya berada pada kisaran 30:1 hingga 40:1 karena pada kondisi tersebut mikroorganisme memperoleh keseimbangan karbon sebagai sumber energi dan nitrogen untuk sintesis protein. Kombinasi kotoran sapi yang kaya nitrogen dengan bahan berkadar karbon tinggi, seperti jerami dan sekam padi, membantu mencapai kondisi optimum tersebut secara lebih alami dan efisien.

Selain rasio C/N, ukuran bahan baku juga mempengaruhi laju dekomposisi. Bahan yang dicacah menjadi ukuran lebih kecil, sekitar 3–5 cm, memiliki luas permukaan kontak yang lebih besar sehingga aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik menjadi lebih cepat. Aerasi yang baik juga menjadi faktor penting karena proses pengomposan berlangsung secara aerobik. Penggunaan sekam padi sebagai bahan berpori serta pembalikan tumpukan secara rutin membantu menjaga sirkulasi oksigen di dalam tumpukan kompos sehingga aktivitas mikroba tetap stabil.

Kelembapan pada kisaran 50–60% diperlukan untuk mendukung metabolisme mikroorganisme pengurai. Jika kadar air terlalu rendah, aktivitas mikroba akan menurun, sedangkan kelembapan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kondisi anaerob dan menimbulkan bau tidak sedap. Selain itu, suhu pengomposan yang berada pada rentang 30–60°C menunjukkan aktivitas dekomposisi berlangsung secara optimal serta membantu menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen. Stabilitas pH juga perlu dijaga pada kisaran 6,5–7,5 agar mikroorganisme pengurai dapat bekerja secara maksimal. Penggunaan abu dapur dan kapur pertanian membantu menjaga kondisi pH tetap stabil selama proses pengomposan berlangsung.

Tabel 6. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Co-Composting

Faktor	Kondisi Optimum	Pengaruh terhadap pengomposan
Rasio C/N	30 : 1 – 40 : 1	Mendukung aktivitas mikroorganisme
Ukuran Bahan	3 – 5 cm	Mempercepat dekomposisi
Kelembapan	50 – 60%	Menjaga metabolisme mikroba
Suhu	55 - 60°C	Mempercepat penguraian dan membunuh patogen
pH	6,7 – 7,5	Menjaga aktivitas mikroba
Aerasi	Pembalikan rutin	Mencegah kondisi anaerob

Hasil proses *co-composting* menghasilkan kompos padat yang memiliki karakteristik fisik dan kimia yang sesuai dengan standar kualitas kompos nasional (SNI 19-7030-2004). Kompos yang telah matang umumnya ditandai dengan warna yang lebih gelap atau kehitaman, bertekstur remah, serta memiliki aroma menyerupai tanah. Selain itu, kompos hasil pengomposan juga memiliki pH yang relatif netral, yaitu berkisar antara 6,8–7,5, dengan rasio karbon terhadap nitrogen (C/N ratio) sekitar 15–20. Nilai tersebut menunjukkan bahwa bahan organik telah mengalami proses dekomposisi secara optimal dan aman untuk diaplikasikan ke lahan pertanian.

Secara kimia, kompos hasil *co-composting* kotoran sapi mengandung unsur hara makro yang penting bagi pertumbuhan tanaman, seperti nitrogen (N) sebesar 0,3–0,4%, fosfor (P) 0,1–0,2%, dan kalium (K) 0,1–0,3% (Sulianti, dkk, 2024). Selain unsur hara utama tersebut,

keberadaan abu dapur dan kapur pertanian dalam campuran bahan juga berkontribusi terhadap peningkatan kandungan mineral lain, seperti kalsium dan magnesium, yang berperan dalam memperbaiki struktur tanah serta menjaga keseimbangan unsur hara dalam tanah.

Karakteristik kompos yang dihasilkan menunjukkan bahwa metode *co-composting* tidak hanya mampu mengurangi volume limbah organik peternakan, tetapi juga meningkatkan nilai guna limbah menjadi pupuk organik yang lebih stabil, aman, dan bermanfaat bagi produktivitas pertanian. Perbedaan kandungan unsur hara pada berbagai penelitian umumnya dipengaruhi oleh komposisi bahan baku, lama pengomposan, kondisi aerasi, serta aktivitas mikroorganisme selama proses dekomposisi berlangsung.

Kompos yang telah matang umumnya dikeringkan hingga kadar airnya berada di bawah 20% agar lebih tahan disimpan dan tidak mudah mengalami pembusukan kembali selama proses penyimpanan. Setelah proses pengeringan, kompos dapat diayak untuk memisahkan bagian bahan yang belum terdekomposisi sempurna. Material kasar yang tersisa tersebut masih dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan awal (*starter*) pada proses pengomposan berikutnya sehingga limbah yang dihasilkan menjadi lebih minimal dan efisien.

Selain dimanfaatkan sebagai pupuk organik padat, kompos hasil *co-composting* juga dapat diolah lebih lanjut menjadi pupuk berbentuk granul dengan penambahan perekat alami, seperti tepung tapioka. Bentuk granul dinilai lebih praktis dalam proses distribusi dan aplikasi di lahan pertanian karena ukuran partikel lebih seragam, mudah disimpan, serta memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan kompos curah biasa. Pengembangan bentuk granul ini menunjukkan bahwa pengolahan limbah peternakan tidak hanya memberikan manfaat lingkungan, tetapi juga berpotensi meningkatkan nilai tambah produk hasil pengomposan.

Secara agronomis, pupuk kompos hasil *co-composting* memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas tanah, baik secara fisik, kimia, maupun biologis. Kandungan bahan organik dan humus pada kompos mampu meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan air, memperbaiki struktur dan aerasi tanah, serta menyediakan unsur hara secara bertahap bagi tanaman. Selain itu, keberadaan mikroorganisme pengurai di dalam kompos juga membantu meningkatkan aktivitas biologis tanah dan menekan perkembangan patogen tanaman (Wardana, dkk, 2021). Dengan demikian, penerapan metode *co-composting* berbasis sekam padi dan jerami tidak hanya menjadi solusi pengelolaan limbah peternakan yang lebih ramah lingkungan, tetapi juga mendukung penerapan sistem pertanian berkelanjutan yang lebih mandiri dan bernilai ekonomis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, kotoran sapi memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan dan bahan baku pupuk organik melalui pendekatan pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Pemanfaatan kotoran sapi sebagai bahan baku biogas dilakukan melalui proses fermentasi anaerob di dalam biodigester, yang menghasilkan biogas dengan kandungan utama berupa metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Kandungan metana yang relatif tinggi menunjukkan bahwa biogas berpotensi digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk kebutuhan rumah tangga maupun peternakan skala kecil. Produksi dan kualitas biogas dipengaruhi oleh beberapa faktor operasional, seperti rasio pencampuran kotoran dan air, suhu, pH, serta waktu retensi fermentasi. Selain menghasilkan biogas, residu padat hasil fermentasi juga masih memiliki nilai guna yang tinggi karena dapat diolah menjadi pupuk kompos melalui metode *co-composting*. Penambahan bahan organik lain, seperti jerami dan sekam padi, mampu memperbaiki rasio karbon terhadap nitrogen (C/N ratio), meningkatkan aerasi, serta mendukung aktivitas mikroorganisme selama proses pengomposan. Kompos yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sesuai dengan standar kualitas kompos nasional (SNI 19-7030-2004), ditandai dengan warna kehitaman, tekstur remah, pH mendekati netral, serta kandungan unsur hara yang bermanfaat bagi perbaikan kesuburan tanah. Secara keseluruhan, pemanfaatan kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk kompos menunjukkan adanya integrasi antara pengelolaan limbah peternakan, produksi energi terbarukan, dan peningkatan kualitas tanah pertanian. Pendekatan ini tidak hanya membantu mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah peternakan, tetapi juga mendukung penerapan sistem pertanian berkelanjutan yang lebih ramah lingkungan dan bernilai ekonomis bagi masyarakat, khususnya pada skala peternakan rumah tangga dan peternakan kecil di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, K. P., & Bambang, A. N. (2019). Konversi Energi Biogas Menjadi Energi Listrik Sebagai Alternati Energi Terbarukan dan Ramah Lingkungan di Desa Langse, Kecamatan Margorejo Kabupaten Pati. 2.
- Amrullah, A., Borahima, S., & Lubis, M. (2017). Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas. *ILTEK:JurnalTeknologi*, 12(01), 1731–1734. <https://doi.org/10.47398/iltek.v12i01.402>
- Badan Pusat Statistik. (2024). Statistik peternakan Indonesia 2024. Badan Pusat Statistik.
- Carotenuto, C., Guarino, G., Minale, M., & Morrone, B. (2016). Biogas Production from Anaerobic Digestion of Manure at Different Operative Conditions. *International Journal of Heat and Technology*, 34(4), 623–629. <https://doi.org/10.18280/ijht.340411>
- Ekawandani, N. (2018). Efektifitas Kompos Daun Menggunakan EM4 Dan Kotoran Sapi. *INA-Rxiv*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/pyqaj>
- Fidela, W., Ahda, Y., Zhafira, Febriani, Y., Azzahra, Y., P. Ningky, Y., T. Berlian, Regina, K. Sari, J., Ayu, D., D. N. Putri, D., & Fajrina, S. (2024). Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Upaya Pengendalian Limbah Peternakan. *Jurnal Ekologi, Masyarakat dan Sains*, 5(2), 186–192. <https://doi.org/10.55448/0br55f55>
- Fitra Yunanda, I Nyoman Soemeinaboedhy, & I Putu Silawibawa. (2023). Pengaruh Pemberian Berbagai Pupuk Organik Terhadap Sifat Fisik Tanah, Kimia Tanah, Dan Produksi Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.) Di Kecamatan Kediri. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek*, 1(3), 294–303. <https://doi.org/10.29303/jima.v1i3.2148>

- Fitriyah, A., Harmayani, R., Jamili, A., Mariani, Y., Kartika, N. M. A., & Isyaturriyadhah, I. (2021). Pengolahan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Energi Gas Non Fosil Dan Pupuk Organik Di Desa Batu Kuta Lombok Barat. *Selaparang Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 4(3), 855. <https://doi.org/10.31764/jpmb.v4i3.5396>
- Haryanto, A., Triyono, S., & Wicaksono, N. H. (2018). Effect of Hydraulic Retention Time on Biogas Production from Cow Dung in A Semi Continuous Anaerobic Digester. *International Journal of Renewable Energy Development*, 7(2), 93–100. <https://doi.org/10.14710/ijred.7.2.93-100>
- Huda, S., & Wikanta, W. (2016). Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Pupuk Organik Sebagai Upaya Mendukung Usaha Peternakan Sapi Potong di Kelompok Tani Ternak Mandiri Jaya Desa Moropelang Kecamatan Babat Kabupaten Lamongan. *Aksiologi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 26. <https://doi.org/10.30651/aks.v1i1.303>
- Irawan, D., & Suwanto, E. (2017). Pengaruh EM4 (Effective Microorganisme) Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Bahan Baku Kotoran Sapi. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1). <https://doi.org/10.24127/trb.v5i1.118>
- Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540–555. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>
- Putra, A. R., Afandi, K., Anjani, D., & Pradana, K. C. (2021). Pelatihan Kelompok Wanita Tani Dalam Pemanfaatan Em4 Terhadap Pembuatan Pupuk Kompos. *Jurnal Abdi Masyarakat Saburai (JAMS)*, 2(02), 73–81. <https://doi.org/10.24967/jams.v2i2.1326>
- Putri, D. A., Saputro, R. R., & Budiyo, B. (2012). Biogas Production from Cow Manure. *International Journal of Renewable Energy Development*, 1(2), 61–64. <https://doi.org/10.14710/ijred.1.2.61-64>
- Rakhmawati, D. Y., Dangga, S. A., & Laela, N. (2019). Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Pupuk Organik. 03(1).
- Ratriyanto, A., Widyawati, S. D., P.S. Suprayogi, W., Prastowo, S., & Widyas, N. (2019). Pembuatan Pupuk Organik dari Kotoran Ternak untuk Meningkatkan Produksi Pertanian. *SEMAR (Jurnal Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Seni bagi Masyarakat)*, 8(1). <https://doi.org/10.20961/semar.v8i1.40204>
- Ren, K., Su, L., Zhang, Y., He, X., & Wu, H. (2023). Development and Evaluation of Cow Dung Composting Equipment with Ventilation and Heating. *Applied Sciences*, 13(15), 8649. <https://doi.org/10.3390/app13158649>
- Sugiono, S., Wargo, W., & Marwendi, R. O. (2023). Pemanfaatan Limbah Ternak Sapi Sebagai Biogas Renewable Energy. *Zabags International Journal Of Engagement*, 1(1), 1–7. <https://doi.org/10.61233/zijen.v1i1.1>
- Sulianti, N. W. S., Ismayanti, J., Khairina, K., Sintanu, Muh. A. W., & Alvin, Z. (2024). Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Pupuk Organik Kompos Dengan Metode Fermentasi EM4 di Desa Batu Kumbung. *Jurnal Gema Ngabdi*, 6(1), 47–53. <https://doi.org/10.29303/jgn.v6i1.397>
- Tonglolangi, Y. Y. (2017). Teknologi Biogas dari Kotoran Ternak sebagai Sumber Energi Alternatif. *Journal Dynamic Saint*, 1(1). <https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v1i1.123>
- Wardana, L. A., Lukman, N., Mukmin, M., Sahbandi, M., Bakti, M. S., Amalia, D. W., Wulandari, N. P. A., Sari, D. A., & Nababan, C. S. (2021). Pemanfaatan Limbah Organik (Kotoran Sapi) Menjadi Biogas dan Pupuk Kompos. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 4(1). <https://doi.org/10.29303/jpmipi.v4i1.615>
- Widyastuti, F. R. (2024). Potensi Biogas Melalui Pemanfaatan Limbah Padat Pada Peternakan Sapi Perah Bangka Botanical Garden Pangkalpinang.