

Mengoptimalkan Limbah Sapi Potong untuk Energi Terbarukan dan Produksi Pupuk Organik dalam Kerangka Ekonomi Sirkular: Implikasi bagi Pengembangan Industri Peternakan Berkelanjutan

Optimizing Beef Cattle Waste for Renewable Energy and Organic Fertilizer Production in the Framework of the Circular Economy: Implications for the Development of a Sustainable Livestock Industry

I Putu Gede Didik Widiarta^{1✉}, Dinar Anindyasari², Hamdi Mayulu³

¹Universitas Mulawarman Samarinda, Indonesia.

²Universitas Mulawarman Samarinda, Indonesia.

³Universitas Mulawarman Samarinda, Indonesia.

✉Corresponding author: didikwidiarta9@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan energi terbarukan dan pupuk organik sebagai kontribusi terhadap keberlanjutan industri peternakan. Kotoran sapi, terutama dari sapi potong, diolah menggunakan teknologi anaerobik digest (AD) untuk menghasilkan biogas dan pencernaan, yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Penelitian ini menggunakan pendekatan metode campuran, mengintegrasikan analisis kuantitatif dan kualitatif, dengan fokus pada dampak sosial dan ekonomi dari pengolahan limbah ternak. Temuan ini mengungkapkan bahwa teknologi AD dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, terutama metana, hingga 80%, sekaligus menyediakan sumber energi alternatif yang signifikan bagi petani. Pupuk organik yang dihasilkan dari residu AD meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan hasil panen. Studi ini menyimpulkan bahwa penerapan prinsip ekonomi sirkular dalam pengelolaan limbah ternak tidak hanya meningkatkan kelestarian lingkungan tetapi juga meningkatkan kesejahteraan ekonomi peternak dan keberlanjutan sektor peternakan secara keseluruhan.

Abstract

This research aims to produce renewable energy and organic fertilizers as a contribution to the sustainability of the livestock industry. Cow manure, especially from beef cattle, is processed using anaerobic digest (AD) technology to produce biogas and digestion, which can be used as organic fertilizer. This study uses a mixed method approach, integrating quantitative and qualitative analysis, with a focus on the social and economic impacts of livestock waste treatment. These findings reveal that AD technology can reduce greenhouse gas emissions, especially methane, by up to 80%, while providing a significant alternative energy source for farmers. Organic fertilizers produced from AD residues increase soil fertility, improve soil structure, and increase crop yields. This study concludes that the application of circular economy principles in livestock waste management not only improves environmental sustainability but also improves the economic well-being of farmers and the sustainability of the livestock sector as a whole.

This is an open-access article under the CC-BY-SA license.



Copyright © 2025 I Putu Gede Didik Widiarta, Dinar Anindyasari, Hamdi Mayulu.

Article history

Received 2024-11-05

Accepted 2025-01-20

Published 2025-01-31

Kata kunci

Ekonomi Sirkular;
Energi Terbarukan;
Limbah Ternak;
Pupuk Organik;
Keberlanjutan.

Keywords

Circular Economy;
Renewable Energy;
Livestock Waste;
Organic Fertilizers;
Sustainability.

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, ekspansi populasi global yang cepat dan meningkatnya permintaan protein hewani telah menyebabkan peningkatan produksi daging, terutama daging sapi. Menurut Organisasi Pangan dan Pertanian (FAO, 2021), konsumsi daging sapi diproyeksikan akan terus meningkat hingga 2030, didorong oleh meningkatnya pendapatan dan urbanisasi di negara berkembang. Meskipun daging sapi merupakan sumber protein berkualitas tinggi yang berharga, produksinya membawa berbagai konsekuensi negatif terhadap lingkungan, seperti emisi gas rumah kaca (GRK), pencemaran tanah dan air, serta hilangnya keanekaragaman hayati. Akibatnya, sangat penting untuk menerapkan praktik yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam industri peternakan.

Salah satu pendekatan yang menjanjikan untuk mengatasi masalah ini adalah penerapan prinsip-prinsip ekonomi sirkular, yang berfokus pada pengelolaan sumber daya berkelanjutan dengan meminimalkan limbah. Dalam peternakan sapi potong, limbah yang dihasilkan, terutama kotoran sapi, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi energi terbarukan dan pupuk organik. Kotoran sapi adalah sumber daya yang melimpah yang sering dianggap sebagai limbah yang perlu dibuang. Namun, penelitian menunjukkan bahwa, jika dikelola dengan baik, limbah ini dapat diubah menjadi energi terbarukan melalui proses biogas dan diubah menjadi pupuk organik berkualitas tinggi (Geissdoerfer et al., 2018).

Konversi kotoran sapi menjadi energi terbarukan dilakukan melalui teknologi pencernaan anaerobik (AD), yang memanfaatkan mikroorganisme untuk memecah bahan organik tanpa oksigen. Proses ini menghasilkan biogas, terutama terdiri dari metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂), bersama dengan digestat, yang merupakan residu padat yang dapat digunakan sebagai pupuk organik. Menurut García et al. (2021), penerapan teknologi biogas dalam pengelolaan limbah ternak dapat mengurangi emisi GRK secara signifikan, dengan perkiraan pengurangan emisi metana mencapai hingga 80%. Selain itu, biogas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk pemanasan, memasak, atau bahkan pembangkit listrik.

Pupuk organik yang berasal dari digestat biogas juga menawarkan manfaat yang signifikan bagi pertanian. Penggunaan pupuk organik dapat meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan retensi air. Hal ini sangat penting dalam konteks perubahan iklim, di mana keberlanjutan produksi pertanian menjadi semakin kritis (Müller et al., 2022). Penggunaan pupuk organik juga dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang seringkali mengandung zat berbahaya dan dapat mencemari lingkungan.

Terlepas dari potensi nyata pengelolaan limbah sapi potong melalui penerapan prinsip-prinsip ekonomi sirkular, beberapa tantangan harus ditangani. Tingginya biaya awal untuk memasang sistem biogas dan kurangnya pengetahuan di kalangan petani mengenai teknologi ini merupakan hambatan utama untuk adopsi (Mekonnen et al., 2021). Menurut laporan Program Lingkungan Perserikatan Bangsa-Bangsa (UNEP, 2020), banyak petani, terutama di negara berkembang, tidak memiliki akses yang memadai ke modal yang dibutuhkan untuk membangun dan mengoperasikan fasilitas pengolahan limbah. Kendala lainnya adalah kurangnya dukungan kebijakan dan insentif dari pemerintah untuk mendorong adopsi teknologi berkelanjutan. Dalam banyak kasus, kebijakan yang ada tidak memberikan insentif yang memadai bagi petani untuk berinvestasi dalam teknologi pengelolaan limbah, yang sering dianggap sebagai beban tambahan. Oleh karena itu, pendekatan holistik yang mencakup pendidikan, pelatihan, dan dukungan keuangan diperlukan untuk mendorong petani mengadopsi praktik pengelolaan limbah berkelanjutan (Marroun et al., 2020). Selain tantangan tersebut, aspek sosial juga harus diperhatikan dalam menerapkan sistem pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Pengetahuan dan sikap petani terhadap teknologi baru secara signifikan memengaruhi keberhasilan adopsi. Oleh karena itu, upaya untuk meningkatkan kesadaran dan pemahaman di kalangan petani tentang manfaat pengelolaan sampah melalui program pelatihan dan pendidikan sangat penting (Stegmann et al., 2020).

Pentingnya kolaborasi antara sektor publik dan swasta tidak dapat diabaikan. Kerja sama antara entitas pemerintah, lembaga penelitian, dan industri swasta dapat menciptakan lingkungan yang kondusif untuk inovasi dan adopsi teknologi yang lebih berkelanjutan di sektor peternakan. Dengan

memberikan dukungan teknis dan keuangan, pemerintah dapat memainkan peran penting dalam mempercepat transisi menuju praktik pengelolaan limbah yang ramah lingkungan (García et al., 2021). Dengan memanfaatkan limbah sapi potong sebagai sumber daya, diharapkan dapat dicapai pengurangan dampak lingkungan yang signifikan, meningkatkan keberlanjutan industri peternakan sekaligus memberikan manfaat ekonomi bagi peternak. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi optimalisasi limbah sapi potong dalam menghasilkan energi terbarukan dan pupuk organik serta implikasinya terhadap pengembangan industri peternakan berkelanjutan. Hal ini sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), yang menekankan pentingnya mengurangi dampak negatif lingkungan sekaligus meningkatkan produktivitas pertanian (PBB, 2015).

Dalam konteks ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan bagi pengembangan praktik pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan dalam peternakan sapi potong. Dengan pendekatan berdasarkan prinsip ekonomi sirkular, solusi inovatif untuk tantangan yang dihadapi oleh industri peternakan saat ini diharapkan dapat diidentifikasi. Penelitian ini tidak hanya relevan secara akademis tetapi juga memiliki implikasi praktis yang dapat mendukung peternak dalam mengatasi tantangan di sektor peternakan saat ini (Stegmann et al., 2020).

Secara keseluruhan, latar belakang ini menunjukkan bahwa dengan mengoptimalkan limbah sapi potong melalui penerapan prinsip ekonomi sirkular, industri peternakan dapat menjadi lebih berkelanjutan, efisien, dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut di bidang ini diperlukan untuk mengeksplorasi solusi inovatif yang dapat meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan di sektor peternakan sekaligus berkontribusi pada pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) global.

2. Metode

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi optimalisasi limbah sapi potong untuk energi terbarukan dan produksi pupuk organik dalam kerangka ekonomi sirkular, dengan fokus pada aspek sosial dan ekonomi. Pendekatan metode campuran digunakan, mengintegrasikan analisis kuantitatif dan kualitatif untuk memahami dampak sosial dan ekonomi dari pengolahan limbah ternak.

2.1. Lokasi Penelitian dan Pengumpulan Data

Studi ini dilakukan di Kota Samarinda, wilayah yang dikenal dengan kegiatan peternakan sapi potong yang signifikan. Pengumpulan data dilakukan melalui survei di berbagai pertanian lokal yang mempraktikkan metode pengelolaan limbah yang berbeda. Responden meliputi petani, pengusaha, dan anggota masyarakat yang terlibat dalam kegiatan peternakan. Data dikumpulkan menggunakan kuesioner yang dirancang untuk menilai pengetahuan mereka tentang pengolahan limbah, manfaat ekonomi dari energi terbarukan, dan pupuk organik.

2.2. Analisis Sosial

Analisis sosial akan dilakukan untuk mengevaluasi dampak sosial dari penerapan teknologi pengolahan limbah sapi. Fokus utama dari analisis ini adalah untuk memahami sikap dan persepsi petani terhadap pengolahan limbah dan dampaknya terhadap kehidupan sehari-hari mereka. Wawancara mendalam dilakukan dengan sejumlah petani terpilih untuk mendapatkan wawasan yang lebih dalam tentang tantangan dan manfaat yang mereka alami. Data yang diperoleh akan dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola dan tema yang muncul dari pengalaman petani (Creswell & Poth, 2018).

2.3. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi berfokus pada kelayakan finansial pengolahan limbah sapi menjadi energi terbarukan dan pupuk organik. Metode analisis biaya-manfaat akan diterapkan untuk mengevaluasi biaya investasi awal, biaya operasional, dan potensi pendapatan yang dihasilkan dari penjualan energi terbarukan dan pupuk. Data biaya dan pendapatan akan dikumpulkan melalui survei yang dilakukan di antara petani dan pengusaha lokal. Selain itu, proyeksi pendapatan dari

penggunaan pupuk organik dalam pertanian akan dihitung, dengan mempertimbangkan manfaat jangka panjang dari peningkatan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman (Kumar et al., 2022).

2.4. Dampak terhadap Kesejahteraan Petani

Untuk menilai dampak teknologi pengolahan sampah terhadap kesejahteraan petani, indikator kesejahteraan meliputi pendapatan, akses sumber daya, dan kualitas hidup akan dianalisis. Penelitian ini juga akan mengevaluasi persepsi petani terhadap perubahan pendapatan dan biaya akibat penggunaan pupuk organik dan energi terbarukan. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana optimalisasi limbah sapi dapat berkontribusi dalam meningkatkan kesejahteraan peternak dan keberlanjutan industri peternakan secara keseluruhan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Limbah dan Pemanfaatan Sapi Potong

Limbah sapi potong, yang terdiri dari pupuk kandang, urin, dan sisa pakan, memiliki sifat yang membuatnya sangat bermanfaat untuk dikonversi menjadi energi terbarukan dan pupuk organik. Dalam konteks penelitian ini, pemahaman menyeluruh tentang karakteristik fisik dan kimia limbah ini sangat penting untuk mengevaluasi potensi pengolahannya. Berikut ini menyoroti karakteristik utama limbah sapi potong:

3.2. Komposisi Kimia Kotoran Sapi Potong

Kotoran sapi potong terdiri dari berbagai komponen yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi bagi tanaman sekaligus bahan baku energi terbarukan. Menurut penelitian Abubakar et al. (2022), komposisi kimia kotoran sapi potong bervariasi, tetapi umumnya mengandung kadar nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang signifikan. Tabel di bawah ini menunjukkan data komposisi kimia kotoran sapi potong yang diperoleh dari beberapa penelitian.

Tabel 1. Komposisi Kimia Kotoran Sapi Potong

Parameter	Konten Rata-rata	Sumber
Nitrogen (N)	2.0%	Abubakar dkk. (2022)
Fosfor (P)	0.7%	Sari dkk. (2023)
Kalium (K)	1.2%	Sudrajat dkk. (2021)
Kadar Air	75 - 80%	Sari dkk. (2023)
Ph	6.5 - 8.0	Rahman dkk. (2024)
Rasio C:N	25 : 1	Abubakar dkk. (2022)

Komposisi kimia kotoran sapi potong menyoroti potensinya sebagai sumber daya yang berharga untuk praktik pertanian berkelanjutan. Kandungan nitrogen 2,0% sangat signifikan, karena nitrogen merupakan nutrisi penting yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Hal ini membuat kotoran sapi potong menjadi pupuk organik yang efektif, memberikan nutrisi penting bagi tanaman dan meningkatkan kesuburan tanah (Rahman et al., 2024). Fosfor dan kalium, masing-masing hadir pada 0,7% dan 1,2%, juga merupakan makronutrien penting yang berkontribusi pada berbagai fungsi fisiologis pada tanaman, termasuk perkembangan akar dan kekuatan keseluruhan. Memanfaatkan kotoran sapi potong sebagai pupuk dapat membantu mengisi kembali unsur hara tanah yang sering terkuras akibat praktik pertanian intensif (Sari et al., 2023).

Kadar air yang tinggi (75-80%) dari pupuk kandang merupakan faktor penting ketika mempertimbangkan penggunaannya dalam proses pencernaan anaerobik untuk produksi biogas. Tingkat kelembaban yang tinggi ini memfasilitasi aktivitas mikroba, yang penting untuk memecah bahan organik dan menghasilkan biogas sebagai sumber energi terbarukan (Sari et al., 2023). Selain itu, kisaran pH 6,5 hingga 8,0 menunjukkan bahwa pupuk kandang umumnya netral hingga sedikit basa, sehingga cocok untuk berbagai jenis tanah tanpa berdampak buruk pada pH tanah. Rasio karbon-ke-nitrogen (C:N) 25:1 menunjukkan bahwa pupuk kandang seimbang untuk

pengomposan, memungkinkan dekomposisi mikroba yang efisien bila dicampur dengan bahan kaya karbon (Abubakar et al., 2022).

Singkatnya, komposisi kimia kotoran sapi potong menghadirkan peluang yang signifikan untuk penggunaannya baik dalam produksi pupuk organik maupun pembangkit energi terbarukan. Dengan memanfaatkan karakteristik ini, sistem pertanian dapat bergerak menuju praktik yang lebih berkelanjutan, berkontribusi pada konservasi lingkungan dan efisiensi sumber daya.

3.3. Potensi Pemanfaatan Kotoran Sapi

Kotoran sapi memiliki potensi yang signifikan sebagai sumber daya yang dapat dimanfaatkan di berbagai sektor, terutama di bidang pertanian dan energi. Dalam pertanian, kotoran sapi dapat digunakan sebagai pupuk organik untuk meningkatkan kesuburan tanah. Menurut Mulyani et al. (2020), penerapan kotoran sapi sebagai pupuk organik tidak hanya meningkatkan kualitas tanah tetapi juga meningkatkan struktur tanah dan meningkatkan daya tahan air. Penelitian ini menunjukkan bahwa pupuk organik dari kotoran sapi dapat meningkatkan hasil panen hingga 25% dibandingkan dengan pupuk kimia.

Selain itu, kotoran sapi berpotensi diolah menjadi biogas. Sari et al. (2021) menyatakan bahwa proses anaerobik dapat mengubah kotoran sapi menjadi biogas, yang merupakan sumber energi terbarukan. Penelitian mereka menunjukkan bahwa produksi biogas dari kotoran sapi dapat mencapai antara 0,5 hingga 1,2 m³ per ton pupuk kandang, tergantung pada kondisi pemrosesan dan jenis pakan yang diberikan kepada sapi. Pemanfaatan biogas tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca tetapi juga memberikan sumber energi alternatif bagi petani.

Selain itu, kotoran sapi dapat digunakan dalam pengomposan, berkontribusi pada pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Pratiwi et al. (2019) menemukan bahwa proses pengomposan kotoran sapi dapat mengurangi volume limbah hingga 50% dan menghasilkan kompos berkualitas tinggi yang kaya nutrisi. Ini berkontribusi pada praktik pertanian berkelanjutan dan mendukung upaya pengurangan limbah. Secara keseluruhan, pemanfaatan kotoran sapi memiliki potensi yang signifikan dalam mendukung keberlanjutan pertanian dan energi. Penggunaan kotoran sapi sebagai pupuk organik, bahan baku biogas, dan kompos dapat meningkatkan produktivitas pertanian dan mengurangi dampak lingkungan.

3.4. Keuntungan Kadar Air dan Dampaknya terhadap Produksi Energi

Kadar air merupakan faktor penting dalam produksi energi, terutama dalam konteks pembangkit biomassa dan biogas. Mempertahankan tingkat kelembaban yang optimal meningkatkan aktivitas mikroba selama pencernaan anaerobik, menyediakan lingkungan yang ideal bagi mikroorganisme anaerobik untuk berkembang. Menurut Liu et al. (2020), kadar air mulai dari 50% hingga 70% secara signifikan meningkatkan produksi biogas, yang penting untuk pembangkit energi yang efektif. Selain itu, tingkat kelembaban yang lebih tinggi meningkatkan pencernaan biomassa lignoselulosa, memfasilitasi pemecahannya dan membuatnya lebih mudah diakses untuk proses fermentasi. Dijkstra et al. (2021) berpendapat bahwa peningkatan pencernaan ini dapat menghasilkan hasil biofuel yang lebih besar, seperti bioetanol, sehingga berkontribusi pada peningkatan output energi secara keseluruhan.

Kadar air juga memainkan peran penting dalam mengoptimalkan efisiensi pembakaran pada boiler biomassa. Kelembaban yang berlebihan dapat mengurangi nilai pemanasan dan mengakibatkan pembakaran yang tidak efisien, yang menyebabkan peningkatan emisi dan berkurangnya output energi. Nascimento et al. (2019) menyarankan bahwa mempertahankan kadar air di bawah 20% sangat penting untuk mengoptimalkan efisiensi pembakaran, sehingga mempromosikan produksi energi yang efektif dan meminimalkan dampak lingkungan. Selain itu, manajemen kelembaban yang efektif dapat mengurangi kehilangan energi yang terkait dengan pembusukan mikroba dan penggumpalan biomassa, yang berdampak negatif pada sifat penanganan dan pembakaran. Pires et al. (2023) menyoroti bahwa dengan mengelola kadar air secara efisien, produsen energi dapat meningkatkan efisiensi operasional dan berkontribusi pada praktik energi berkelanjutan. Dengan demikian, pengaturan kadar air yang cermat sangat penting

untuk memaksimalkan produksi energi dari biomassa dan biogas, memperkuat signifikansinya dalam pengembangan energi berkelanjutan.

3.5. Analisis Sosial

Analisis tematik yang dilakukan melalui wawancara mendalam dengan 30 peternak mengenai penerapan teknologi pengolahan limbah sapi mengungkapkan wawasan yang komprehensif tentang persepsi dan pengalaman mereka. Pengolahan sampah ini bukan hanya tentang pengelolaan sampah tetapi mencakup berbagai aspek sosial dan ekonomi yang signifikan dari kehidupan sehari-hari petani. Analisis menghasilkan tiga tema utama: manfaat yang dirasakan, tantangan dalam adopsi, dan dampak pada kehidupan sehari-hari, secara kolektif menggambarkan kompleksitas mengintegrasikan teknologi ini ke dalam praktik pertanian.

Mengenai manfaat yang dirasakan, sekitar 70% petani melaporkan manfaat lingkungan yang signifikan yang dihasilkan dari penerapan teknologi pengolahan limbah. Banyak petani mencatat bahwa pengurangan bau dan polusi, yang sebelumnya merupakan masalah utama, telah ditangani secara efektif melalui praktik manajemen yang lebih baik. Penerapan teknologi ini telah berdampak positif pada kondisi lingkungan di sekitar pertanian dan meningkatkan hubungan sosial di antara anggota masyarakat. Penelitian oleh Liu et al. (2020) menekankan bahwa pengelolaan limbah yang efektif berkontribusi pada peningkatan kualitas lingkungan, yang memperkuat ikatan masyarakat di antara petani. Manfaat ini tidak hanya dirasakan langsung oleh petani tetapi juga oleh masyarakat sekitar yang sebelumnya terdampak pencemaran terkait sampah.

Hasil analisis juga menunjukkan dampak positif terhadap produktivitas petani. Sekitar 65% responden melaporkan bahwa penerapan teknologi pengolahan limbah memungkinkan mereka untuk memanfaatkan hasil olahan, seperti pupuk organik, untuk meningkatkan kualitas tanah dan hasil panen. Petani menyebutkan bahwa menggunakan limbah olahan sebagai pupuk organik tidak hanya mengurangi biaya pupuk tetapi juga meningkatkan hasil sayuran. Temuan ini menunjukkan bahwa teknologi pengolahan limbah dapat berkontribusi pada siklus ekonomi yang lebih berkelanjutan di antara petani, di mana mereka mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi produksi. Penelitian oleh Möller et al. (2021) mendukung temuan ini, mencatat bahwa pengolahan limbah dapat meningkatkan input pertanian dan secara langsung berkontribusi pada peningkatan hasil panen.

Wawancara juga mengungkapkan beberapa tantangan dalam adopsi yang dihadapi oleh petani. Sekitar 60% responden menyatakan keprihatinan tentang tingginya biaya awal yang terkait dengan penerapan teknologi ini. Banyak yang menggambarkan beban keuangan sebagai penghalang yang signifikan untuk mengadopsi praktik berkelanjutan. Sentimen ini mencerminkan tantangan yang lebih luas dalam mengintegrasikan inovasi ke dalam praktik pertanian tradisional, di mana kendala keuangan dan kurangnya kepercayaan dapat menghambat kemajuan. Penelitian oleh Pires et al. (2023) menyoroti bahwa biaya investasi awal seringkali menjadi hambatan utama untuk adopsi teknologi baru di sektor pertanian. Selain itu, sekitar 50% responden merasa tidak siap untuk mengoperasikan sistem baru, yang menunjukkan perlunya pelatihan dan dukungan yang lebih luas. Tanpa pengetahuan teknis yang memadai, janji peningkatan keberlanjutan dalam praktik pertanian dapat terasa di luar jangkauan. Ketidakpastian ini menggarisbawahi tantangan yang sedang berlangsung dalam mengintegrasikan inovasi ke dalam praktik pertanian tradisional.

Analisis dampak terhadap kehidupan sehari-hari menunjukkan pergeseran alokasi tenaga kerja sebagai akibat langsung dari penerapan teknologi pengolahan sampah. Sekitar 65% responden mencatat bahwa pengolahan sampah telah mengurangi waktu yang dihabiskan untuk mengelola sampah, memungkinkan mereka untuk fokus pada kegiatan produktif lainnya. Petani melaporkan memiliki lebih banyak waktu untuk berkonsentrasi pada produksi tanaman daripada berurusan dengan pengelolaan limbah. Penelitian yang dilakukan oleh Pires et al. (2023) juga menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi dalam pengelolaan limbah dapat berkontribusi pada peningkatan produktivitas secara keseluruhan di antara petani. Dengan lebih sedikit waktu dan sumber daya yang dihabiskan untuk pengelolaan limbah, petani dapat mengalokasikan lebih banyak waktu untuk kegiatan inti, seperti meningkatkan produksi ternak dan tanaman.

Terlepas dari manfaat yang signifikan, petani menekankan kebutuhan berkelanjutan akan dukungan teknis dan pelatihan. Mereka menyoroti perlunya panduan yang konsisten untuk mengoptimalkan penggunaan teknologi ini. Penelitian oleh Möller et al. (2021) mendukung argumen ini, mencatat bahwa pendidikan dan sistem pendukung berkelanjutan sangat penting untuk keberhasilan adopsi teknologi dalam praktik pertanian. Oleh karena itu, mengembangkan program pelatihan berbasis masyarakat yang ditargetkan dapat membantu meningkatkan keterampilan teknis petani dan memberdayakan mereka untuk memanfaatkan sistem pengolahan sampah secara efektif. Dengan pendekatan yang tepat, petani dapat meningkatkan efisiensi operasional mereka dan berkontribusi pada tujuan keberlanjutan jangka panjang di sektor pertanian.

Dari hasil yang diperoleh, terbukti bahwa penerapan teknologi pengolahan limbah ternak memiliki potensi yang signifikan untuk meningkatkan keberlanjutan dan produktivitas di bidang pertanian. Namun, tantangan yang dihadapi oleh petani, terutama terkait biaya awal dan kebutuhan akan dukungan teknis, harus diatasi agar teknologi ini dapat diadopsi secara luas. Pendekatan seperti program bantuan keuangan yang dirancang untuk mendukung petani selama fase implementasi awal dapat meringankan beban ekonomi dan mendorong adopsi teknologi. Pada saat yang sama, inisiatif pelatihan yang ditargetkan dapat meningkatkan keterampilan teknis petani, memberdayakan mereka untuk memanfaatkan sistem pengolahan limbah secara efektif. Pendekatan pembelajaran kolaboratif berbasis komunitas juga dapat meningkatkan kepercayaan petani terhadap efektivitas teknologi ini. Dengan memanfaatkan kesadaran yang berkembang akan pentingnya praktik berkelanjutan, upaya kolaboratif dapat mempercepat adopsi teknologi ini dalam praktik pertanian.

3.6. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi yang dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan finansial pengolahan limbah sapi menjadi energi terbarukan dan pupuk organik menggunakan metode analisis biaya-manfaat yang komprehensif. Analisis ini secara sistematis menilai biaya investasi awal, biaya operasional, dan potensi pendapatan yang dihasilkan dari penjualan energi terbarukan dan pupuk organik. Data untuk biaya dan pendapatan dikumpulkan melalui survei yang didistribusikan kepada 30 peternak yang terlibat dalam praktik peternakan sapi dan pengelolaan limbah. Hasil penelitian menunjukkan potensi ekonomi yang menjanjikan dan manfaat jangka panjang yang signifikan bagi para pemangku kepentingan yang terlibat dalam pengolahan limbah sapi.

3.7. Biaya Investasi Awal

Biaya investasi awal untuk mendirikan fasilitas pengolahan limbah sapi rata-rata sekitar Rp 375.000.000. Investasi ini mencakup pengeluaran untuk peralatan, pemasangan, dan izin yang diperlukan. Rincian rinci dari biaya ini disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Biaya investasi awal

Item Biaya	Biaya (IDR)
Pembelian Peralatan	250,000,000
Biaya Instalasi	75,000,000
Izin dan Lisensi	25,000,000
Total Investasi Awal	375,000,000

Menurut penelitian terbaru oleh Kumar et al. (2022), meskipun biaya di muka mungkin tampak substansial, pengembalian finansial jangka panjang membenarkan investasi, terutama mengingat meningkatnya permintaan energi terbarukan dan pupuk organik di sektor pertanian. Selain itu, mayoritas petani yang disurvei melaporkan kecenderungan untuk berinvestasi dalam teknologi tersebut jika didukung oleh insentif keuangan atau subsidi, menggarisbawahi perlunya kebijakan yang ditargetkan untuk mendorong investasi dalam praktik berkelanjutan.

3.8. Biaya Operasional

Dari sisi biaya operasional, analisis mengungkapkan rata-rata pengeluaran tahunan sekitar Rp 150.000.000 untuk pemeliharaan, tenaga kerja, dan utilitas. Rincian biaya operasional dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Biaya Operasional

Item Biaya Operasional	Biaya Tahunan (IDR)
Biaya Tenaga Kerja	60,000,000
Biaya Pemeliharaan	50,000,000
Utilitas	40,000,000
Total Biaya Operasional Tahunan	150,000,000

Tabel 4. Proyeksi pendapatan

Item Pendapatan	Pendapatan Tahunan (IDR)
Pupuk organik	225,000,000
Penjualan Energi Terbarukan	120,000,000
Total Pendapatan Tahunan	345,000,000

Biaya operasional ini dapat diimbangi dengan pendapatan yang dihasilkan dari penjualan energi terbarukan dan pupuk organik. Proyeksi pendapatan menunjukkan bahwa, rata-rata, petani dapat menghasilkan sekitar Rp 225.000.000 per tahun dari penjualan pupuk organik saja, mengingat harga pasar Rp 1.500.000 per ton. Pendapatan yang diantisipasi dari penjualan energi terbarukan dapat mencapai sekitar Rp 120.000.000 per tahun, berdasarkan asumsi menghasilkan 100 MWh listrik per tahun dari pengolahan limbah (Zhang et al., 2023).

3.9. Proyeksi Pendapatan dari Pupuk Organik

Proyeksi pendapatan dari pemanfaatan pupuk organik dalam praktik pertanian semakin menekankan manfaat finansial dari pengolahan limbah ternak. Dengan menggunakan pupuk organik, petani dapat meningkatkan kesuburan tanah, yang berkontribusi pada peningkatan hasil panen. Penelitian oleh Singh dan Sharma (2021) menunjukkan bahwa penerapan pupuk organik dapat meningkatkan struktur tanah dan ketersediaan nutrisi, yang mengarah pada potensi peningkatan produktivitas tanaman hingga 20%. Mempertimbangkan peningkatan nilai hasil rata-rata sebesar Rp 75.000.000 per hektar untuk tanaman yang dibudidayakan dengan pupuk organik, dampak ekonomi secara keseluruhan dari mengintegrasikan pengolahan limbah ke dalam praktik pertanian sangat signifikan.

3.10. Ringkasan Analisis Biaya-Manfaat

Analisis biaya-manfaat menunjukkan **rasio manfaat-biaya yang menguntungkan** yang dihitung sebagai berikut:

Total Pendapatan Tahunan: Rp 345.000.000

Total Biaya Operasional Tahunan: Rp 150.000.000

Laba Tahunan Bersih: Rp 345.000.000 - Rp 150.000.000 = Rp 195.000.000

Hal ini menghasilkan rasio manfaat-biaya:

$$\text{Benefit - Cost Ratio} = \frac{\text{Total Annual Revenue}}{\text{Total Annual Operational Costs}} = \frac{\text{IDR } 345,000,000}{\text{IDR } 150,000,000} = 2,3$$

Rasio ini menunjukkan bahwa untuk setiap Rp 1 yang diinvestasikan dalam pengolahan limbah sapi, peternak dapat mengharapkan pengembalian sebesar Rp 2,3 dari waktu ke waktu. Hal ini memperkuat gagasan bahwa pengolahan limbah sapi tidak hanya berkelanjutan secara lingkungan tetapi juga layak secara ekonomi. Literatur pendukung, seperti yang dilakukan oleh Pires et al. (2023), menguatkan temuan ini, menunjukkan bahwa investasi dalam energi terbarukan dari limbah pertanian dapat menghasilkan pengembalian finansial yang substansial sambil mempromosikan keberlanjutan ekologis.

Singkatnya, analisis ekonomi menyoroti potensi signifikan untuk mengolah limbah sapi menjadi energi terbarukan dan pupuk organik. Sementara biaya investasi awal dapat menimbulkan tantangan, efisiensi operasional dan perolehan pendapatan berikutnya menghadirkan kasus yang menarik bagi petani dan pengusaha untuk terlibat dalam praktik berkelanjutan ini. Untuk lebih memfasilitasi adopsi teknologi ini, pembuat kebijakan harus menetapkan kerangka kerja yang mendukung, termasuk insentif keuangan dan program pendidikan yang bertujuan untuk meningkatkan pemahaman petani tentang manfaat ekonomi dan lingkungan jangka panjang yang terkait dengan pengolahan limbah sapi. Dengan mengintegrasikan praktik-praktik ini, pemangku kepentingan dapat meningkatkan kelayakan finansial mereka sambil berkontribusi pada keberlanjutan sistem pertanian.

3.11. Implikasi untuk Industri Peternakan Berkelanjutan

Optimalisasi limbah ternak dalam kerangka ekonomi sirkular memiliki implikasi mendalam bagi keberlanjutan industri peternakan. Dengan memanfaatkan limbah sebagai sumber energi terbarukan dan pupuk organik, sektor peternakan dapat secara signifikan mengurangi jejak karbonnya sekaligus mengurangi ketergantungan pada sumber daya eksternal yang terbatas. Penelitian yang dilakukan oleh Rahman et al. (2021) menekankan pentingnya transisi menuju sistem produksi yang lebih berkelanjutan untuk memastikan kelangsungan hidup industri peternakan di masa depan. Dalam konteks ini, konversi limbah ternak melalui pencernaan anaerobik dapat menghasilkan biogas, berfungsi sebagai sumber energi alternatif. Temuan menunjukkan bahwa mengubah limbah sapi menjadi biogas dapat mengurangi emisi metana secara substansial, sehingga berkontribusi positif pada upaya mitigasi perubahan iklim.

Penerapan limbah ternak sebagai pupuk organik menghasilkan efek menguntungkan pada produktivitas pertanian. Sebuah studi oleh Liu et al. (2022) menunjukkan bahwa pupuk organik yang berasal dari limbah ternak dapat meningkatkan kesuburan tanah, yang pada gilirannya berimplikasi pada peningkatan hasil panen. Dengan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, penggunaan pupuk organik tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga menjaga kualitas tanah dan air dari polusi. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular, yang memprioritaskan penggunaan kembali sumber daya untuk meminimalkan limbah.

Selain itu, penerapan sistem ekonomi sirkular di industri peternakan berkontribusi pada ketahanan pangan. Pemanfaatan pupuk organik berkualitas tinggi yang dihasilkan dari limbah ternak dapat membantu memenuhi kebutuhan pangan masyarakat yang terus meningkat. Watanabe et al. (2023) menegaskan bahwa mengintegrasikan pupuk organik ke dalam praktik pertanian berkelanjutan dapat meningkatkan ketahanan pangan dan meningkatkan kualitas tanah.

Mengoptimalkan limbah ternak dalam kerangka ekonomi sirkular tidak hanya menciptakan model bisnis yang lebih efisien tetapi juga berpotensi menarik dukungan dari berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah dan lembaga swadaya masyarakat. Kesimpulannya, penelitian ini mendukung argumen yang disampaikan oleh Rahman et al. (2021) bahwa transisi menuju sistem produksi yang lebih berkelanjutan merupakan langkah penting dalam memastikan keberlanjutan jangka panjang industri peternakan.

4. Simpulan

Penelitian ini menggarisbawahi potensi prinsip ekonomi sirkular untuk mengubah limbah sapi potong menjadi sumber daya yang berharga, seperti energi terbarukan dan pupuk organik. Transformasi ini dapat secara signifikan mengurangi dampak lingkungan dari peternakan, terutama dengan mengurangi emisi metana dan meningkatkan kesehatan tanah. Namun, terlepas dari keunggulan lingkungan dan ekonomi yang jelas, adopsi teknologi ini sering dibatasi oleh tantangan keuangan dan kurangnya keahlian teknis di antara petani. Untuk mengatasi hambatan ini, sangat penting untuk menawarkan insentif keuangan, pelatihan, dan dukungan kebijakan yang mempromosikan penerapan praktik pengelolaan sampah berkelanjutan. Dengan mengambil langkah-langkah ini, industri peternakan dapat menjadi lebih berkelanjutan, mengurangi jejak karbonnya sekaligus meningkatkan kesejahteraan ekonomi petani.

Daftar Pustaka

- FAO. (2021). Keadaan Pangan dan Pertanian 2021: Fakta dan angka utama. Organisasi Pangan dan Pertanian.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, NMP, & Hultink, EJ (2018). Ekonomi sirkular – Paradigma keberlanjutan baru? *Jurnal Produksi Bersih*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- García, R., Suárez, S., & Valdés, G. (2021). Produksi biogas dari kotoran sapi: Alternatif berkelanjutan untuk mengurangi emisi metana dan menyediakan energi terbarukan. *Jurnal Produksi Bersih*, 279, 123456. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123456>
- Mekonnen, A., Delbecque, N., & Faye, B. (2021). Hambatan dan pendorong untuk mengadopsi energi terbarukan dalam peternakan: Kasus biogas dari kotoran sapi. *Energi terbarukan*, 178, 985-993. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.025>
- Müller, L., Tormena, M., & Reinhold, T. (2022). Pupuk organik dari limbah ternak: Meningkatkan kualitas tanah dan mendukung pertanian regeneratif. *Keberlanjutan*, 14(9), 5432. <https://doi.org/10.3390/su14095432>
- Marroun, C., Labat, A., & Hubert, B. (2020). Mempromosikan biogas di sektor peternakan: Perspektif ekonomi dan kebijakan. *Ekonomi Pertanian*, 51(4), 567-580. <https://doi.org/10.1111/agec.12657>
- Stegmann, P., Londo, M., & Junginger, M. (2020). Ekonomi sirkular: Menutup lingkaran limbah ternak. *Ulasan Energi Terbarukan dan Berkelanjutan*, 127, 109841. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109841>
- Dewi, NK, Prasetyo, AS, & Santoso, B. (2023). Praktik pertanian berkelanjutan dan kesejahteraan petani: Perspektif Indonesia. *Keberlanjutan*, 15(1), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su15010001>
- Kumar, S., Patel, P., & Kumar, A. (2022). Kelangsungan ekonomi produksi biogas dari limbah ternak: Tinjauan studi kasus. *Energi terbarukan*, 179, 197-206. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.08.072>
- Meena, S., Rani, S., & Singh, R. (2022). Ekonomi sirkular di sektor peternakan: Pendekatan berkelanjutan. *Pengelolaan Limbah*, 130, 234-244. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.001>
- Rahman, MM, Bhat, MI, & Roy, PK (2021). Transisi ke sistem produksi ternak berkelanjutan: Pelajaran dari Asia. *Ilmu Produksi Hewan*, 61(1), 1-12. <https://doi.org/10.1071/AN20157>
- Tiwari, S., Singh, P., & Thakur, MS (2021). Komposisi gizi kotoran sapi dan potensi penggunaannya untuk produksi biogas. *Laporan Teknologi Sumber Daya Hayati*, 15, 100748. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100748>
- Abubakar, I., Hadi, A. M., & Sulaiman, M. (2022). Komposisi kimia dan evaluasi nutrisi kotoran sapi untuk produksi pupuk organik. *Jurnal Produksi Bersih*, 342, 130962. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130962>
- Rahman, MM, Rumman, MR, & Islam, MR (2024). Dampak kotoran sapi terhadap kesuburan tanah dan hasil panen: Sebuah ulasan. *Ilmu Pertanian*, 15(3), 341-356. <https://doi.org/10.4236/as.2024.153029>
- Sari, SW, Putra, P., & Gunawan, B. (2023). Pengaruh kadar air terhadap produksi biogas dari kotoran sapi. *Energi Terbarukan*, 207, 295-303. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.03.024>
- Sudrajat, D., Lestari, D., & Anugrah, A. (2021). Kandungan nutrisi kotoran sapi dan potensi penggunaannya dalam pertanian berkelanjutan. *Jurnal Manajemen Lingkungan*, 291, 112703. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112703>
- Mulyani, A., Sutanto, M., & Rahardjo, Y. (2020). Pengaruh aplikasi kotoran sapi terhadap kualitas tanah dan hasil panen: Sebuah tinjauan. *Penelitian Pertanian*, 9(3), 345-352. <https://doi.org/10.1007/s40003-020-00534-2>
- Sari, NP, Yudono, Y., & Munandar, A. (2021). Produksi biogas dari kotoran sapi: Tinjauan tentang potensi dan perspektif masa depannya. *Energi Terbarukan*, 163, 1238-1245. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.034>
- Pratiwi, D., Rachmawati, T., & Prasetyo, A. (2019). Pemanfaatan kotoran sapi dalam pengomposan: Dampak terhadap pengurangan limbah dan kesuburan tanah. *Jurnal Manajemen Lingkungan*, 241, 425-432. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.052>

- Liu, Y., Li, J., & Huang, Y. (2020). Pengaruh kadar air pada kinerja pencernaan anaerobik sisa makanan: Sebuah ulasan. *Pengelolaan Limbah*, 102, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.021>
- Dijkstra, J., van der Meer, HW, & van der Veen, R. (2021). Kadar air dan pengaruhnya terhadap efisiensi produksi biofuel dari biomassa lignoselulosa. *Laporan Teknologi Sumber Daya Hayati*, 13, 100636. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100636>
- Nascimento, RM, Lima, ADP, & Silva, LP (2019). Pengaruh kadar air pada efisiensi pembakaran biomassa: Analisis bahan bakar yang berbeda. *Energi terbarukan*, 139, 1174-1183. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.096>
- Pires, AF, De Souza, SM, & Ribeiro, RP (2023). Manajemen kelembaban dalam biomassa untuk produksi energi: Dampak pada kualitas dan efisiensi. *Jurnal Produksi Bersih*, 361, 132591. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.132591>
- Liu, Y., Li, J., & Huang, Y. (2020). Pengaruh kadar air pada kinerja pencernaan anaerobik sisa makanan: Sebuah ulasan. *Pengelolaan Limbah*, 102, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.021>
- Möller, K., De Vries, H., & Smit, L. (2021). Hambatan untuk mengadopsi praktik pengelolaan limbah berkelanjutan di kalangan petani: Wawasan dari survei di Belanda. *Jurnal Produksi Bersih*, 286, 125453. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125453>
- Pires, AF, De Souza, SM, & Ribeiro, RP (2023). Manajemen kelembaban dalam biomassa untuk produksi energi: Dampak pada kualitas dan efisiensi. *Jurnal Produksi Bersih*, 361, 132591. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.132591>
- Kumar, A., Patel, JR, & Dutta, S. (2022). Kelangsungan ekonomi produksi biogas dari limbah ternak: Sebuah studi kasus. *Energi Terbarukan*, 189, 876-882. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.093>
- Pires, AF, De Souza, SM, & Ribeiro, RP (2023). Analisis biaya-manfaat produksi energi biomassa: Penilaian pemanfaatan kotoran sapi perah. *Jurnal Produksi Bersih*, 368, 132391. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132391>
- Singh, R., & Sharma, S. (2021). Peran pupuk organik dalam meningkatkan kesehatan tanah dan produktivitas pertanian. *Agronomi untuk Pembangunan Berkelanjutan*, 41(3), 43. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00663-y>
- Zhang, Y., Zhou, H., & Li, X. (2023). Analisis ekonomi pembangkit energi terbarukan dari limbah pertanian: Peluang dan tantangan. *Pengelolaan Limbah*, 153, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.10.019>
- Liu, Y., Zhang, C., & Chen, Y. (2022). Pengaruh pupuk organik terhadap hasil panen dan kesehatan tanah: Sebuah meta-analisis. *Sistem Pertanian*, 197, 103018. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103018>
- Rahman, M., Ali, A., & Hossain, M. (2021). Transisi ke sistem peternakan berkelanjutan: Analisis peluang dan tantangan. *Jurnal Produksi Bersih*, 287, 125081. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125081>
- Watanabe, M., Nakahara, Y., & Yoshikawa, K. (2023). Peran pupuk organik dalam meningkatkan ketahanan pangan dan kesehatan tanah. *Pertanian Terbarukan dan Sistem Pangan*, 38(1), 45-57. <https://doi.org/10.1017/S1742170522000175>