

Adopsi Biogas Rumah Tangga Berbasis Circular Economy untuk Peningkatan Ekonomi Desa yang Ramah Lingkungan

Adopting Circular Economy-Based Household Biogas for Environmentally Friendly Village Economic Development

Andrie Kisroh Sunyigono^{1*}, Sri Ratna Triyasari², Khamdi Mubarok³

^{1,2}Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Trunodjoyo Madura

³Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Trunodjoyo Madura

Email korespondensi: andriekisroh@trunodjoyo.ac.id

ABSTRACT

Beef cattle farming produces livestock waste that has not been fully utilized as a productive resource, while rural households continue to face energy costs for cooking. Household biogas offers an opportunity to convert cattle manure into clean energy and bioslurry within a circular economy framework. This study aims to analyze the adoption of household biogas based on circular economy principles as a strategy to improve village economies in an environmentally friendly manner. The research used a descriptive quantitative approach supported by triangulation from biogas owners. Primary data were collected through structured surveys involving 90 non-biogas households and 9 biogas-owning households in several subdistricts of Pamekasan Regency, Madura. Data were analyzed using frequencies, percentages, means, medians, and descriptive comparison between potential adopters and existing users. The results show that only 25.6% of non-biogas respondents were interested in investing in biogas, while 74.4% were not interested. The main motivation for investment was reducing LPG costs, whereas the dominant barrier was high initial investment cost, followed by land limitation and operational concerns. Triangulation with biogas owners indicates positive operational performance, as all owners still used biogas with an average use of 4.17 hours per day, and bioslurry was mostly used as fertilizer. The study concludes that the main challenge of household biogas adoption is not technological failure, but limited initial access to technology. Affordable financing, technical assistance, suitable digester design, and bioslurry market development are needed to strengthen circular economy-based village development.

Keywords: adoption; bioslurry; circular economy; household biogas; village economy

ABSTRAK

Peternakan sapi rakyat menghasilkan limbah ternak yang belum sepenuhnya dimanfaatkan sebagai sumber daya produktif, sementara rumah tangga pedesaan masih menghadapi beban biaya energi untuk memasak. Biogas rumah tangga menawarkan peluang untuk mengubah kotoran sapi menjadi energi bersih dan bioslurry dalam kerangka ekonomi sirkular. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis adopsi biogas rumah tangga berbasis circular economy sebagai strategi peningkatan ekonomi desa yang ramah lingkungan. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan dukungan triangulasi dari pemilik biogas. Data primer dikumpulkan melalui survei terstruktur terhadap 90 rumah tangga non-pemilik biogas dan 9 rumah tangga pemilik biogas di beberapa kecamatan di Kabupaten Pamekasan, Madura. Data dianalisis menggunakan frekuensi, persentase, rata-rata, median, dan perbandingan deskriptif antara calon pengguna dan pengguna aktual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hanya 25,6% responden non-pemilik biogas yang tertarik berinvestasi, sedangkan 74,4% tidak tertarik. Motif utama investasi adalah pengurangan biaya LPG, sedangkan hambatan dominan adalah biaya investasi awal yang tinggi, diikuti keterbatasan lahan dan kekhawatiran operasional. Triangulasi terhadap pemilik biogas menunjukkan kinerja operasional positif karena seluruh pemilik masih menggunakan biogas dengan rata-rata penggunaan 4,17 jam per hari, dan bioslurry sebagian besar dimanfaatkan sebagai pupuk. Penelitian ini menyimpulkan bahwa tantangan utama adopsi biogas rumah tangga bukan pada kegagalan teknologi, melainkan keterbatasan akses awal terhadap teknologi. Skema pembiayaan terjangkau, pendampingan teknis, desain digester yang sesuai, dan pengembangan pasar bioslurry diperlukan untuk memperkuat pembangunan desa berbasis ekonomi sirkular.

Kata Kunci: adopsi; biogas rumah tangga; bioslurry; circular economy; ekonomi desa

PENDAHULUAN

Sektor peternakan sapi memiliki peran penting dalam perekonomian masyarakat desa karena menjadi sumber pendapatan, tabungan produktif, serta penyedia bahan organik bagi pertanian. Namun, aktivitas peternakan juga menghasilkan limbah dalam jumlah besar yang belum seluruhnya dimanfaatkan secara produktif. Dalam konteks peternakan rakyat di Madura, pemanfaatan limbah ternak sebagai sumber energi dan pupuk organik masih belum optimal. Kabupaten Pamekasan memiliki populasi sapi sekitar 195.898 ekor (Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, 2024) dengan potensi limbah harian sekitar 1.958 ton (Mahmud, 2015). Kondisi ini menunjukkan peluang besar untuk mengubah limbah ternak menjadi energi terbarukan melalui biogas dan pupuk organik melalui bioslurry.

Masalah pengelolaan limbah ternak penting karena limbah yang tidak dikelola dapat menimbulkan bau, pencemaran lingkungan, emisi gas rumah kaca, dan rendahnya efisiensi sumber daya desa. Studi LCA menunjukkan bahwa produksi sapi berkontribusi terhadap emisi, penggunaan air, lahan, energi fosil, eutrofikasi, dan acidifikasi lingkungan (Aboagye et al., 2024). Di sisi lain, rumah tangga pedesaan masih menghadapi beban biaya energi, terutama untuk memasak (Anissa et al., 2025). Biogas rumah tangga dapat mengurangi ketergantungan terhadap LPG (Council of Engineers for the Energi Trasition, 2023), sedangkan bioslurry dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik (Yudi & Teguh, 2025). Dengan demikian, biogas bukan hanya teknologi energi bersih, tetapi juga instrumen peningkatan ekonomi rumah tangga dan penguatan sistem pertanian-peternakan berkelanjutan.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa *Life Cycle Assessment* dapat digunakan untuk mengukur dampak lingkungan sektor peternakan dari tahap produksi pakan, pemeliharaan ternak, pengelolaan limbah, hingga konsumsi energi (Aboagye et al., 2024; González-Quintero et al., 2021). McAuliffe et al. (2018) juga menekankan pentingnya data mikro dalam menghitung intensitas emisi ternak karena variasi performa individu dapat memengaruhi hasil penilaian lingkungan. Dalam perspektif circular bioeconomy, Melas et al. (2023) menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah dan substitusi input eksternal dapat memperbaiki kinerja lingkungan sektor peternakan. Sementara itu, Graham et al. (2024) menegaskan pentingnya pendekatan sosial dan partisipatif dalam memahami keberlanjutan sistem peternakan.

Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada aspek teknis dan lingkungan, seperti pengukuran emisi, efisiensi energi, atau potensi pengurangan dampak lingkungan. Kajian tersebut belum banyak menjelaskan mengapa rumah tangga peternak bersedia atau tidak bersedia mengadopsi biogas sebagai investasi. Padahal, keberhasilan teknologi biogas tidak hanya ditentukan oleh kelayakan teknis, tetapi juga oleh kemampuan membayar, ketersediaan lahan, kemudahan operasional, dukungan kelembagaan, dan persepsi manfaat ekonomi rumah tangga. Oleh karena itu, analisis adopsi biogas perlu menggabungkan dimensi lingkungan, ekonomi, sosial, dan kelembagaan secara lebih utuh.

Research gap penelitian ini terletak pada masih terbatasnya kajian yang menghubungkan minat investasi rumah tangga, hambatan adopsi, kelayakan operasional, dan nilai tambah bioslurry dalam satu kerangka circular economy. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan data empiris adopsi biogas rumah tangga yang tidak hanya membaca biogas sebagai teknologi lingkungan, tetapi juga sebagai keputusan investasi rumah tangga desa. Penelitian ini mengintegrasikan analisis hambatan biaya modal

pembelian reaktor biogas, kesiapan pengguna, kendala operasional pemilik biogas, serta peluang komersialisasi bioslurry.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis adopsi biogas rumah tangga berbasis *circular economy* sebagai strategi peningkatan ekonomi masyarakat desa yang ramah lingkungan. Secara khusus, penelitian ini menjelaskan faktor pendorong dan penghambat investasi biogas, mengevaluasi bukti operasional pemanfaatan biogas, serta mengkaji peluang bioslurry sebagai sumber nilai tambah ekonomi. Kontribusi penelitian ini adalah menghasilkan dasar empiris bagi strategi pengembangan biogas yang lebih realistis, berbasis kemampuan rumah tangga, dukungan kelembagaan, pengurangan biaya energi, dan pemanfaatan limbah ternak secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan dukungan triangulasi data dari pemilik biogas dan tetangga pemilik biogas. Pendekatan ini dipilih untuk menganalisis adopsi biogas rumah tangga berbasis *circular economy*, khususnya faktor pendorong dan penghambat keputusan investasi, kelayakan operasional penggunaan biogas, serta peluang pemanfaatan bioslurry sebagai sumber nilai tambah ekonomi. Secara konseptual, penelitian ini merujuk pada pendekatan *Life Cycle Assessment* dan *circular economy* yang menempatkan limbah ternak sebagai sumber daya yang dapat dikonversi menjadi energi dan pupuk organik. Pendekatan ini sejalan dengan studi Aboagye et al. (2024), González-Quintero et al. (2021), dan Melas et al. (2023), yang menekankan pentingnya analisis keberlanjutan sektor peternakan melalui efisiensi sumber daya, pengurangan dampak lingkungan, dan pemanfaatan limbah.

Penelitian dilakukan di Kabupaten Pamekasan, Madura. Pemilihan lokasi dilakukan secara purposive karena wilayah ini memiliki aktivitas peternakan sapi rakyat, potensi limbah ternak, serta pengembangan biogas berbasis limbah ternak. Pada tahun 0225, wilayah ini merupakan salah satu wilayah Pilot Project Nasional Biogas Sistema. Lokasi penelitian dilakukan pada beberapa kecamatan, yaitu Waru, Pakong, Batumarmar, Palengaan, Proppo, dan Kadur. Wilayah tersebut dipandang relevan untuk mengkaji hubungan antara potensi limbah ternak, adopsi biogas, penghematan energi rumah tangga, dan pemanfaatan bioslurry dalam kerangka ekonomi sirkular.

Responden penelitian terdiri atas dua kelompok utama. Kelompok pertama adalah rumah tangga non-pemilik biogas sebanyak 90 responden. Kelompok ini digunakan untuk menganalisis minat investasi, alasan bersedia berinvestasi, dan alasan tidak bersedia berinvestasi dalam biogas. Kelompok kedua adalah rumah tangga pemilik biogas sebanyak 9 responden. Kelompok ini digunakan sebagai data triangulasi untuk menilai kelayakan operasional, keberlanjutan penggunaan, persepsi manfaat ekonomi, dukungan kelembagaan, manfaat lingkungan-sosial, serta pemanfaatan bioslurry. Pemisahan dua kelompok responden ini bertujuan agar analisis tidak hanya menggambarkan persepsi calon pengguna, tetapi juga dibandingkan dengan pengalaman aktual pengguna biogas.

Data primer dikumpulkan melalui survei terstruktur, observasi lapangan, dan konfirmasi kepada pemilik biogas. Pada kelompok non-pemilik biogas, instrumen utama mencakup keputusan investasi biogas, alasan bersedia berinvestasi, dan alasan tidak bersedia berinvestasi. Pada kelompok pemilik biogas, instrumen mencakup status penggunaan biogas, kondisi fisik instalasi, rata-rata lama penggunaan gas per hari, persepsi terhadap teknologi dan layanan, pengetahuan *circular economy*, dukungan

kelembagaan, manfaat ekonomi, manfaat lingkungan-sosial, keberlanjutan praktik, serta pemanfaatan dan penjualan bioslurry.

Variabel penelitian meliputi keputusan investasi biogas, alasan investasi, alasan tidak berinvestasi, indeks kesiapan pengguna, jumlah sumber informasi, kesadaran terhadap biogas, intensitas penggunaan kayu bakar, jumlah sapi, kondisi instalasi, durasi penggunaan biogas, persepsi manfaat ekonomi, dukungan kelembagaan, manfaat lingkungan-sosial, serta pemanfaatan bioslurry. Alasan tidak berinvestasi dikelompokkan menjadi empat kategori hambatan, yaitu keterjangkauan biaya atau *affordability/CAPEX*, keterbatasan lahan, kompleksitas operasi dan pemeliharaan, serta keterbatasan waktu. Klasifikasi ini digunakan untuk menjelaskan hambatan adopsi secara sistematis.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan menghitung frekuensi, persentase, rata-rata, median, nilai minimum, dan nilai maksimum sesuai karakteristik data. Pada kelompok non-pemilik biogas, analisis difokuskan pada distribusi responden yang tertarik dan tidak tertarik berinvestasi, proporsi alasan investasi, serta proporsi alasan non-investasi. Perbandingan deskriptif antara calon investor dan non-investor juga dilakukan berdasarkan indeks kesiapan, sumber informasi, kesadaran biogas, intensitas kayu bakar, dan jumlah sapi. Pada kelompok pemilik biogas, analisis difokuskan pada keberlanjutan penggunaan, kondisi instalasi, lama penggunaan gas, skor persepsi, serta pemanfaatan dan komersialisasi bioslurry.

Triangulasi dilakukan dengan membandingkan hasil survei non-pemilik dan pemilik biogas. Data non-pemilik digunakan untuk mengidentifikasi hambatan adopsi, sedangkan data pemilik digunakan untuk menilai kelayakan operasional dan peluang nilai tambah. Hasil analisis kemudian digunakan untuk merumuskan strategi pengembangan biogas rumah tangga berbasis *circular economy*, termasuk skema pembiayaan, dukungan operasi dan pemeliharaan, desain instalasi yang sesuai dengan keterbatasan lahan, serta penguatan nilai ekonomi bioslurry melalui pengolahan, standardisasi, dan pemasaran lokal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Responden dalam Konteks Tingkat Adopsi Biogas

Penelitian ini menganalisis dua kelompok responden, yaitu 90 rumah tangga non-pemilik biogas dan 9 rumah tangga pemilik biogas. Kelompok non-pemilik digunakan untuk menjelaskan minat investasi, alasan bersedia, dan alasan tidak bersedia mengadopsi biogas. Sementara itu, kelompok pemilik biogas digunakan sebagai triangulasi untuk menilai kelayakan operasional teknologi, manfaat ekonomi, dan peluang pemanfaatan bioslurry. Pemisahan dua kelompok ini penting karena adopsi biogas tidak cukup dijelaskan dari persepsi calon pengguna, tetapi juga perlu dibandingkan dengan pengalaman aktual rumah tangga yang sudah menggunakan biogas.

Berdasarkan data kuesioner non-pemilik biogas, responden tersebar pada enam kecamatan, yaitu Pakong, Kadur, Waru, Baturmarmar, Palengaan, dan Proppo. Tabel 1 menunjukkan bahwa komposisi responden didominasi laki-laki sebanyak 55 orang dan perempuan sebanyak 35 orang. Tingkat pendidikan responden relatif rendah, dengan 44 responden berpendidikan SD/ sederajat dan 28 responden tidak sekolah. Rata-rata usia responden adalah 50 tahun, rata-rata lama beternak 15 tahun, dan rata-rata kepemilikan sapi 2 ekor. Profil ini menunjukkan bahwa responden merupakan rumah tangga peternak rakyat berskala kecil, sehingga keputusan investasi biogas sangat mungkin dipengaruhi oleh keterbatasan modal, skala usaha, dan kapasitas pengelolaan teknologi.

Tabel 1. Karakteristik ringkas responden non-pemilik dan pemilik biogas

Indikator	Non-pemilik biogas (n=90)	Pemilik biogas (n=9)
Rata-rata usia responden	50,23 tahun	45,22 tahun
Rata-rata jumlah anggota keluarga	3,96 orang	4,89 orang
Rata-rata lama beternak	15,00 tahun	13,78 tahun
Rata-rata jumlah sapi	1,92 ekor	7,11 ekor
Median jumlah sapi	2 ekor	6 ekor
Wilayah utama penelitian	6 kecamatan	6 kecamatan

Sumber: Data primer diolah (2025)

Tabel 1 menunjukkan bahwa pemilik biogas memiliki rata-rata jumlah sapi lebih tinggi dibandingkan non-pemilik. Hal ini relevan karena kotoran sapi merupakan bahan baku utama bagi digester biogas rumah tangga, sehingga rumah tangga dengan kepemilikan ternak lebih besar cenderung memiliki pasokan substrat yang lebih stabil untuk menjaga kontinuitas operasi digester. Studi tentang hambatan biogas skala kecil di Indonesia menegaskan bahwa sistem biogas *fixed dome* sesuai dengan konteks Indonesia karena tersedianya limbah ternak dari sapi dan unggas, tetapi adopsinya tetap dipengaruhi oleh faktor ekonomi, sosial, teknis, dan lingkungan (Situmeang et al., 2022). Selain itu, kajian biogas untuk *clean cooking* menekankan bahwa implementasi biogas harus mempertimbangkan kondisi lokal, terutama ketersediaan bahan baku dan air (Council of Engineers for the Energi Trasition, 2023). Dengan demikian, rumah tangga dengan jumlah sapi lebih banyak cenderung lebih siap secara teknis untuk mengoperasikan biogas. Namun, skala ternak bukan satu-satunya faktor penentu karena sebagian rumah tangga yang memiliki sapi tetap tidak bersedia berinvestasi akibat hambatan biaya awal, lahan, dan risiko operasional.

2. Minat Investasi Biogas

Hasil penelitian menunjukkan adanya kesenjangan antara potensi manfaat biogas dan keputusan investasi (Tabel 2). Dari 90 responden non-pemilik biogas, hanya 23 responden atau 25,6% yang menyatakan tertarik berinvestasi, sedangkan 67 responden atau 74,4% menyatakan tidak tertarik. Temuan ini menunjukkan bahwa adopsi biogas rumah tangga tidak dapat diasumsikan terjadi secara otomatis meskipun peternak memiliki ternak dan menghasilkan limbah. Keputusan investasi tetap dipengaruhi oleh kalkulasi ekonomi rumah tangga, kemampuan membayar biaya awal, akses terhadap skema pembiayaan, persepsi risiko operasional, serta kesiapan sosial-teknis. Hal ini sejalan dengan kajian (Situmeang et al., 2022) yang menunjukkan bahwa adopsi biogas skala kecil di Indonesia dipengaruhi oleh hambatan teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan. Kajian (Mukonza & Leach, 2025) juga menegaskan bahwa biaya awal digester yang tinggi masih menjadi penghambat utama bagi rumah tangga pedesaan dan berpendapatan rendah, sehingga diperlukan model pembiayaan seperti *pay-as-you-go*, kredit mikro, dan subsidi terarah. Studi empiris di Jawa Timur oleh (Ramadhani & Firmanda, 2026) memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa keputusan adopsi biogas pada rumah tangga peternak dipengaruhi oleh pengalaman peternak, kepemilikan ternak, kepemilikan lahan, keanggotaan kelompok tani, penyuluhan pertanian, dan kemitraan pasar.

Tabel 2. Distribusi keputusan investasi biogas pada non-pemilik biogas

Keputusan investasi	Jumlah (n)	Persentase (%)
Tertarik investasi	23	25,6
Tidak tertarik investasi	67	74,4
Total	90	100,0

Sumber: Data primer diolah (2025)

Tabel 2 menunjukkan bahwa secara positif, adanya 25,6% responden yang tertarik menunjukkan terdapat kelompok calon pengguna potensial yang dapat menjadi sasaran awal program pengembangan biogas. Kelompok ini dapat diposisikan sebagai *early adopters* atau contoh lokal karena proses adopsi teknologi energi rumah tangga sering dipengaruhi oleh pengalaman pengguna aktual, jaringan sosial, kelompok tani, dan penyuluhan. Studi di Indonesia menunjukkan bahwa keputusan adopsi biogas pada rumah tangga peternak dipengaruhi oleh kepemilikan ternak, pengalaman usaha, keanggotaan kelompok tani, dan partisipasi dalam penyuluhan (Nugroho et al., 2025). Namun, secara negatif, dominasi responden yang tidak tertarik menunjukkan bahwa strategi pengembangan biogas tidak cukup hanya melalui sosialisasi manfaat lingkungan. Adopsi biogas skala kecil di Indonesia masih menghadapi hambatan teknologi, ekonomi, sosial, dan lingkungan (Situmeang et al., 2022). Temuan penelitian ini memperkuat aspek ekonomi dari studi tersebut karena biaya investasi awal masih menjadi faktor paling dominan dalam keputusan investasi biogas. Hal ini sejalan dengan laporan (Council of Engineers for the Energi Trasition, 2023) dan (Mukonza & Leach, 2025) yang menegaskan bahwa biogas merupakan teknologi matang untuk memasak bersih, tetapi penerapannya di rumah tangga pedesaan harus mengatasi hambatan keterjangkauan, pembiayaan awal, dukungan kelembagaan, dan kapasitas lokal.

3. Motif Ekonomi sebagai Pendorong Utama Investasi

Pada kelompok yang tertarik berinvestasi, alasan utama yang muncul adalah penghematan biaya LPG. Dari 23 responden yang tertarik, sebanyak 21 responden atau 91,3% menyatakan bahwa mereka bersedia berinvestasi karena ingin mengurangi biaya LPG, sedangkan 2 responden atau 8,7% menyebutkan alasan menghasilkan pupuk organik. Temuan ini menunjukkan bahwa biogas dipahami terutama sebagai teknologi penghemat energi rumah tangga, bukan pertama-tama sebagai teknologi lingkungan.

Tabel 3. Alasan responden bersedia berinvestasi dalam biogas

Alasan bersedia investasi	Jumlah (n)	Persentase (%)
Mengurangi biaya LPG	21	91,3
Menghasilkan pupuk organik	2	8,7
Total	23	100,0

Sumber: Data primer diolah (2025)

Temuan pada Tabel 3 sejalan dengan tujuan artikel bahwa adopsi biogas rumah tangga berbasis circular economy perlu dikaitkan dengan peningkatan ekonomi desa. Biogas akan lebih mudah diterima apabila manfaatnya dapat dirasakan secara langsung dalam bentuk pengurangan pengeluaran energi. Transisi energi rumah tangga tidak hanya bergantung pada ketersediaan teknologi bersih, tetapi juga pada kesesuaian teknologi dengan kebutuhan memasak, biaya bahan bakar, dan kebiasaan energi rumah tangga.

Dalam konteks penelitian ini, manfaat pengurangan LPG menjadi pintu masuk yang paling kuat untuk membangun minat investasi. Namun, rendahnya responden yang menyebut pupuk organik sebagai alasan investasi menunjukkan bahwa nilai ekonomi bioslurry belum menjadi daya tarik utama pada tahap pra-adopsi (Anita V. et al., 2020).

4. Hambatan Investasi sebagai Masalah Utama Pra-Adopsi

Pada kelompok yang tidak tertarik berinvestasi, hambatan paling dominan adalah biaya investasi awal yang dianggap terlalu mahal. Dari 67 responden yang tidak tertarik, sebanyak 54 responden atau 80,6% menyebut biaya investasi sebagai alasan utama. Hambatan berikutnya adalah keterbatasan lahan sebanyak 10 responden atau 14,9%, takut rumit atau sulit mengoperasikan sebanyak 2 responden atau 3,0%, dan tidak ada waktu mengelola sebanyak 1 responden atau 1,5%.

Tabel 4. Alasan responden tidak bersedia berinvestasi dalam biogas

Alasan tidak bersedia investasi	Jumlah (n)	Persentase (%)
Biaya investasi terlalu mahal	54	80,6
Tidak punya cukup lahan	10	14,9
Takut rumit atau sulit mengoperasikan	2	3,0
Tidak ada waktu mengelola	1	1,5
Total	67	100,0

Sumber: Data primer diolah (2025)

Tabel 4 menunjukkan bahwa hambatan adopsi bukan terutama terletak pada penolakan terhadap teknologi, tetapi pada kemampuan membayar biaya awal. Dalam konteks ekonomi rumah tangga peternak kecil, biaya pembangunan reaktor biogas dapat dipersepsikan sebagai investasi berisiko karena manfaat ekonominya baru diperoleh secara bertahap melalui penghematan LPG. Temuan ini konsisten dengan (Situmeang et al., 2022), yang menunjukkan bahwa adopsi biogas skala kecil di Indonesia dipengaruhi oleh hambatan teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan. Kajian terbaru tentang biogas untuk *clean cooking* juga menegaskan bahwa biaya awal dan keterjangkauan masih menjadi tantangan utama bagi rumah tangga pedesaan, sehingga skema pembiayaan, subsidi, dan dukungan kelembagaan menjadi penting (Council of Engineers for the Energi Trasition, 2023) dan (Mukonza & Leach, 2025). Namun, temuan ini berbeda dari sebagian studi teknis yang lebih menekankan desain digester, efisiensi, dan stabilitas produksi gas; pada penelitian ini, persoalan utama justru berada sebelum teknologi digunakan, yaitu pada titik keputusan investasi.

Keterbatasan lahan juga perlu diperhatikan karena sebagian responden menyebut tidak memiliki cukup lahan. Hambatan ini bersifat fisik dan tidak dapat diselesaikan hanya melalui edukasi. Oleh karena itu, solusi yang lebih sesuai adalah desain digester ringkas, portabel, atau model komunal. (Mapantsela et al., 2024) menunjukkan bahwa digester portabel menarik bagi keluarga pedesaan kecil karena lebih mudah dioperasikan, dirawat, dan hemat ruang. Sementara itu, hambatan kompleksitas dan waktu relatif kecil, tetapi tetap penting diantisipasi karena kegagalan pasca-instalasi dapat terjadi ketika pengguna tidak memperoleh pendampingan, layanan perbaikan, atau tidak mampu

menjaga rutinitas operasi digester. (Jha & Lohani, 2025) menunjukkan bahwa keberlanjutan biogas rumah tangga sangat dipengaruhi oleh kondisi sosial-teknis, perawatan rutin, layanan pasca-instalasi, dan ketersediaan bahan baku.

5. Kinerja Penerapan Biogas

Data 9 pemilik biogas menunjukkan bahwa seluruh responden masih menggunakan biogas. Kondisi fisik instalasi dilaporkan sangat baik oleh 8 responden dan baik oleh 1 responden. Ketersediaan gas dilaporkan stabil oleh seluruh pemilik. Rata-rata penggunaan gas biogas mencapai 4,17 jam per hari, dengan median 4 jam dan rentang 1–12 jam per hari. Rata-rata jumlah sapi pemilik biogas adalah 7,11 ekor, sedangkan rata-rata sapi yang kotorannya dialirkan ke digester adalah 6,89 ekor.

Tabel 5. Ringkasan operasional pemilik biogas

Indikator	Nilai
Masih menggunakan biogas	9/9 responden
Ketersediaan gas stabil	9/9 responden
Kondisi fisik sangat baik	8 responden
Kondisi fisik baik	1 responden
Rata-rata penggunaan biogas	4,17 jam/hari
Median penggunaan biogas	4 jam/hari
Rata-rata jumlah sapi	7,11 ekor
Rata-rata sapi masuk digester	6,89 ekor

Sumber: Data primer diolah (2025)

Hasil pada Tabel 5 memberikan bukti positif bahwa biogas dapat berfungsi secara berkelanjutan pada rumah tangga yang memiliki bahan baku cukup dan instalasi yang baik. Temuan ini mendukung (Lohani et al., 2025), yang menyatakan bahwa biogas rumah tangga dapat memberikan manfaat energi dan lingkungan apabila desain, bahan baku, dan operasi berjalan sesuai. Namun, pembacaan ini perlu hati-hati karena data operasional bersifat self-reported dan jumlah pemilik biogas hanya 9 responden. Verifikasi teknis seperti pengecekan kebocoran, stabilitas tekanan gas, rutinitas pengisian digester, dan kondisi saluran kotoran tetap diperlukan untuk memperkuat klaim keberlanjutan.

Dengan demikian, masalah utama adopsi biogas pada penelitian ini bukan pada ketidakmampuan teknologi untuk bekerja, melainkan pada akses awal terhadap teknologi. Hal ini menjelaskan mengapa hambatan CAPEX sangat dominan pada kelompok non-pemilik, sementara pemilik yang sudah memiliki instalasi justru menunjukkan pengalaman penggunaan yang positif.

Persepsi pemilik biogas menunjukkan kecenderungan positif pada hampir semua dimensi. Tabel 6 menunjukkan bahwa rata-rata skor teknologi dan layanan adalah 3,39, pengetahuan dan sikap terhadap circular economy 3,43, dukungan kelembagaan 3,40, manfaat ekonomi 3,37, manfaat lingkungan-sosial 3,30, dan keberlanjutan praktik 3,18 pada skala 1–4. Skor tertinggi terdapat pada pemahaman dan sikap terhadap circular economy, sedangkan skor terendah terdapat pada keberlanjutan praktik.

Tabel 6. Rata-rata indeks persepsi pemilik biogas

Dimensi persepsi	Rata-rata	Interpretasi
Teknologi dan layanan	3,39	Baik
Pengetahuan/sikap circular economy	3,43	Baik
Dukungan kelembagaan	3,40	Baik
Manfaat ekonomi	3,37	Baik
Manfaat lingkungan-sosial	3,30	Baik
Kinerja dan keberlanjutan praktik	3,18	Baik

Sumber: Data primer diolah (2025)

Hasil ini mendukung argumen (Melas et al., 2023) bahwa praktik circular bioeconomy dapat meningkatkan efisiensi sumber daya dan memperbaiki kinerja lingkungan sektor peternakan. Pada konteks penelitian ini, biogas mengubah kotoran sapi menjadi energi, sedangkan bioslurry menjadi input pertanian. Namun, skor keberlanjutan praktik yang paling rendah menunjukkan bahwa keberhasilan adopsi tidak boleh hanya diukur dari keberadaan instalasi. Program perlu memastikan bahwa praktik pengisian bahan baku, perawatan, pemanfaatan gas, dan pengelolaan bioslurry benar-benar menjadi kebiasaan rumah tangga.

Berdasarkan hasil kajian (Tabel 7), strategi pengembangan biogas rumah tangga perlu diarahkan pada empat aspek utama. Pertama, hambatan biaya investasi harus dijawab melalui skema pembiayaan yang menurunkan beban awal, seperti cicilan, kredit mikro, subsidi parsial, atau kerja sama dengan BUMDes dan koperasi. Kedua, hambatan lahan perlu dijawab melalui desain digester yang lebih ringkas atau model komunal yang dikelola kelompok. Ketiga, keberlanjutan penggunaan perlu dijaga melalui pelatihan, layanan teknis, ketersediaan suku cadang, dan monitoring pasca-instalasi. Keempat, bioslurry perlu dikembangkan sebagai produk ekonomi melalui pengolahan, standardisasi, pengemasan, dan pemasaran lokal.

Tabel 7. Matriks strategi pengembangan biogas rumah tangga berbasis circular economy

Temuan utama	Makna pembahasan	Strategi yang disarankan
80,6% non-investor terkendala biaya	Hambatan utama berada pada tahap pra-adopsi	Cicilan, kredit mikro, subsidi parsial, bundling instalasi dan O&M
14,9% terkendala lahan	Tidak semua rumah tangga cocok dengan model individual	Digester ringkas, shared digester, atau model komunal
Investor bermotif hemat LPG	Manfaat ekonomi langsung paling kuat	Komunikasi program berbasis penghematan biaya energi
Pemilik menggunakan biogas 4,17 jam/hari	Teknologi dapat berjalan bila akses awal tersedia	Demonstrasi pengguna sukses dan pendampingan teknis
Bioslurry dimanfaatkan tetapi jarang dijual	Value capture belum optimal	Standardisasi, pengolahan, pengemasan, dan pasar lokal

Sumber: Data primer diolah (2025)

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa biogas rumah tangga memiliki potensi sebagai strategi peningkatan ekonomi desa yang ramah lingkungan, tetapi adopsinya masih tertahan oleh persoalan investasi awal. Biogas telah terbukti relevan sebagai sumber penghematan LPG dan dapat beroperasi pada pemilik eksisting. Bioslurry juga telah dimanfaatkan sebagai pupuk, meskipun nilai ekonominya belum optimal. Dengan demikian, pendekatan pengembangan biogas perlu bergeser dari pendekatan teknologi menjadi pendekatan ekosistem. Ekosistem tersebut mencakup pembiayaan, pendampingan teknis, kelembagaan lokal, desain teknologi yang sesuai kondisi rumah tangga, dan pengembangan pasar bioslurry. Pendekatan ini sejalan dengan tujuan circular economy karena menempatkan limbah ternak sebagai sumber energi, pupuk, dan nilai ekonomi baru bagi masyarakat desa.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

1. Adopsi biogas rumah tangga berbasis *circular economy* memiliki potensi untuk meningkatkan ekonomi desa melalui penghematan biaya energi dan pemanfaatan limbah ternak. Namun, minat investasi masih rendah karena mayoritas non-pemilik biogas terkendala biaya awal, keterbatasan lahan, dan kesiapan sosial-teknis.
2. Pemilik biogas menunjukkan pengalaman penggunaan yang positif karena instalasi masih berfungsi, gas digunakan secara rutin, dan bioslurry dimanfaatkan sebagai pupuk. Temuan ini menunjukkan bahwa persoalan utama bukan pada ketidakmampuan teknologi bekerja, melainkan pada akses awal terhadap teknologi dan belum optimalnya nilai ekonomi bioslurry.

SARAN

Pengembangan biogas rumah tangga perlu diarahkan pada skema pembiayaan yang terjangkau, desain digester yang sesuai dengan kondisi lahan, serta pendampingan teknis pasca-instalasi. Pemanfaatan bioslurry juga perlu diperkuat melalui pengolahan, standardisasi, pengemasan, dan pengembangan pasar lokal agar manfaat ekonomi circular economy lebih optimal.

Ucapan Terima Kasih (*Acknowledgement*)

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Trunojoyo Madura atas dukungan pendanaan melalui skema Riset Mandiri. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Trunojoyo Madura, pemerintah desa, pendamping biogas, serta seluruh responden pemilik dan non-pemilik biogas di Kabupaten Pamekasan yang telah membantu proses pengumpulan data penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboagye, I. A., Valappil, G., Dutta, B., Imbeault-t treault, H., & Ominski, K. H. (2024). *An assessment of the environmental sustainability of beef production in Canada. 2014(Crsb 2016)*, 221–240.
- Anissa, S., Maxensius, T. S., Handoyo, F. W., Farandy, A. R., Silalahi, M., Suardi, I., Inayah, I., Nurjati, E., Sharma, S., Laan, T., & McCulloch, N. (2025). *Indonesia ' s Next Cooking Transition: Shifting to non-fossil cooking* (Issue December).
- Anita V., S., Ashlinn, Q., Katherine L., D., Kendra N., W., Omar, M., Dana, C., & Darby, J. (2020). Everybody Stacks: Lessons from household energy case studies to inform design principles for clean energy transitions. *HHS Public Access*, 141(1), 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111468>.Everybody
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur. (2024). *Populasi Ternak Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Ternak di Provinsi Jawa Timur (ekor), 2022*. https://jatim.bps.go.id/id/statistics-table/3/UzJWaVUxZHdWVGxwU1hSd1UxTXZlbnRITjA1Q2R6MDkjMw%3D%3D/populasi-ternak-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-ternak-di-provinsi-jawa-timur--ekor---2022.html?year=2022&utm_source=chatgpt.com
- Council of Engineers for the Energi Trasition. (2023). *Issue brief: Small-Scale Biogas for Clean Cooking-A Cost-Effective Technology to Tackle Climate Change and Achieve SDGS*.
- Jha, N. K., & Lohani, S. P. (2025). Understanding household biogas failures in Nepal: A socio-technical failure mode analysis. *Cleaner and Responsible Consumption*, 19(September), 100335. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2025.100335>
- Lohani, S. P., Shrestha, P., Jeuland, M., & Kammen, D. (2025). Sustainability and contribution of household biogas plants to energy transition in Nepal. *Scientific Reports*, 15(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-24615-2>
- Mahmud. (2015). Analisis Tekno Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Anaerobik Biogas Dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi Di Desa Galang. *Jurnal ELKHA*, 7(2).
- Mapantsela, Y., Mukumba, P., Obileke, K. C., & Lethole, N. (2024). Portable Biogas Digester: A Review. *Gases*, 4(3), 205–223. <https://doi.org/10.3390/gases4030012>
- Melas, L., Batsioulas, M., Malamakis, A., Patsios, S. I., Geroliolios, D., Alexandropoulos, E., Skoutida, S., Karkanias, C., Dedousi, A., Kritsa, M., Sossidou, E. N., & Banias, G. F. (2023). *Circular Bioeconomy Practices in the Greek Pig Sector: The Environmental Performance of Bakery Meal as Pig Feed Ingredient*.
- Mukonza, C., & Leach, M. (2025). *Scaling Up Biogas for Cooking Review of the Current State of Biogas Technologies and Their Role in Multi-Fuel Clean Cooking Strategies in Selected African and Asian Countries*. www.mecs.org.uk
- Nugroho, T. R. D. A., Firdaus, M. W., & Hayati, M. (2025). The Impact of Biogas Adoption on Household Food Security among Livestock Farmers. *Indonesian Journal of Social Research (IJSR)*, 7(2), 205–216. <https://doi.org/10.30997/ijsr.v7i2.633>
- Ramadhani, D., & Firmanda, S. A. (2026). Does Biogas Adoption Increase Food Security Insight from Livestock Farmers in East Java. *Journal of Sustainability Science and*

Management, 21(3), 527–539.

Situmeang, R., Mazancová, J., & Roubík, H. (2022). Technological, Economic, Social and Environmental Barriers to Adoption of Small-Scale Biogas Plants: Case of Indonesia. *Energies*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/en15145105>

Yudi, A., & Teguh, S. (2025). Benefits of Biogas as a Renewable Energy Source in Supporting Sustainable Development Goals (SDGs) in the KPSP Setia Kawan Region, Pasuruan, Indonesia. *Agricultural Science*, 8(2), 170–198. <https://doi.org/10.55173/agriscience.v8i2.159>