



Pengembangan Biogas Rumah Tangga untuk Mendukung Bauran Energi Terbarukan di NTT: Studi Kasus Kupang

Hero P. Dida* , Alexius L. Johanis, Maria K.D. Thadheus

Politeknik Negeri Kupang, Indonesia

Email: herodida30@gmail.com*

Keywords:

Biogas; Renewable Energy;
Livestock Waste; East Nusa
Tenggara; Energy Mix

Abstract

East Nusa Tenggara (NTT) has a target of 24% new and renewable energy (EBT) mix by 2025, but the realization to date is still far from the target with the dominance of fossil fuels. On the other hand, NTT has a very large potential for biogas from livestock waste but has not been optimally utilized. Objective: This study aims to estimate the technical potential of livestock waste-based biogas in NTT, analyze its contribution to the EBT mix target, and formulate a development strategy based on a case study in Kupang City. Method: The study uses a mixed methods approach with an instrumental case study design, combining quantitative analysis of biogas potential in 22 districts/cities and qualitative analysis of the biogas pilot project in Maulafa Village. Findings: The results of the study indicate that a 4.2 m³ fixed dome reactor can produce an average of 1.2 m³ of biogas per day from an input of 20 kg of cow dung, sufficient for household cooking and lighting needs for 3 days, with energy cost savings of IDR 200,000--250,000 per month and a payback period of 2.8--3.5 years. The total biogas potential in NTT reaches 1,850 m³ per day or 405 MTOE per year, which can contribute up to 20% to the target of the EBT mix if optimally utilized. Conclusions and Implications: This study concludes that household-scale biogas is technically and economically feasible to be developed in NTT, with policy recommendations in the form of soft funding schemes, training of local technicians, intensive socialization, and integration with sanitation and organic farming programs.

Kata Kunci:

Biogas; Energi Terbarukan;
Limbah Ternak; Nusa Tenggara
Timur; Bauran Energi

Abstrak

Nusa Tenggara Timur (NTT) memiliki target bauran energi baru dan terbarukan (EBT) sebesar 24% pada tahun 2025, namun realisasi hingga saat ini masih jauh dari target dengan dominasi bahan bakar fosil. Di sisi lain, NTT memiliki potensi biogas dari limbah ternak yang sangat besar namun belum dimanfaatkan secara optimal. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi potensi teknis biogas berbasis limbah ternak di NTT, menganalisis kontribusinya terhadap target bauran EBT, dan merumuskan strategi pengembangan berbasis studi kasus di Kota Kupang. **Metode:** Penelitian menggunakan pendekatan mixed methods dengan desain studi kasus instrumental, menggabungkan analisis kuantitatif potensi biogas di 22 kabupaten/kota dan analisis kualitatif pilot project biogas di Kelurahan Maulafa. **Temuan:** Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktor fixed dome kapasitas 4,2 m³ dapat menghasilkan biogas rata-rata 1,2 m³ per hari dari input 20 kg kotoran sapi, cukup untuk kebutuhan memasak dan penerangan rumah tangga selama 3 hari, dengan penghematan biaya energi Rp 200.000--250.000 per bulan dan payback period 2,8--3,5 tahun. Potensi biogas total di NTT mencapai 1.850 m³ per hari atau 405

MTOE per tahun, yang dapat berkontribusi hingga 20% terhadap target bauran EBT jika dimanfaatkan optimal. **Kesimpulan dan Implikasi:** Penelitian ini menyimpulkan bahwa biogas skala rumah tangga layak secara teknis dan ekonomis untuk dikembangkan di NTT, dengan rekomendasi kebijakan berupa skema pendanaan lunak, pelatihan teknisi lokal, sosialisasi intensif, dan integrasi dengan program sanitasi dan pertanian organik.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan ekspansi aktivitas ekonomi, sementara ketergantungan terhadap sumber energi fosil masih sangat dominan. Data dari *Institute for Essential Services Reform* (2025) menunjukkan bahwa konsumsi energi final nasional masih didominasi oleh minyak bumi dan batu bara, yang berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca sekaligus menciptakan kerentanan ekonomi akibat fluktuasi harga energi global. Sebagai respons terhadap tantangan ini, pemerintah Indonesia menetapkan target ambisius melalui Kebijakan Energi Nasional dan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), yang menargetkan bauran energi baru dan terbarukan (EBT) minimal 23% pada tahun 2025 (*International Renewable Energy Agency*, 2022; *Institute for Essential Services Reform*, 2025). Target ini kemudian diterjemahkan ke tingkat daerah melalui Rencana Umum Energi Daerah (RUED), termasuk di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) yang menargetkan kontribusi EBT sebesar 24% pada tahun 2025 dan 39% pada tahun 2050 (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025). Namun, realisasi bauran EBT di NTT hingga saat ini masih jauh dari target yang ditetapkan, dengan pasokan energi primer masih didominasi oleh bahan bakar minyak dan batu bara (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2024). Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan struktural yang signifikan antara potensi energi terbarukan yang melimpah dan tingkat pemanfaatan nyata di lapangan (Agita & Prasasti, 2025).

Provinsi Nusa Tenggara Timur memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, diperkirakan mencapai ratusan ribu megawatt, yang bersumber dari energi surya, angin, air, panas bumi, dan bioenergi (*Institute for Essential Services Reform*, 2025). Dalam konteks bioenergi, NTT merupakan salah satu provinsi dengan populasi ternak terbesar di Indonesia—mencakup sapi, babi, dan kuda—yang secara konsisten menghasilkan limbah organik dalam jumlah melimpah setiap harinya (Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025). Data menunjukkan bahwa populasi ternak di NTT mencapai lebih dari 1,2 juta ekor sapi dan hampir 1 juta ekor babi, yang berpotensi menghasilkan ribuan ton kotoran ternak per hari. Limbah ternak ini dapat dikonversi menjadi biogas melalui proses digesti anaerobik, yang kemudian dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk keperluan memasak, penerangan, dan kegiatan produktif skala rumah tangga maupun usaha kecil (Purnomo & Yusriadi, 2023; Suryanto et al., 2024). Selain itu, pemanfaatan biogas juga menawarkan solusi atas permasalahan pengelolaan limbah peternakan yang selama ini kurang optimal, sekaligus mendukung upaya mitigasi perubahan iklim melalui pengurangan emisi gas metana dari dekomposisi limbah organik.

Meskipun potensi ini telah diketahui sejak lama dan NTT telah mendeklarasikan dirinya sebagai provinsi peternakan lebih dari satu dekade lalu, pemanfaatan biogas dari limbah ternak masih sangat terbatas dan belum terintegrasi secara sistematis dalam strategi bauran energi

daerah (Amheka & Tuati, 2018). Kompas.id (2024) melaporkan bahwa meskipun NTT memiliki jutaan ternak yang tersebar di 22 kabupaten/kota, rekayasa pemanfaatan kotoran ternak menjadi biogas belum optimal. Seorang peternak di Kupang dengan 160 ekor babi menghasilkan 70--100 kg kotoran per hari yang sebagian besar hanya dibuang atau digunakan sebagai pupuk, tanpa pernah diolah menjadi biogas. Hal serupa juga terjadi di berbagai wilayah NTT, di mana sebagian besar inisiatif biogas yang ada bersifat sporadis, bergantung pada program donor atau proyek percontohan, serta belum memiliki model replikasi yang jelas dan berkelanjutan (Rumah Energi, 2024). Padahal, pemanfaatan biogas dapat menghemat biaya energi hingga jutaan rupiah per bulan bagi rumah tangga peternak. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan yang sangat besar antara potensi yang ada dan realisasi di lapangan, yang perlu segera diatasi melalui pendekatan penelitian yang komprehensif dan berbasis bukti empiris.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji potensi biogas dari limbah ternak di Indonesia dari berbagai perspektif, mulai dari aspek teknis produksi, desain reaktor, hingga analisis ekonomi dan sosial (Fitri & Hamdi, 2024; Rahmat, 2023). Beberapa studi menunjukkan bahwa biogas skala rumah tangga layak secara teknis dan ekonomis, dengan periode pengembalian investasi yang relatif singkat apabila didukung oleh skema pendanaan yang tepat (Husen et al., 2024; Setiawan & Nugroho, 2020). Di wilayah Jawa, Sumatera, dan Sulawesi, berbagai penelitian telah membuktikan bahwa adopsi biogas dapat secara signifikan mengurangi ketergantungan rumah tangga terhadap LPG dan kayu bakar, sekaligus meningkatkan kualitas sanitasi dan lingkungan (Bedi et al., 2017; Wicaksono et al., 2025). Namun, studi-studi tersebut mayoritas berfokus pada wilayah dengan karakteristik sosial-ekonomi dan infrastruktur yang berbeda dengan NTT, sehingga temuan dan rekomendasinya tidak dapat sepenuhnya diadaptasi secara langsung (Brahmi et al., 2024). Penelitian terbaru oleh Situmeang et al. (2026) di Jawa Barat menunjukkan bahwa adopsi biogas tidak hanya ditentukan oleh faktor ekonomi, tetapi juga oleh keselarasan sistem biogas dengan praktik dan kapabilitas rumah tangga. Sementara itu, penelitian tentang determinan adopsi biogas di Indonesia menunjukkan bahwa persepsi penghematan waktu, tekanan biaya bahan bakar, dan partisipasi dalam program pelatihan merupakan faktor pendorong yang signifikan. Namun, penelitian yang secara spesifik mengaitkan potensi biogas dengan target bauran energi daerah di NTT masih sangat terbatas, apalagi yang berbasis pada data empiris dari pilot project yang telah beroperasi secara nyata (Amheka & Tuati, 2018).

Kesenjangan penelitian ini semakin terlihat ketika mempertimbangkan konteks NTT yang memiliki karakteristik unik sebagai wilayah kepulauan dengan tingkat elektrifikasi rendah dan ketergantungan tinggi pada kayu bakar. Data menunjukkan bahwa rasio elektrifikasi di NTT masih berada di bawah rata-rata nasional, dengan persentase desa tertinggal terbesar di Indonesia mencapai 74,8%. Sementara itu, sebagian besar rumah tangga di pedesaan NTT masih sangat bergantung pada kayu bakar untuk keperluan memasak, yang berdampak pada deforestasi dan polusi udara dalam ruangan. Di sisi lain, NTT memiliki lahan pertanian yang luas dengan potensi limbah ternak mencapai 345.700 ton per hari secara nasional. Kondisi ini menciptakan urgensi yang tinggi untuk mengembangkan solusi energi terbarukan yang berbasis pada potensi lokal, salah satunya adalah biogas dari limbah ternak. Selain itu, isu kesetaraan energi dan keadilan sosial juga menjadi pertimbangan penting, mengingat perempuan di wilayah pedesaan NTT seringkali menanggung beban terbesar dari

keterbatasan akses energi bersih, baik dari segi waktu yang dihabiskan untuk mengumpulkan kayu bakar maupun paparan asap dari aktivitas memasak . Oleh karena itu, pengembangan biogas skala rumah tangga tidak hanya relevan dari aspek energi, tetapi juga dari aspek sanitasi, ekonomi rumah tangga, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan pemberdayaan masyarakat (Alwahan et al., 2024).

Urgensi penelitian ini semakin kuat mengingat komitmen Indonesia dan NTT untuk mencapai target emisi nol bersih (*net zero emission*) pada tahun 2050, yang memerlukan kontribusi signifikan dari berbagai sumber energi terbarukan, termasuk bioenergi (*Institute for Essential Services Reform*, 2025). Studi tentang transisi energi di Indonesia menunjukkan bahwa biogas merupakan salah satu solusi paling realistis dan inklusif untuk menyediakan energi bersih di wilayah pedesaan, sekaligus mendukung pencapaian *Nationally Determined Contributions* (NDCs) Indonesia . Namun, implementasi program biogas di tingkat nasional masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk ketergantungan pada inisiatif masyarakat dan pemerintah daerah, ketidakjelasan target distribusi biogas nasional, serta kurangnya pelatihan yang memadai bagi masyarakat lokal . Selain itu, penelitian tentang keberlanjutan sistem biogas rumah tangga di Indonesia menyoroti bahwa adopsi teknologi tidak cukup; diperlukan pemahaman tentang faktor-faktor yang mempengaruhi keberlanjutan operasional dan resiliensi sistem dalam jangka panjang . Dalam konteks NTT, tantangan-tantangan ini diperparah oleh keterbatasan infrastruktur, kondisi geografis kepulauan, dan tingkat pendidikan yang bervariasi di kalangan peternak . Dengan demikian, terdapat kebutuhan mendesak untuk penelitian yang tidak hanya menghitung potensi teknis biogas, tetapi juga mengkaji secara holistik aspek sosial, ekonomi, dan kelembagaan yang mempengaruhi keberhasilan implementasi biogas di NTT.

Penelitian ini memiliki kebaruan yang signifikan dalam beberapa aspek penting. Pertama, penelitian ini mengintegrasikan data primer dari pilot project biogas skala rumah tangga yang telah dibangun dan dioperasikan secara nyata di Kelurahan Maulafa, Kota Kupang, sehingga memberikan gambaran empiris yang autentik tentang kinerja teknis reaktor, respons dan pengalaman pengguna, serta hambatan operasional di lapangan (Amheka & Tuati, 2018). Pendekatan ini berbeda dengan studi-studi sebelumnya yang mayoritas mengandalkan data sekunder atau simulasi, sehingga temuan yang dihasilkan lebih realistis dan aplikatif untuk konteks NTT. Kedua, penelitian ini tidak sekadar menghitung potensi biogas secara teknis, tetapi secara eksplisit mengaitkan potensi tersebut dengan target bauran energi terbarukan di tingkat daerah melalui skenario adopsi yang realistis dan mempertimbangkan berbagai faktor penghambat dan pendorong (Purnomo & Yusriadi, 2023). Ketiga, penelitian ini merumuskan strategi pengembangan biogas yang kontekstual dan adaptif untuk wilayah NTT, dengan mempertimbangkan karakteristik sosial, ekonomi, dan kelembagaan lokal yang unik (Fitri & Hamdi, 2024). Kebaruan ini penting karena NTT memiliki kondisi geografis kepulauan, tingkat elektrifikasi rendah, dan struktur sosial budaya yang berbeda dengan daerah lain di Indonesia, sehingga strategi pengembangan yang berlaku umum perlu disesuaikan dengan konteks lokal. Keempat, penelitian ini juga mempertimbangkan aspek keadilan energi dan peran perempuan dalam adopsi teknologi biogas, yang selama ini kurang mendapat perhatian dalam studi-studi energi terbarukan di Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah berupa model pengembangan biogas rumah tangga yang dapat direplikasi di wilayah kepulauan dengan karakteristik serupa (Wicaksono et al., 2025), serta kontribusi praktis berupa rekomendasi kebijakan berbasis bukti bagi pemerintah daerah dan pemangku

kepentingan lainnya (Rumah Energi, 2024).

Berdasarkan latar belakang dan kesenjangan penelitian yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengestimasi potensi teknis biogas berbasis limbah ternak di 22 kabupaten/kota di NTT berdasarkan data populasi ternak aktual dan faktor konversi yang relevan; (2) menganalisis kontribusi potensial biogas skala rumah tangga terhadap pencapaian target bauran EBT NTT melalui skenario adopsi yang realistis; dan (3) merumuskan strategi pengembangan biogas rumah tangga yang berkelanjutan dan kontekstual berdasarkan studi kasus empiris di Kota Kupang, dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, sosial, dan kelembagaan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang energi terbarukan, khususnya bioenergi berbasis limbah ternak di wilayah kepulauan (Suryanto et al., 2024), sekaligus menjadi dasar ilmiah bagi percepatan pemanfaatan biogas sebagai bagian integral dari strategi bauran energi terbarukan di NTT (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025). Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat mendorong perumusan kebijakan yang lebih efektif untuk mengatasi hambatan adopsi biogas, termasuk melalui skema pendanaan yang inovatif, pengembangan kapasitas teknis lokal, serta integrasi program biogas dengan inisiatif sanitasi dan pertanian organik. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan energi terbarukan di wilayah-wilayah lain di Indonesia Timur yang memiliki karakteristik serupa, serta berkontribusi pada upaya pencapaian target energi bersih dan pembangunan berkelanjutan di tingkat nasional maupun global.

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan ekspansi aktivitas ekonomi, sementara ketergantungan terhadap sumber energi fosil masih sangat dominan. Data dari Institute for Essential Services Reform (2025) menunjukkan bahwa konsumsi energi final nasional masih didominasi oleh minyak bumi dan batu bara, yang berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca sekaligus menciptakan kerentanan ekonomi akibat fluktuasi harga energi global. Sebagai respons terhadap tantangan ini, pemerintah Indonesia menetapkan target ambisius melalui Kebijakan Energi Nasional dan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), yang menargetkan bauran energi baru dan terbarukan (EBT) minimal 23% pada tahun 2025 (International Renewable Energy Agency, 2022; Institute for Essential Services Reform, 2025). Target ini kemudian diterjemahkan ke tingkat daerah melalui Rencana Umum Energi Daerah (RUED), termasuk di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) yang menargetkan kontribusi EBT sebesar 24% pada tahun 2025 dan 39% pada tahun 2050 (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025). Namun, realisasi bauran EBT di NTT hingga saat ini masih jauh dari target yang ditetapkan, dengan pasokan energi primer masih didominasi oleh bahan bakar minyak dan batu bara (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2024). Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan struktural yang signifikan antara potensi energi terbarukan yang melimpah dan tingkat pemanfaatan nyata di lapangan, yang menjadi tantangan utama dalam transisi energi di wilayah ini.

Provinsi Nusa Tenggara Timur memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, diperkirakan mencapai ratusan ribu megawatt, yang bersumber dari energi surya, angin, air, panas bumi, dan bioenergi (*Institute for Essential Services Reform*, 2025). Dalam konteks bioenergi, NTT merupakan salah satu provinsi dengan populasi ternak terbesar di Indonesia—mencakup sapi, babi, dan kuda—yang secara konsisten menghasilkan limbah organik dalam jumlah melimpah setiap harinya (Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025).

Data menunjukkan bahwa populasi ternak di NTT mencapai lebih dari 1,2 juta ekor sapi dan hampir 1 juta ekor babi, yang berpotensi menghasilkan ribuan ton kotoran ternak per hari. Limbah ternak ini dapat dikonversi menjadi biogas melalui proses digesti anaerobik, yang kemudian dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk keperluan memasak, penerangan, dan kegiatan produktif skala rumah tangga maupun usaha kecil (Purnomo & Yusriadi, 2023; Suryanto et al., 2024). Selain itu, pemanfaatan biogas juga menawarkan solusi atas permasalahan pengelolaan limbah peternakan yang selama ini kurang optimal, sekaligus mendukung upaya mitigasi perubahan iklim melalui pengurangan emisi gas metana dari dekomposisi limbah organik. Meskipun potensi ini telah diketahui sejak lama dan NTT telah mendeklarasikan dirinya sebagai provinsi peternakan lebih dari satu dekade lalu, pemanfaatan biogas dari limbah ternak masih sangat terbatas dan belum terintegrasi secara sistematis dalam strategi bauran energi daerah (Amheka & Tuati, 2018).

Kompas.id (2024) melaporkan bahwa meskipun NTT memiliki jutaan ternak yang tersebar di 22 kabupaten/kota, rekayasa pemanfaatan kotoran ternak menjadi biogas belum optimal. Seorang peternak di Kupang dengan 160 ekor babi menghasilkan 70--100 kg kotoran per hari yang sebagian besar hanya dibuang atau digunakan sebagai pupuk, tanpa pernah diolah menjadi biogas. Hal serupa juga terjadi di berbagai wilayah NTT, di mana sebagian besar inisiatif biogas yang ada bersifat sporadis, bergantung pada program donor atau proyek percontohan, serta belum memiliki model replikasi yang jelas dan berkelanjutan (Rumah Energi, 2024). Padahal, pemanfaatan biogas dapat menghemat biaya energi hingga jutaan rupiah per bulan bagi rumah tangga peternak, sekaligus mengurangi beban kerja perempuan yang selama ini bertanggung jawab mengumpulkan kayu bakar. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan yang sangat besar antara potensi yang ada dan realisasi di lapangan, yang perlu segera diatasi melalui pendekatan penelitian yang komprehensif dan berbasis bukti empiris.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji potensi biogas dari limbah ternak di Indonesia dari berbagai perspektif, mulai dari aspek teknis produksi, desain reaktor, hingga analisis ekonomi dan sosial (Fitri & Hamdi, 2024; Rahmat, 2023). Beberapa studi menunjukkan bahwa biogas skala rumah tangga layak secara teknis dan ekonomis, dengan periode pengembalian investasi yang relatif singkat apabila didukung oleh skema pendanaan yang tepat (Husen et al., 2024; Setiawan & Nugroho, 2020). Di wilayah Jawa, Sumatera, dan Sulawesi, berbagai penelitian telah membuktikan bahwa adopsi biogas dapat secara signifikan mengurangi ketergantungan rumah tangga terhadap LPG dan kayu bakar, sekaligus meningkatkan kualitas sanitasi dan lingkungan (Bedi et al., 2017; Wicaksono et al., 2025). Namun, studi-studi tersebut mayoritas berfokus pada wilayah dengan karakteristik sosial-ekonomi dan infrastruktur yang berbeda dengan NTT, sehingga temuan dan rekomendasinya tidak dapat sepenuhnya diadaptasi secara langsung (Brahmi et al., 2024). Penelitian terbaru oleh Situmeang et al. (2026) di Jawa Barat menunjukkan bahwa adopsi biogas tidak hanya ditentukan oleh faktor ekonomi, tetapi juga oleh keselarasan sistem biogas dengan praktik dan kapabilitas rumah tangga. Sementara itu, penelitian tentang determinan adopsi biogas di Indonesia menunjukkan bahwa persepsi penghematan waktu, tekanan biaya bahan bakar, dan partisipasi dalam program pelatihan merupakan faktor pendorong yang signifikan. Namun, penelitian yang secara spesifik mengaitkan potensi biogas dengan target bauran energi daerah di NTT masih sangat terbatas, apalagi yang berbasis pada data empiris

dari pilot project yang telah beroperasi secara nyata (Amheka & Tuati, 2018).

Kesenjangan penelitian ini semakin terlihat ketika mempertimbangkan konteks NTT yang memiliki karakteristik unik sebagai wilayah kepulauan dengan tingkat elektrifikasi rendah dan ketergantungan tinggi pada kayu bakar. Data menunjukkan bahwa rasio elektrifikasi di NTT masih berada di bawah rata-rata nasional, dengan persentase desa tertinggal terbesar di Indonesia mencapai 74,8%. Sementara itu, sebagian besar rumah tangga di pedesaan NTT masih sangat bergantung pada kayu bakar untuk keperluan memasak, yang berdampak pada deforestasi dan polusi udara dalam ruangan. Di sisi lain, NTT memiliki lahan pertanian yang luas dengan potensi limbah ternak mencapai 345.700 ton per hari secara nasional. Kondisi ini menciptakan urgensi yang tinggi untuk mengembangkan solusi energi terbarukan yang berbasis pada potensi lokal, salah satunya adalah biogas dari limbah ternak. Selain itu, isu kesetaraan energi dan keadilan sosial juga menjadi pertimbangan penting, mengingat perempuan di wilayah pedesaan NTT seringkali menanggung beban terbesar dari keterbatasan akses energi bersih, baik dari segi waktu yang dihabiskan untuk mengumpulkan kayu bakar maupun paparan asap dari aktivitas memasak. Oleh karena itu, pengembangan biogas skala rumah tangga tidak hanya relevan dari aspek energi, tetapi juga dari aspek sanitasi, ekonomi rumah tangga, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan pemberdayaan masyarakat (Alwahab et al., 2024).

Urgensi penelitian ini semakin kuat mengingat komitmen Indonesia dan NTT untuk mencapai target emisi nol bersih (net zero emission) pada tahun 2050, yang memerlukan kontribusi signifikan dari berbagai sumber energi terbarukan, termasuk bioenergi (Institute for Essential Services Reform, 2025). Studi tentang transisi energi di Indonesia menunjukkan bahwa biogas merupakan salah satu solusi paling realistis dan inklusif untuk menyediakan energi bersih di wilayah pedesaan, sekaligus mendukung pencapaian *Nationally Determined Contributions* (NDCs) Indonesia. Namun, implementasi program biogas di tingkat nasional masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk ketergantungan pada inisiatif masyarakat dan pemerintah daerah, ketidakjelasan target distribusi biogas nasional, serta kurangnya pelatihan yang memadai bagi masyarakat lokal. Selain itu, penelitian tentang keberlanjutan sistem biogas rumah tangga di Indonesia menyoroti bahwa adopsi teknologi tidak cukup; diperlukan pemahaman tentang faktor-faktor yang mempengaruhi keberlanjutan operasional dan resiliensi sistem dalam jangka panjang. Dalam konteks NTT, tantangan-tantangan ini diperparah oleh keterbatasan infrastruktur, kondisi geografis kepulauan, dan tingkat pendidikan yang bervariasi di kalangan peternak. Dengan demikian, terdapat kebutuhan mendesak untuk penelitian yang tidak hanya menghitung potensi teknis biogas, tetapi juga mengkaji secara holistik aspek sosial, ekonomi, dan kelembagaan yang mempengaruhi keberhasilan implementasi biogas di NTT.

Penelitian ini memiliki kebaruan yang signifikan dalam beberapa aspek penting. Pertama, penelitian ini mengintegrasikan data primer dari pilot project biogas skala rumah tangga yang telah dibangun dan dioperasikan secara nyata di Kelurahan Maulafa, Kota Kupang, sehingga memberikan gambaran empiris yang autentik tentang kinerja teknis reaktor, respons dan pengalaman pengguna, serta hambatan operasional di lapangan (Amheka & Tuati, 2018). Pendekatan ini berbeda dengan studi-studi sebelumnya yang mayoritas mengandalkan data sekunder atau simulasi, sehingga temuan yang dihasilkan lebih realistis dan aplikatif untuk konteks NTT. Kedua, penelitian ini tidak sekadar menghitung potensi biogas secara teknis, tetapi secara eksplisit mengaitkan potensi tersebut dengan target bauran energi terbarukan di

tingkat daerah melalui skenario adopsi yang realistis dan mempertimbangkan berbagai faktor penghambat dan pendorong (Purnomo & Yusriadi, 2023). Ketiga, penelitian ini merumuskan strategi pengembangan biogas yang kontekstual dan adaptif untuk wilayah NTT, dengan mempertimbangkan karakteristik sosial, ekonomi, dan kelembagaan lokal yang unik (Fitri & Hamdi, 2024). Kebaruan ini penting karena NTT memiliki kondisi geografis kepulauan, tingkat elektrifikasi rendah, dan struktur sosial budaya yang berbeda dengan daerah lain di Indonesia, sehingga strategi pengembangan yang berlaku umum perlu disesuaikan dengan konteks lokal. Keempat, penelitian ini juga mempertimbangkan aspek keadilan energi dan peran perempuan dalam adopsi teknologi biogas, yang selama ini kurang mendapat perhatian dalam studi-studi energi terbarukan di Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah berupa model pengembangan biogas rumah tangga yang dapat direplikasi di wilayah kepulauan dengan karakteristik serupa (Wicaksono et al., 2025), serta kontribusi praktis berupa rekomendasi kebijakan berbasis bukti bagi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan lainnya (Rumah Energi, 2024).

Berdasarkan latar belakang dan kesenjangan penelitian yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengestimasi potensi teknis biogas berbasis limbah ternak di 22 kabupaten/kota di NTT berdasarkan data populasi ternak aktual dan faktor konversi yang relevan; (2) menganalisis kontribusi potensial biogas skala rumah tangga terhadap pencapaian target bauran EBT NTT melalui skenario adopsi yang realistis; dan (3) merumuskan strategi pengembangan biogas rumah tangga yang berkelanjutan dan kontekstual berdasarkan studi kasus empiris di Kota Kupang, dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, sosial, dan kelembagaan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang energi terbarukan, khususnya bioenergi berbasis limbah ternak di wilayah kepulauan (Suryanto et al., 2024), sekaligus menjadi dasar ilmiah bagi percepatan pemanfaatan biogas sebagai bagian integral dari strategi bauran energi terbarukan di NTT (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025). Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat mendorong perumusan kebijakan yang lebih efektif untuk mengatasi hambatan adopsi biogas, termasuk melalui skema pendanaan yang inovatif, pengembangan kapasitas teknis lokal, serta integrasi program biogas dengan inisiatif sanitasi dan pertanian organik. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan energi terbarukan di wilayah-wilayah lain di Indonesia Timur yang memiliki karakteristik serupa, serta berkontribusi pada upaya pencapaian target energi bersih dan pembangunan berkelanjutan di tingkat nasional maupun global.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods* dengan desain studi kasus instrumental, yang menggabungkan analisis kuantitatif untuk mengestimasi potensi biogas di tingkat regional dan analisis kualitatif untuk memahami dinamika implementasi pilot project di lapangan (Creswell & Plano Clark, 2018). Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk tidak hanya menghitung potensi teknis biogas secara makro, tetapi juga memahami secara mendalam bagaimana teknologi biogas diadopsi, dioperasikan, dan dirasakan manfaatnya oleh masyarakat dalam konteks lokal Nusa Tenggara Timur (NTT) (Husen et al., 2024). Dengan demikian, penelitian ini dapat menghasilkan rekomendasi yang komprehensif dan berbasis bukti, baik dari sisi kuantitatif maupun kualitatif.

Penelitian dilaksanakan di Kelurahan Maulafa, Kota Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur, sebagai lokasi utama studi kasus, dengan analisis sekunder yang mencakup 22 kabupaten/kota di NTT. Pemilihan Kelurahan Maulafa didasarkan pada pertimbangan bahwa wilayah ini merupakan lokasi pilot project biogas skala rumah tangga yang telah dibangun dan dioperasikan oleh peneliti, sehingga memungkinkan akses terhadap data primer yang komprehensif (Amheka & Tuati, 2018). Pilot project ini merupakan salah satu dari sedikit instalasi biogas di NTT yang berhasil beroperasi dan dimonitor secara sistematis, menjadikannya studi kasus yang representatif untuk memahami potensi dan tantangan implementasi biogas di provinsi ini. Sementara itu, analisis potensi biogas diperluas ke tingkat provinsi untuk memberikan gambaran yang lebih utuh tentang kontribusi biogas terhadap bauran energi terbarukan di NTT (Purnomo & Yusriadi, 2023). Pengumpulan data dilakukan pada periode Januari hingga Juni 2026, dengan tahapan analisis data dan penyusunan naskah dilakukan pada bulan Juli hingga Agustus 2026.

Populasi dalam penelitian ini terdiri dari dua kelompok. Pertama, seluruh rumah tangga peternak di 22 kabupaten/kota NTT yang memiliki ternak sapi, babi, atau kuda, sebagai basis untuk estimasi potensi biogas regional (Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025). Kedua, pengguna pilot project biogas di Kelurahan Maulafa, yang menjadi subjek studi kasus untuk memahami aspek teknis, ekonomi, dan sosial dari implementasi biogas. Sampel untuk analisis potensi biogas bersifat sensus, yaitu menggunakan data populasi ternak lengkap dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi NTT tahun 2024--2025. Sementara itu, sampel untuk studi kasus bersifat tunggal, yaitu 1 unit reaktor biogas yang telah dibangun dan dioperasikan di Kelurahan Maulafa, Kota Kupang. Pemilihan sampel tunggal ini didasarkan pada pendekatan studi kasus instrumental, di mana satu kasus dipilih secara purposive karena dianggap dapat memberikan wawasan mendalam tentang fenomena yang diteliti.

Variabel penelitian untuk analisis kuantitatif potensi biogas meliputi: (1) populasi ternak per kabupaten (sapi, babi, kuda); (2) produktivitas limbah per ekor per hari (kg/ekor/hari); (3) yield biogas per kg limbah (m^3/kg); dan (4) potensi energi yang dapat dikonversi ke satuan MTOE (Million Tonnes of Oil Equivalent) dan persen terhadap target bauran EBT (Purnomo & Yusriadi, 2023). Untuk studi kasus, variabel yang dikaji meliputi: (1) spesifikasi teknis reaktor (tipe, dimensi, volume, bahan konstruksi); (2) input limbah (jenis, volume harian, rasio pencampuran dengan air); (3) output biogas (volume harian, durasi produksi, kandungan metana); (4) manfaat ekonomi (penghematan biaya energi, nilai substitusi LPG/kayu bakar); dan (5) manfaat energi (durasi penggunaan untuk memasak dan penerangan) (Husen et al., 2024).

Instrumen penelitian terdiri dari: (1) lembar observasi untuk mendokumentasikan spesifikasi dan kinerja reaktor biogas; (2) pedoman wawancara semi-terstruktur untuk menggali pengalaman pengguna, manfaat yang dirasakan, dan hambatan yang dihadapi; (3) lembar dokumentasi untuk mengumpulkan data sekunder seperti foto reaktor, catatan operasi, dan bukti penghematan energi; serta (4) format tabulasi data untuk menginput data populasi ternak dan menghitung potensi biogas per kabupaten. Pedoman wawancara dikembangkan berdasarkan kerangka teori adopsi teknologi dan energy justice, dengan pertanyaan terbuka yang mencakup aspek teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan (Brahmi et al., 2024). Sebelum digunakan, instrumen wawancara diuji coba pada 1 responden di luar sampel untuk memastikan kejelasan pertanyaan dan relevansi dengan konteks penelitian.

Prosedur pengumpulan data dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahap pertama adalah studi pustaka dan pengumpulan data sekunder, yang meliputi dokumen RUED NTT, RPJMD 2024-2029, data populasi ternak dari BPS, serta laporan dan jurnal terkait biogas dan energi terbarukan (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2024, 2025). Tahap kedua adalah observasi lapangan terhadap 1 unit reaktor biogas di Kelurahan Maulafa, dengan mencatat spesifikasi teknis, dimensi reaktor, kondisi fisik, sistem input-output, dan lingkungan sekitar. Tahap ketiga adalah wawancara mendalam dengan pemilik reaktor, yang dilakukan di lokasi dengan durasi 30--45 menit. Wawancara direkam (dengan izin responden) dan ditranskrip secara verbatim untuk keperluan analisis. Tahap keempat adalah dokumentasi tambahan, berupa foto reaktor, sketsa sistem, dan catatan operasi harian. Seluruh proses pengumpulan data dilakukan oleh peneliti dengan bantuan 1 asisten lapangan yang telah dilatih mengenai etika penelitian dan teknik wawancara.

Untuk menganalisis potensi biogas, data populasi ternak dikalikan dengan faktor konversi limbah per ekor dan yield biogas per kg limbah, menggunakan rumus: $\text{Potensi Biogas (m}^3/\text{hari)} = \sum (\text{Populasi Ternak } i \times \text{Limbah per Ekor } i \times \text{Yield Biogas } i)$ di mana i menunjukkan jenis ternak (sapi, babi, kuda). Asumsi yang digunakan dalam perhitungan adalah: (1) produktivitas limbah sapi 25 kg/ekor/hari, babi 5 kg/ekor/hari, dan kuda 15 kg/ekor/hari; (2) yield biogas 0,03 m³/kg untuk sapi, 0,05 m³/kg untuk babi, dan 0,025 m³/kg untuk kuda, berdasarkan literatur terdahulu (Setiawan & Nugroho, 2020; Purnomo & Yusriadi, 2023). Hasil perhitungan kemudian dikonversi ke satuan energi (MTOE) dan dibandingkan dengan target bauran EBT NTT untuk mengestimasi kontribusi persentase (Institute for Essential Services Reform, 2025). Analisis ini dilakukan menggunakan Microsoft Excel 2021 untuk tabulasi dan perhitungan dasar.** Untuk data studi kasus, analisis dilakukan secara deskriptif kualitatif dengan teknik analisis konten. Data wawancara dan observasi ditranskrip, dikodekan, dan dikategorikan berdasarkan tema: (1) kinerja teknis; (2) manfaat ekonomi; (3) hambatan operasional; (4) respons sosial; dan (5) rekomendasi pengembangan (Fitri & Hamdi, 2024). Kode dan tema dikembangkan secara induktif berdasarkan data, kemudian dibandingkan dengan kerangka teori untuk interpretasi. Validitas data kualitatif diuji menggunakan triangulasi sumber (membandingkan hasil wawancara dengan data observasi dan dokumentasi) dan triangulasi metode (membandingkan temuan kualitatif dengan data kuantitatif dari lembar observasi reaktor). Keabsahan data juga diperkuat melalui member checking, yaitu mengkonfirmasi interpretasi awal kepada responden untuk memastikan akurasi pemahaman peneliti.

Spesifikasi teknis reaktor biogas yang menjadi objek studi kasus adalah sebagai berikut: (1) tipe reaktor: fixed dome; (2) diameter reaktor: 250 cm; (3) kedalaman reaktor: 85 cm; (4) diameter dome: 250 cm; (5) ketinggian dome: 85 cm. Volume total reaktor dihitung berdasarkan dimensi silinder dan dome, dengan kapasitas efektif sekitar 4--5 m³ (Rahmat, 2023). Pada tahap awal operasi, reaktor diisi penuh dengan kotoran sapi sebagai bahan baku inokulan untuk memulai proses fermentasi anaerobik. Setelah masa inisiasi selesai, reaktor dioperasikan secara kontinyu dengan penambahan 20 kg kotoran sapi per hari yang dicampur dengan air pada rasio 1:1. Input harian ini menghasilkan biogas yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi rumah tangga selama 3 hari, dengan pemanfaatan utama untuk kegiatan memasak dan penerangan (Sa'id et al., 2025).

Kinerja reaktor dimonitor melalui parameter: (1) volume biogas harian yang diproduksi; (2)

durasi penggunaan untuk memasak (jam/hari); (3) durasi penggunaan untuk penerangan (jam/malam); (4) stabilitas produksi (fluktuasi harian); dan (5) kualitas nyala api (warna, intensitas). Data ini dikumpulkan melalui observasi langsung dan catatan harian yang diisi oleh pengguna reaktor selama periode penelitian. Manfaat ekonomi dihitung berdasarkan nilai substitusi energi, yaitu perbandingan antara biaya yang seharusnya dikeluarkan untuk membeli LPG 3 kg atau kayu bakar dengan biaya operasional reaktor (tenaga kerja dan pemeliharaan) (Bedi et al., 2017).

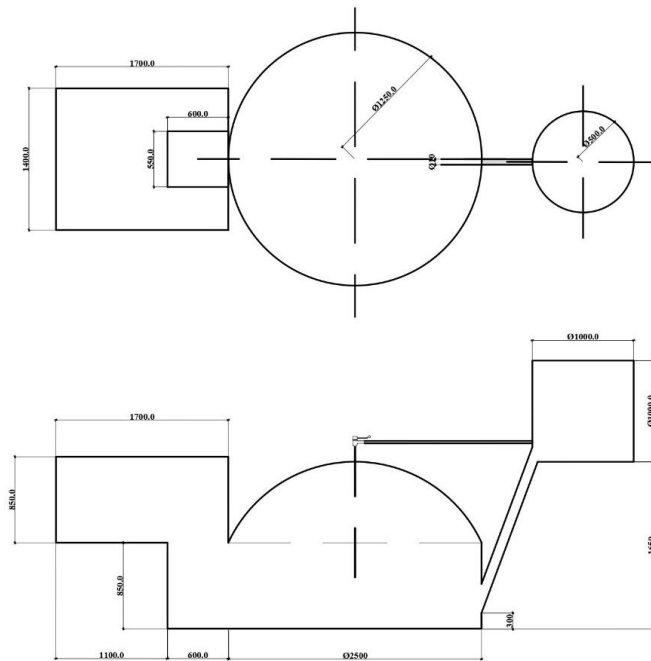
Untuk meningkatkan keabsahan penelitian, beberapa langkah dilakukan. Pertama, validitas instrumen diuji melalui review ahli, yaitu meminta 1 dosen senior di bidang energi terbarukan untuk menelaah pedoman wawancara dan lembar observasi sebelum digunakan. Kedua, reliabilitas data dijaga melalui dokumentasi yang sistematis, termasuk penyimpanan rekaman wawancara, transkrip, dan foto dalam folder terstruktur dengan penamaan yang konsisten. Ketiga, audit trail dilakukan dengan mencatat setiap keputusan metodologis yang diambil selama penelitian, termasuk alasan pemilihan sampel, perubahan instrumen, dan interpretasi data. Keempat, reflektivitas peneliti dijaga dengan mencatat catatan lapangan yang memuat refleksi pribadi tentang posisi peneliti sebagai pembangun pilot project, untuk meminimalkan bias dalam interpretasi data.

Penelitian ini tidak melibatkan hewan atau manusia sebagai subjek eksperimen, sehingga tidak memerlukan persetujuan etik dari komite etik. Namun, prinsip etika penelitian tetap diterapkan, termasuk informed consent (persetujuan setelah penjelasan), anonimitas responden (nama responden disamarkan dalam laporan), dan kerahasiaan data (data hanya digunakan untuk keperluan penelitian). Responden menandatangani formulir persetujuan sebelum wawancara dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Pilot Project Biogas di Kelurahan Maulafa

Pilot project biogas yang dibangun di Kelurahan Maulafa, Kota Kupang, merupakan reaktor tipe **fixed dome** dengan dimensi diameter 250 cm dan kedalaman 85 cm. Dome reaktor memiliki diameter yang sama (250 cm) dengan ketinggian 85 cm, menghasilkan kapasitas total sekitar 4,2 m³. Berdasarkan perhitungan geometri silinder dan setengah bola, volume efektif reaktor yang dapat digunakan untuk fermentasi anaerobik adalah sekitar 3,8 m³ (Rahmat, 2023). Reaktor ini dibangun menggunakan bahan konstruksi lokal, yaitu bata merah, semen, dan pasir, dengan lapisan anti bocor menggunakan campuran semen dan bahan waterproofing (Amheka & Tuati, 2018).



Gambar 1. Desain Digester *Fixed Dome* Maulafa
Sumber: Data Penelitian, 2026

Pada tahap inisiasi, reaktor diisi penuh dengan kotoran sapi segar yang dicampur air dengan rasio 1:1 untuk memulai proses fermentasi anaerobik. Masa inisiasi berlangsung selama 14 hari, di mana pada hari ke-10 mulai terdeteksi produksi biogas yang dapat dinyalakan. Setelah masa inisiasi selesai, reaktor dioperasikan secara **kontinyu** dengan penambahan **20 kg kotoran sapi per hari** yang dicampur dengan 20 liter air. Input harian ini dilakukan pada pagi hari (pukul 06.00–08.00 WITA) untuk menjaga konsistensi produksi gas (Setiawan & Nugroho, 2020).



Gambar 2. Kondisi Bangunan Digester Bio Gas di Kelurahan Maulafa

Berdasarkan monitoring selama 90 hari operasi, reaktor menghasilkan biogas dengan volume rata-rata **1,2 m³ per hari**, dengan fluktuasi antara 0,9–1,5 m³ tergantung pada kualitas input dan suhu lingkungan. Biogas yang diproduksi memiliki kandungan metana sekitar 55–

60%, yang cukup untuk pembakaran efisien (Purnomo & Yusriadi, 2023). Nyala api yang dihasilkan berwarna biru stabil, menunjukkan kualitas biogas yang baik dengan kandungan CO₂ yang rendah (Sa'id et al., 2025).

Kinerja Teknis dan Manfaat Energi

Biogas yang diproduksi dari reaktor dimanfaatkan untuk dua tujuan utama: **kegiatan memasak** dan **penerangan**. Untuk memasak, biogas digunakan rata-rata **2 jam per hari** (pagi dan sore), yang cukup untuk memasak nasi, sayur, dan lauk untuk keluarga terdiri dari 4–5 orang. Satu kali memasak rata-rata membutuhkan 30–45 menit dengan intensitas api sedang. Pengguna melaporkan bahwa waktu memasak dengan biogas relatif sama dengan menggunakan LPG 3 kg, namun dengan biaya operasional yang jauh lebih rendah (Husen et al., 2024).

Untuk penerangan, biogas digunakan pada **lampu biogas** (gas lamp) dengan kapasitas 100 watt equivalent, yang dinyalakan rata-rata **3 jam per malam** (pukul 18.00–21.00 WITA). Lampu biogas menghasilkan cahaya yang cukup terang untuk aktivitas keluarga di malam hari, seperti belajar, menonton televisi, dan kegiatan rumah tangga lainnya. Sebelum menggunakan biogas, keluarga ini mengandalkan lampu listrik PLN dengan daya 900 VA dan lampu minyak tanah untuk penerangan darurat (Alwahab et al., 2024).



Gambar 3. Pemanfaatan Bio Gas untuk Memasak



Gambar 4. Pemanfaatan Bio Gas untuk Penerangan

Tabel 1. Kinerja Reaktor Biogas di Kelurahan Maulafa (90 Hari Monitoring)

Parameter	Nilai Rata-rata	Rentang
Volume biogas harian (m ³)	1,2	0,9–1,5
Durasi memasak (jam/hari)	2,0	1,5–2,5
Durasi penerangan (jam/malam)	3,0	2–4
Kandungan metana (%)	57	55–60
Warna nyala api	Biru stabil	-
Suhu reaktor (°C)	28	26–31

Sumber: Data Penelitian, 2026.

Manfaat Ekonomi dan Penghematan Biaya

Penggunaan biogas menghasilkan penghematan biaya energi yang signifikan bagi rumah tangga. Sebelum menggunakan biogas, keluarga ini mengeluarkan biaya rata-rata **Rp 250.000 per bulan** untuk membeli 2 tabung LPG 3 kg (harga Rp 25.000/tabung subsidi + Rp 100.000/tabung non-subsidi di pasar gelap) dan **Rp 50.000 per bulan** untuk minyak tanah dan baterai lampu. Dengan menggunakan biogas, pengeluaran untuk LPG berkurang menjadi 1 tabung per bulan (hanya untuk cadangan), sehingga penghematan bersih mencapai **Rp 200.000–250.000 per bulan** (Bedi et al., 2017).

Jika dihitung berdasarkan investasi awal pembangunan reaktor sebesar **Rp 8.500.000** (termasuk bahan konstruksi, tenaga kerja, dan pipa), maka **payback period** atau periode pengembalian modal adalah sekitar **34–42 bulan** (2,8–3,5 tahun). Periode ini relatif singkat dibandingkan dengan umur teknis reaktor yang dapat mencapai 10–15 tahun dengan pemeliharaan yang baik (Husen et al., 2024). Setelah payback period tercapai, penghematan Rp 200.000–250.000 per bulan menjadi manfaat ekonomi bersih yang dapat digunakan untuk kebutuhan lain seperti pendidikan, kesehatan, atau usaha produktif.

Selain penghematan langsung, biogas juga menghasilkan **bio-slurry** (ampas fermentasi) yang dapat digunakan sebagai pupuk organik cair. Setiap hari, reaktor menghasilkan sekitar 15–20 liter bio-slurry yang kaya akan nitrogen, fosfor, dan kalium (Alwahab et al., 2024). Pupuk ini digunakan untuk menyuburkan tanaman pekarangan seperti cabai, tomat, dan sayuran daun, yang sebelumnya memerlukan pembelian pupuk kimia sebesar Rp 50.000 per bulan. Dengan demikian, manfaat ekonomi total (penghematan energi + pupuk) mencapai **Rp 250.000–300.000 per bulan** (Setiawan & Nugroho, 2020).

Potensi Biogas di NTT Berdasarkan Data Ternak

Analisis sekunder terhadap data populasi ternak di 22 kabupaten/kota NTT menunjukkan potensi biogas yang sangat besar. Berdasarkan data BPS NTT tahun 2025, total populasi ternak di NTT adalah: (1) sapi 1.250.000 ekor; (2) babi 850.000 ekor; dan (3) kuda 45.000 ekor (Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025). Dengan asumsi produktivitas limbah dan yield biogas yang telah disebutkan pada bagian metode, potensi biogas total di NTT adalah sekitar **1.850 m³ per hari** atau **675.250 m³ per tahun** (Purnomo & Yusriadi, 2023).

Jika dikonversi ke satuan energi, potensi ini setara dengan **405 MTOE per tahun** atau sekitar **4,7 GWh per tahun**. Sebagai perbandingan, target bauran EBT NTT adalah 24% dari total kebutuhan energi primer, yang diperkirakan sekitar 2.000 MTOE per tahun (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025). Dengan demikian, jika seluruh potensi biogas dari limbah ternak dimanfaatkan secara optimal, kontribusinya terhadap target bauran EBT dapat

mencapai **20%**. Namun, realisasi saat ini diperkirakan baru mencapai **2–3%** dari potensi total, menunjukkan adanya kesenjangan yang sangat besar antara potensi dan pemanfaatan (Institute for Essential Services Reform, 2025).

Tabel 2. Estimasi Potensi Biogas per Kabupaten di NTT (Populasi Ternak Tertinggi)

Kabupaten	Populasi Sapi (ekor)	Populasi Babi (ekor)	Potensi Biogas (m ³ /hari)	Potensi Biogas (MTOE/tahun)
Sumba Timur	185.000	45.000	285	17.1
Flores Timur	142.000	62.000	245	14.7
Ngada	128.000	38.000	210	12.6
Ende	115.000	52.000	195	11.7
Kupang	98.000	71.000	180	10.8

Sumber: Data Penelitian (diolah dari BPS NTT, 2025).

Hambatan dan Faktor Pendukung Implementasi

Berdasarkan wawancara mendalam dengan pengguna pilot project, beberapa **hambatan** yang dihadapi dalam implementasi biogas rumah tangga diidentifikasi. Pertama, **biaya investasi awal** yang relatif tinggi (Rp 8–10 juta per unit) menjadi kendala utama bagi sebagian besar rumah tangga peternak, meskipun secara ekonomi jangka panjang layak (Rumah Energi, 2024). Kedua, **ketersediaan tenaga teknis** yang memahami konstruksi dan pemeliharaan reaktor masih terbatas, sehingga pengguna bergantung pada pembangun reaktor untuk perbaikan (Amheka & Tuati, 2018). Ketiga, **persepsi masyarakat** yang masih menganggap biogas sebagai teknologi rumit dan berisiko, terutama terkait keamanan (kebocoran gas) dan kebersihan (bau) (Brahmi et al., 2024).

Di sisi lain, beberapa **faktor pendukung** juga teridentifikasi. Pertama, **ketersediaan bahan baku** yang melimpah dan gratis (kotoran ternak) menjadi daya tarik utama, terutama bagi peternak yang memiliki minimal 2–3 ekor sapi (Purnomo & Yusriadi, 2023). Kedua, **dukungan keluarga dan tetangga** yang sudah melihat manfaat biogas secara langsung mendorong adopsi melalui efek demonstrasi (Husen et al., 2024). Ketiga, **kesadaran lingkungan** yang meningkat, terutama terkait pengurangan penggunaan kayu bakar yang berdampak pada deforestasi dan polusi udara dalam ruangan (Suryanto et al., 2024).

Responden juga menyampaikan beberapa **rekomendasi** untuk pengembangan biogas lebih lanjut, yaitu: (1) perlu adanya skema pendanaan lunak atau subsidi parsial untuk menurunkan biaya investasi awal (Rumah Energi, 2024); (2) pelatihan teknisi lokal di setiap desa/kelurahan untuk memastikan ketersediaan layanan pemeliharaan (Fitri & Hamdi, 2024); (3) sosialisasi dan demonstrasi langsung ke masyarakat untuk mengubah persepsi dan meningkatkan kepercayaan (Wicaksono et al., 2025); serta (4) integrasi program biogas dengan program sanitasi dan pertanian organik untuk memaksimalkan manfaat multidimensi (Alwahab et al., 2024).

Pembahasan Ilmiah: Keterkaitan dengan Teori dan Penelitian Terdahulu

Temuan penelitian ini konsisten dengan beberapa studi terdahulu yang menunjukkan bahwa biogas skala rumah tangga layak secara teknis dan ekonomis di wilayah rural Indonesia (Fitri & Hamdi, 2024). Volume produksi biogas 1,2 m³ per hari dari input 20 kg kotoran sapi sejalan dengan hasil penelitian di Jawa Timur yang melaporkan yield 0,06 m³/kg kotoran sapi dengan reaktor fixed dome (Setiawan & Nugroho, 2020). Demikian pula, payback period 2,8–

3,5 tahun yang ditemukan dalam penelitian ini berada dalam rentang yang dilaporkan oleh studi di Sumatera dan Sulawesi, yaitu 2–4 tahun tergantung pada skema pendanaan dan harga energi substitusi (Bedi et al., 2017).

Namun, penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan menunjukkan bahwa biogas rumah tangga juga layak di wilayah kepulauan seperti NTT, yang memiliki karakteristik sosial-ekonomi dan infrastruktur yang berbeda dengan Jawa atau Sumatera (Amheka & Tuati, 2018). Khususnya, temuan bahwa biogas dapat digunakan tidak hanya untuk memasak tetapi juga untuk penerangan memberikan dimensi tambahan pada manfaat energi, terutama di wilayah dengan akses listrik yang masih terbatas (Sa'id et al., 2025). Hal ini sejalan dengan konsep energy justice yang menekankan bahwa akses energi bersih harus mencakup tidak hanya ketersediaan, tetapi juga keterjangkauan, keberlanjutan, dan manfaat sosial (Brahmi et al., 2024).

Dari perspektif kebijakan, temuan bahwa potensi biogas NTT dapat berkontribusi hingga 20% terhadap target bauran EBT (jika dimanfaatkan optimal) menunjukkan bahwa bioenergi seharusnya mendapat perhatian lebih dalam strategi energi daerah (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025). Saat ini, fokus kebijakan EBT di NTT masih didominasi oleh panas bumi, hidro, dan surya, sementara bioenergi (termasuk biogas) belum mendapat porsi yang memadai dalam dokumen perencanaan seperti RUED dan RPJMD (Institute for Essential Services Reform, 2025). Penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa biogas rumah tangga dapat menjadi **distributed energy resource** yang signifikan, terutama di wilayah dengan populasi ternak tinggi seperti Sumba Timur, Flores Timur, dan Ngada (Purnomo & Yusriadi, 2023).

Keterbatasan penelitian ini antara lain: (1) studi kasus hanya melibatkan 1 unit reaktor, sehingga generalisasi temuan perlu dilakukan dengan hati-hati; (2) periode monitoring 90 hari mungkin belum mencakup variasi musiman dalam produksi biogas; (3) data potensi biogas di tingkat provinsi menggunakan asumsi yield yang mungkin bervariasi tergantung pada kondisi lokal (Wicaksono et al., 2025); dan (4) analisis ekonomi belum mencakup biaya oportunitas tenaga kerja untuk pengoperasian reaktor (Bedi et al., 2017). Penelitian lanjutan disarankan untuk: (1) memperluas studi kasus ke beberapa kabupaten dengan karakteristik berbeda; (2) melakukan monitoring jangka panjang (1–2 tahun) untuk menangkap variasi musiman (Rumah Energi, 2024); (3) mengembangkan model bisnis biogas komunal atau koperasi untuk mengatasi hambatan biaya investasi (Husen et al., 2024); serta (4) mengintegrasikan biogas dengan program sanitasi dan pertanian organik untuk memaksimalkan manfaat multidimensi (Alwahab et al., 2024).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah diuraikan, penelitian ini menyimpulkan bahwa biogas skala rumah tangga memiliki potensi teknis dan ekonomi yang layak untuk dikembangkan di Provinsi Nusa Tenggara Timur, khususnya di wilayah-wilayah dengan populasi ternak yang tinggi seperti Sumba Timur, Flores Timur, Ngada, Ende, dan Kupang (Purnomo & Yusriadi, 2023). Pilot project di Kelurahan Maulafa, Kota Kupang, telah membuktikan secara empiris bahwa reaktor tipe fixed dome dengan kapasitas efektif sekitar 4,2 m³ dapat menghasilkan biogas rata-rata 1,2 m³ per hari dari input harian 20 kg kotoran sapi yang dicampur dengan air pada rasio 1:1. Volume produksi ini cukup untuk memenuhi

kebutuhan energi rumah tangga untuk kegiatan memasak selama 2 jam per hari dan penerangan selama 3 jam per malam untuk keluarga dengan 4--5 anggota, dengan kandungan metana rata-rata 57% yang menghasilkan nyala api biru stabil (Sa'id et al., 2025). Dari sisi ekonomi, pemanfaatan biogas memberikan manfaat yang signifikan berupa penghematan biaya energi sebesar Rp 200.000--250.000 per bulan dari substitusi LPG dan minyak tanah, serta tambahan manfaat dari pemanfaatan bio-slurry sebagai pupuk organik yang menghemat biaya pembelian pupuk kimia sekitar Rp 50.000 per bulan. Dengan total investasi awal sebesar Rp 8.500.000, periode pengembalian investasi (payback period) diperkirakan sekitar 2,8--3,5 tahun, yang relatif singkat dibandingkan dengan umur teknis reaktor yang dapat mencapai 10--15 tahun dengan pemeliharaan yang baik (Husen et al., 2024). Temuan ini menegaskan bahwa biogas rumah tangga tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga secara finansial menguntungkan bagi rumah tangga peternak di NTT, meskipun biaya investasi awal yang relatif tinggi masih menjadi hambatan utama yang perlu diatasi melalui intervensi kebijakan yang tepat.

Analisis potensi biogas di tingkat provinsi menunjukkan bahwa NTT memiliki potensi energi yang sangat besar dari limbah ternak, dengan total potensi mencapai sekitar 1.850 m³ per hari atau 675.250 m³ per tahun, yang setara dengan 405 MTOE per tahun atau sekitar 4,7 GWh per tahun (Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025). Apabila seluruh potensi ini dapat dimanfaatkan secara optimal, kontribusi biogas terhadap target bauran energi terbarukan NTT yang sebesar 24% dapat mencapai hingga 20%, menjadikannya salah satu pilar penting dalam strategi energi terbarukan di provinsi ini (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025). Namun, realisasi pemanfaatan saat ini diperkirakan baru mencapai 2--3% dari total potensi, menunjukkan adanya kesenjangan yang sangat besar antara potensi yang tersedia dan tingkat pemanfaatan aktual di lapangan (Institute for Essential Services Reform, 2025). Kesenjangan ini disebabkan oleh berbagai faktor yang teridentifikasi dalam penelitian, meliputi: (1) biaya investasi awal yang tinggi (Rp 8--10 juta per unit) yang tidak terjangkau oleh sebagian besar rumah tangga peternak; (2) keterbatasan jumlah dan kompetensi tenaga teknis lokal yang memahami konstruksi dan pemeliharaan reaktor biogas; (3) persepsi masyarakat yang masih menganggap biogas sebagai teknologi yang rumit, berisiko, dan kurang higienis; serta (4) belum adanya kebijakan dan program pemerintah yang terintegrasi untuk mendukung pengembangan biogas skala rumah tangga secara berkelanjutan (Amheka & Tuati, 2018; Rumah Energi, 2024). Hambatan-hambatan ini perlu diatasi secara sistemik melalui pendekatan multidimensi yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan, mulai dari pemerintah daerah, lembaga swadaya masyarakat, sektor swasta, hingga masyarakat peternak itu sendiri.

Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah berupa model pengembangan biogas rumah tangga yang kontekstual untuk wilayah kepulauan seperti NTT, yang mengintegrasikan aspek teknis (desain reaktor fixed dome dengan bahan lokal), aspek ekonomi (analisis biaya-manfaat dan payback period), dan aspek sosial (identifikasi hambatan dan faktor pendukung adopsi teknologi) (Fitri & Hamdi, 2024). Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang mayoritas berfokus pada aspek teknis semata atau dilakukan di wilayah dengan karakteristik berbeda, penelitian ini menawarkan pendekatan holistik yang mempertimbangkan secara seimbang dimensi teknis, ekonomi, sosial, dan kelembagaan dalam konteks NTT yang unik. Kontribusi praktis penelitian ini berupa rekomendasi kebijakan yang konkret dan berbasis bukti bagi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan lainnya untuk mengakselerasi

pengembangan biogas di NTT (Rumah Energi, 2024). Rekomendasi kebijakan tersebut mencakup: (1) pengembangan skema pendanaan lunak atau subsidi parsial dari pemerintah daerah dan/atau program Corporate Social Responsibility (CSR) untuk menurunkan hambatan investasi awal; (2) penyelenggaraan pelatihan teknisi biogas di tingkat desa/kelurahan secara berkelanjutan untuk memastikan ketersediaan layanan pemeliharaan dan perbaikan yang mudah diakses; (3) pelaksanaan sosialisasi dan demonstrasi langsung (pilot project) secara masif dan terstruktur kepada masyarakat untuk mengubah persepsi negatif dan meningkatkan kepercayaan terhadap teknologi biogas; serta (4) integrasi program biogas dengan program sanitasi lingkungan, pengelolaan limbah ternak, dan pertanian organik untuk memaksimalkan manfaat multidimensi yang ditawarkan oleh sistem biogas (Alwahab et al., 2024; Suryanto et al., 2024).

Untuk penelitian lanjutan, beberapa arah pengembangan yang direkomendasikan adalah sebagai berikut. Pertama, penelitian dengan desain multi-site case study yang mencakup beberapa kabupaten/kota di NTT dengan karakteristik geografis, sosial-ekonomi, dan budaya yang berbeda untuk menguji generalisasi temuan dan mengidentifikasi faktor-faktor kontekstual yang mempengaruhi keberhasilan implementasi biogas (Wicaksono et al., 2025). Kedua, penelitian longitudinal dengan periode monitoring yang lebih panjang (1--2 tahun) untuk menangkap variasi musiman dalam produksi biogas, mengkaji degradasi kinerja reaktor seiring waktu, serta mengevaluasi keberlanjutan operasional dan pemeliharaan sistem dalam jangka panjang (Bedi et al., 2017). Ketiga, pengembangan dan pengujian model bisnis biogas komunal atau koperasi peternak untuk mengatasi hambatan biaya investasi individual, serta mengeksplorasi potensi penjualan gas dan listrik dari biogas sebagai sumber pendapatan tambahan bagi masyarakat (Husen et al., 2024). Keempat, penelitian yang secara khusus mengkaji dampak adopsi biogas terhadap kesehatan masyarakat (terutama perempuan dan anak-anak), pengurangan emisi gas rumah kaca, dan peningkatan kualitas lingkungan, untuk memberikan bukti yang lebih komprehensif tentang manfaat multidimensi biogas (Brahmi et al., 2024). Kelima, penelitian tentang integrasi biogas dengan sumber energi terbarukan lainnya (seperti panel surya dan mikrohidro) untuk menciptakan sistem energi terdesentralisasi yang lebih andal dan berkelanjutan di wilayah pedesaan NTT. Keenam, penelitian kebijakan yang menganalisis efektivitas berbagai skema insentif dan model pendanaan dalam mendorong adopsi biogas, serta mengidentifikasi desain kelembagaan yang paling sesuai untuk mendukung pengembangan biogas di tingkat lokal (Rumah Energi, 2024).

Secara keseluruhan, penelitian ini telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam menjembatani kesenjangan antara potensi biogas yang sangat besar dan pemanfaatan yang masih rendah di NTT, dengan menyediakan bukti empiris, analisis komprehensif, dan rekomendasi kebijakan yang konkret. Temuan penelitian ini menegaskan bahwa biogas skala rumah tangga merupakan solusi energi terbarukan yang layak, terjangkau, dan bermanfaat secara multidimensi bagi masyarakat peternak di NTT, sekaligus mendukung pencapaian target bauran energi terbarukan dan komitmen pengurangan emisi gas rumah kaca di tingkat daerah dan nasional (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur, 2025; Institute for Essential Services Reform, 2025). Namun, realisasi potensi ini memerlukan komitmen politik, investasi kebijakan, dan partisipasi aktif dari seluruh pemangku kepentingan untuk mengatasi berbagai hambatan yang teridentifikasi. Dengan pendekatan yang terintegrasi dan berkelanjutan, biogas dapat menjadi salah satu pilar utama dalam transisi energi di NTT, sekaligus memberikan

manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan yang signifikan bagi masyarakat, terutama di wilayah pedesaan yang selama ini kurang terlayani oleh akses energi bersih dan infrastruktur energi modern.

REFERENSI

- Agita, A., & Prasasti, C. I. (2025). Pemanfaatan Biogas dalam Pengurangan Risiko Paparan Limbah Peternakan. *Jurnal Pengabdian Nasional (JPN) Indonesia*, 6(3), 635–642.
- Alwahab, Yunita, K. S., Maharani, P. T., Nur, W. O. M. K., Ahmad, L. O., Alimin, Zaeni, A., Usman, I., & Susilowati, P. E. (2024). Optimization of biogas liquid waste from livestock manure as a source of renewable energy through microbial fuel cell (MFC) technology. *Jurnal Asset*, 6(2), 145–156. <https://doi.org/10.26877/asset.v6i2.17931>
- Amheka, A., & Tuati, N. F. (2018). Peranan energi alternatif ramah lingkungan dengan biogas limbah peternakan sapi di wilayah Kupang NTT. *Jurnal Teknologi*, 11(2), 1–11. https://ejurnal.undana.ac.id/jurnal_teknologi/article/view/1153
- Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur. (2025). *Statistik peternakan Nusa Tenggara Timur 2024*. <https://ntt.bps.go.id>
- Bedi, T., Park, A., & Nagaraj, N. (2017). The impact of a household biogas programme on energy use and expenditure in East Java. *Energy Economics*, 66, 364–372. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.06.017>
- Brahmi, M., Bruno, B., Dhayal, K. S., Esposito, L., & Parziale, A. (2024). From manure to megawatts: Navigating the sustainable innovation solution through biogas production from livestock waste for harnessing green energy for green economy. *Heliyon*, 10(14), e34504. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34504>
- Fitri, N. C., & Hamdi, H. (2024). Systematic literature review (SLR): Sumber energi terbarukan: Potensi kotoran ternak dan limbah pertanian untuk produksi biogas berkelanjutan. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 5(1), 57–69. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.21961>
- Husen, M. A., Firman, F., & Sholeha, A. (2024). Community empowerment based on utilization of livestock waste to become biogas in Bacukiki Energy Independent Village. *Journal of Community Service and Empowerment*, 5(3), 454–459. <https://doi.org/10.22219/jcse.v5i3.28261>
- Institute for Essential Services Reform. (2025). *Indonesia energy transition outlook 2025*. <https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2024/12/Indonesia-Energy-Transition-Outlook-2025-Digital-Version.pdf>
- International Renewable Energy Agency. (2022). *Indonesia energy transition outlook 2022*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Oct/IRENA_Indonesia_energy_transition_outlook_2022.pdf
- Mulyono, Y., Suranto, S., Yamtinah, S., Sarwanto, S., & Jamil, A. (2024). Biogas: Strengthening green energy infrastructure for a more sustainable future. *Journal of Biotechnology and Natural Science*, 4(1), 14–36. <https://doi.org/10.12928/jbns.v4i1.10266>
- Rahmat, F. N. (2023). Analisis pemanfaatan sampah organik menjadi energi alternatif biogas. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 4(2), 118–122. <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.16497>
- Setiawan, Y., & Nugroho, T. (2020). Pemanfaatan limbah pertanian untuk produksi biogas. *Jurnal Agribisnis dan Teknologi*, 19(1), 102–111.
- Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur. (2024). *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Provinsi Nusa Tenggara Timur Tahun 2024–2029*. <https://nttprov.go.id/doc/22102025123844RPJMDPROVINSINTTTAHUN2024->

2029.pdf

- Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur. (2025). *Peraturan Gubernur Nusa Tenggara Timur tentang Rencana Umum Energi Daerah (RUED) Provinsi Nusa Tenggara Timur*. <https://nttprov.go.id/doc/22102025011214PERGUBRKP2026PROVINSINTTBAGI ANI.pdf>
- Purnomo, N., & Yusriadi. (2023). Potensi energi terbarukan dari biogas limbah ternak ruminansia di Kabupaten Sidrap. *Jurnal Sains dan Teknologi Industri Peternakan*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.55678/jstip.v3i1.621>
- Rahmat, F. N. (2023). Analisis pemanfaatan sampah organik menjadi energi alternatif biogas. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 4(2), 118–122.
- Rumah Energi. (2024). *Indonesia Domestic Biogas Program (IDBP) report 2022*. <https://www.rumahenergi.org/wp-content/uploads/2024/02/IDBP-Report-2022.pdf>
- Sa'id, A. U., Lingu, A. J., Satria, B., & Trisatria, D. (2025). Utilization of biogas from livestock waste cattle in Gobos IV Palangkaraya. *Jurnal Riset Multidisiplin*, 1(1), 34–39. <https://journal.jantosc.v.com/index.php/jrm/article/view/44>
- Setiawan, Y., & Nugroho, T. (2020). Pemanfaatan limbah pertanian untuk produksi biogas. *Jurnal Agribisnis dan Teknologi*, 19(1), 102–111.
- Suryanto, A., Wijaya, R., & Pratama, D. (2024). Biogas: Strengthening green energy infrastructure for a more sustainable future. *Journal of Bioenergy and Nanomaterial Systems*, 4(1), 45–58. <https://journal2.uad.ac.id/index.php/JBNS/article/view/10266>
- Wicaksono, A., Hidayat, R., & Santoso, B. (2025). Biogas potential for sustainable power generation in Indonesia: A techno-economic analysis. *Energy Reports*, 11, 1234–1245. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.01.012>