

## Pemanfaatan Limbah Organik Rumah Tangga sebagai Sumber Energi Biogas Skala Komunitas Perkotaan

Dewi Sintia, Erna Sari, Maryani <sup>1</sup>

**Abstrak:** Pertumbuhan wilayah perkotaan meningkatkan volume limbah organik rumah tangga yang belum dimanfaatkan secara optimal dan masih didominasi sistem pembuangan akhir. Kondisi ini menimbulkan dampak lingkungan berupa peningkatan emisi gas rumah kaca serta beban pengelolaan sampah. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi pemanfaatan limbah organik rumah tangga sebagai sumber energi biogas pada skala komunitas perkotaan serta merumuskan model sistem terintegrasi antara aspek teknis, sosial, dan teknologi digital. Metode menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif berbasis studi literatur sistematis dari 40 publikasi ilmiah periode 2011–2025. Analisis dilakukan melalui komparasi deskriptif, kajian teknis anaerobic digestion, evaluasi sistem komunitas, serta analisis keberlanjutan lingkungan, ekonomi, dan sosial. Hasil menunjukkan limbah organik rumah tangga memiliki potensi tinggi menghasilkan biogas dengan kandungan metana signifikan pada suhu optimal 25–35°C. Sistem skala komunitas lebih efisien dibandingkan sistem individu karena stabilitas suplai bahan baku dan kapasitas produksi energi lebih tinggi. Integrasi Internet of Things meningkatkan efisiensi operasional melalui pemantauan parameter secara real time. Sistem ini menurunkan emisi gas rumah kaca, mengurangi beban tempat pembuangan akhir, dan menghasilkan pupuk organik bernilai ekonomi. Studi ini menegaskan biogas komunitas sebagai solusi strategis energi bersih perkotaan.

**Kata Kunci:** Biogas, Limbah Organik Rumah Tangga, Skala Komunitas, Anaerobic Digestion, Energi Terbarukan

---

**Abstract:** *Urban growth has increased the volume of household organic waste, which remains underutilized and is still dominated by end-of-pipe disposal systems. This condition generates environmental impacts, including increased greenhouse gas emissions and a higher burden on waste management systems. This study aims to analyze the potential utilization of household organic waste as a source of biogas energy at the urban*

---

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Indonesia, [dewisintia099@gmail.com](mailto:dewisintia099@gmail.com)

*community scale and to formulate an integrated system model that incorporates technical, social, and digital technology aspects. The study employs a mixed qualitative and quantitative approach based on a systematic literature review of 40 scientific publications from 2011 to 2025. The analysis is conducted through descriptive comparison, technical assessment of anaerobic digestion, evaluation of community-based systems, and sustainability analysis covering environmental, economic, and social dimensions. The results indicate that household organic waste has high potential for biogas production, with significant methane content under optimal temperatures of 25–35°C. Community-scale systems are more efficient than individual systems due to more stable feedstock supply and higher energy production capacity. The integration of Internet of Things technologies enhances operational efficiency through real-time monitoring of key parameters. This system reduces greenhouse gas emissions, decreases the burden on landfills, and generates economically valuable organic fertilizer. This study highlights community-based biogas systems as a strategic solution for clean urban energy.*

**Keywords:** *Biogas, Household Organic Waste, Community Scale, Anaerobic Digestion, Renewable Energy*

---

## **A. Pendahuluan**

Perkembangan perkotaan yang cepat meningkatkan tekanan terhadap sistem pengelolaan sampah. Salah satu fraksi terbesar dari sampah rumah tangga adalah limbah organik yang berasal dari sisa makanan, sayuran, buah, dan bahan hayati lain. Dalam banyak kota berkembang, limbah ini masih ditangani melalui pengangkutan ke tempat pembuangan akhir tanpa proses pemanfaatan energi. Kondisi tersebut menimbulkan masalah lingkungan yang serius, terutama emisi gas rumah kaca, peningkatan beban TPA, dan risiko pencemaran tanah serta air. Studi menunjukkan bahwa fraksi organik dalam sampah perkotaan memiliki kontribusi signifikan terhadap emisi metana ketika terdekomposisi secara anaerob di TPA (Di Matteo et al., 2017; Kigozi et al., 2014). Situasi ini menunjukkan perlunya pendekatan alternatif yang lebih berkelanjutan dalam pengelolaan limbah rumah tangga.

Di sisi lain, limbah organik rumah tangga memiliki potensi energi yang tinggi melalui proses anaerobic digestion. Proses ini mengubah bahan organik menjadi biogas yang didominasi metana dan karbon dioksida. Biogas dapat dimanfaatkan sebagai energi memasak, pembangkit listrik, maupun sumber panas. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa limbah rumah tangga memiliki kandungan volatil solid yang cukup tinggi untuk menghasilkan biogas secara efisien (Bhardwaj et al., 2024; Pérez et al., 2020). Bahkan, studi karakteristik limbah menunjukkan bahwa kadar kelembaban dan biodegradabilitas yang tinggi mendukung produksi metana yang stabil (Okoh & Adamu, 2024). Hal ini memperkuat posisi limbah organik sebagai sumber energi terbarukan yang layak dikembangkan di tingkat komunitas.

Implementasi biogas pada skala rumah tangga dan komunitas telah banyak diuji di berbagai negara. Studi di kawasan urban menunjukkan bahwa sistem biodigester kecil mampu mengurangi ketergantungan energi rumah tangga terhadap bahan bakar fosil seperti LPG (Alam et al., 2024). Pada skala komunitas, sistem pengolahan limbah organik mampu menghasilkan volume biogas yang lebih stabil karena adanya variasi input bahan baku yang lebih besar dan kontinuitas suplai limbah (Liu et al., 2022). Penelitian lain menunjukkan bahwa model komunitas dapat meningkatkan efisiensi operasional sekaligus mengurangi biaya pengelolaan limbah (Generosi et al., 2012). Dengan demikian, pendekatan kolektif memiliki potensi lebih besar dibandingkan sistem individual.

Selain aspek teknis, sistem biogas komunitas juga memiliki dimensi lingkungan yang kuat. Konversi limbah organik menjadi energi mampu menurunkan emisi gas rumah kaca secara signifikan. Beberapa studi menunjukkan bahwa penggantian bahan bakar fosil dengan biogas dapat mengurangi emisi karbon dalam jumlah besar pada skala kota (D'Aquino et al., 2022). Di sisi lain, residu hasil digesti anaerob dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik yang mendukung sistem pertanian perkotaan. Hal ini memperkuat konsep ekonomi sirkular yang menekankan siklus tertutup antara produksi, konsumsi, dan pemanfaatan kembali sumber daya (Vasileiadou, 2024).

Namun demikian, implementasi sistem biogas skala komunitas masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu tantangan utama adalah konsistensi pasokan limbah organik dan pengelolaan operasional biodigester. Studi di Bandung menunjukkan bahwa produksi biogas sering tidak stabil akibat kurangnya input limbah dan rendahnya pemeliharaan sistem (Rianawati et al., 2018). Selain itu, faktor sosial seperti partisipasi masyarakat menjadi penentu keberhasilan sistem. Penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan pengelolaan limbah berbasis komunitas sangat dipengaruhi oleh tingkat kesadaran dan keterlibatan warga (Saefullah et al., 2023). Tanpa dukungan sosial yang kuat, sistem teknis yang baik sekalipun tidak dapat berjalan optimal.

Perkembangan teknologi juga membuka peluang baru dalam pengelolaan biogas. Integrasi sistem monitoring berbasis Internet of Things memungkinkan pemantauan suhu, kelembaban, dan produksi gas secara real time. Teknologi ini terbukti meningkatkan efisiensi operasional dan stabilitas proses anaerobik (Maulana et al., 2024). Selain itu, pendekatan smart waste management yang menggabungkan teknologi digital dengan sistem energi terbarukan dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan limbah perkotaan (Ahmed & Nassereddine, 2025). Integrasi ini menjadi salah satu arah pengembangan sistem biogas modern yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan perkotaan.

Berbagai studi juga menunjukkan bahwa komposisi limbah sangat mempengaruhi produksi biogas. Co-digestion antara limbah organik dengan bahan tambahan seperti lumpur atau kotoran hewan dapat meningkatkan produksi metana (Aqise, 2025). Suhu operasional juga menjadi faktor penting, dengan rentang optimal sekitar 25–35°C untuk kondisi tropis (Dronia et al., 2024). Kondisi ini sesuai dengan karakteristik wilayah perkotaan di negara berkembang yang memiliki suhu relatif stabil sepanjang tahun. Oleh karena itu, potensi implementasi sistem biogas di kawasan tropis sangat tinggi.

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan potensi besar limbah organik sebagai sumber energi, masih

terdapat kesenjangan dalam integrasi sistem pada skala komunitas perkotaan. Sebagian besar penelitian masih berfokus pada skala rumah tangga atau skala industri, sementara model transisi menuju sistem komunitas perkotaan belum banyak dikaji secara terpadu. Selain itu, integrasi antara aspek teknis, sosial, dan teknologi digital masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan sistematis yang menggabungkan seluruh aspek tersebut dalam satu model konseptual yang dapat diterapkan di lingkungan perkotaan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan limbah organik rumah tangga sebagai sumber energi biogas pada skala komunitas perkotaan. Penelitian ini juga berupaya merumuskan model sistem yang mengintegrasikan aspek teknis biodigester, partisipasi masyarakat, serta teknologi monitoring digital. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang menggabungkan berbagai hasil penelitian sebelumnya ke dalam satu kerangka sistem yang adaptif, khususnya untuk konteks perkotaan di wilayah tropis. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem energi terbarukan berbasis limbah yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

## **B. Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif berbasis studi literatur sistematis yang dipadukan dengan analisis teknis komparatif. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak melakukan eksperimen langsung, tetapi membangun model konseptual berbasis sintesis data empiris dari berbagai studi terdahulu. Data yang digunakan berasal dari 40 publikasi ilmiah internasional dan nasional yang diterbitkan antara tahun 2011 hingga 2025. Sumber tersebut mencakup jurnal bereputasi, prosiding konferensi, laporan teknis, buku bab, serta dokumen paten yang relevan dengan topik biogas dari limbah organik rumah tangga.

Pengumpulan data dilakukan melalui proses seleksi literatur berbasis relevansi tema, kualitas publikasi, dan ketersediaan data teknis. Literatur yang dipilih harus memenuhi tiga kriteria utama, yaitu membahas pemanfaatan

limbah organik rumah tangga atau municipal solid waste, memiliki data terkait produksi biogas atau metana, serta membahas implementasi pada skala rumah tangga atau komunitas. Studi yang hanya membahas limbah industri tanpa relevansi dengan sistem rumah tangga tidak dimasukkan dalam analisis. Data yang diekstraksi meliputi jenis limbah, kadar kelembaban, volatile solid, suhu operasi, rasio substrat, volume biogas, dan efisiensi konversi energi.

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama adalah analisis deskriptif komparatif yang bertujuan untuk mengidentifikasi pola umum dari berbagai studi terkait produksi biogas. Pada tahap ini, setiap penelitian dibandingkan berdasarkan output biogas, kondisi operasional, dan jenis sistem digester yang digunakan. Hasil analisis ini digunakan untuk menentukan rentang optimal parameter teknis yang paling sering muncul dalam literatur.

Tahap kedua adalah analisis teknis atau techno-analysis yang berfokus pada hubungan antara variabel operasional dan hasil produksi biogas. Parameter utama yang dianalisis meliputi suhu operasional, kelembaban, rasio campuran substrat, serta jenis limbah organik. Studi menunjukkan bahwa rentang suhu 25–35°C memberikan kondisi optimal untuk aktivitas mikroba anaerob (Dronia et al., 2024). Selain itu, peningkatan kandungan bahan organik mudah terurai juga terbukti meningkatkan produksi metana secara signifikan (Bhardwaj et al., 2024).

Tahap ketiga adalah analisis sistem skala komunitas. Pada tahap ini, data dari berbagai studi kasus kota digunakan untuk membangun model kapasitas produksi biogas pada tingkat komunitas. Analisis ini mencakup estimasi jumlah limbah rumah tangga, potensi konversi energi, serta kebutuhan energi rumah tangga yang dapat dipenuhi oleh sistem biogas. Beberapa studi menunjukkan bahwa sistem komunitas mampu menghasilkan energi yang cukup untuk puluhan hingga ratusan rumah tangga tergantung pada skala input limbah (Alam et al., 2024; Liu et al., 2022). Pendekatan ini digunakan untuk merumuskan model konseptual sistem biogas perkotaan.

Tahap keempat adalah analisis keberlanjutan yang mencakup tiga aspek utama, yaitu lingkungan, ekonomi, dan

sosial. Aspek lingkungan dianalisis berdasarkan potensi reduksi emisi gas rumah kaca akibat pengalihan limbah dari TPA ke sistem digester (D'Aquino et al., 2022). Aspek ekonomi dianalisis melalui studi biaya dan manfaat implementasi sistem biogas komunitas, termasuk potensi penghematan energi rumah tangga (Coelho et al., 2023). Aspek sosial dianalisis berdasarkan tingkat partisipasi masyarakat dan kesiapan adopsi teknologi (Tsegaye et al., 2025; Ismail, 2025).

Tahap kelima adalah pengembangan model konseptual sistem biogas komunitas. Model ini dibangun berdasarkan integrasi hasil analisis sebelumnya, mencakup alur input limbah, proses anaerobic digestion, output energi, serta sistem pendukung seperti teknologi monitoring berbasis Internet of Things. Integrasi teknologi ini mengacu pada studi yang menunjukkan bahwa sistem monitoring digital dapat meningkatkan stabilitas produksi dan efisiensi operasional biodigester (Maulana et al., 2024; Ahmed & Nassereddine, 2025).

Validasi model dilakukan melalui triangulasi data antar studi untuk memastikan konsistensi hasil. Data teknis dari berbagai penelitian dibandingkan untuk memastikan bahwa parameter yang digunakan berada dalam rentang yang realistis dan telah teruji secara empiris. Selain itu, validasi juga dilakukan dengan membandingkan hasil studi kasus dari berbagai wilayah geografis, termasuk Asia, Eropa, dan Afrika, untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan bersifat adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan.

Hasil akhir dari metode penelitian ini adalah sebuah model sistem biogas skala komunitas perkotaan yang mengintegrasikan aspek teknis, sosial, dan teknologi digital. Model ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan sistem energi berbasis limbah yang lebih efisien, berkelanjutan, dan dapat diterapkan di berbagai konteks perkotaan, khususnya di wilayah berkembang dengan karakteristik limbah organik yang tinggi.

### **C. Temuan dan Pembahasan**

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah organik rumah tangga memiliki potensi tinggi sebagai sumber energi biogas pada skala komunitas perkotaan. Sintesis dari 40 studi

ilmiah menunjukkan pola yang konsisten bahwa limbah organik memiliki kandungan biodegradable tinggi, kadar kelembaban besar, serta rasio volatile solid yang mendukung proses anaerobic digestion. Karakteristik ini menjadikan limbah rumah tangga sebagai substrat yang stabil untuk produksi metana. Beberapa studi menunjukkan bahwa komposisi limbah dengan kadar air antara 55% hingga 75% mampu menghasilkan biogas dengan kualitas tinggi dan kandungan metana di atas 50% (Okoh & Adamu, 2024; Dronia et al., 2024). Temuan ini memperkuat bahwa limbah rumah tangga tidak hanya menjadi beban lingkungan, tetapi juga sumber energi yang dapat dimanfaatkan secara langsung.

Pada aspek teknis produksi, hasil analisis menunjukkan bahwa rentang suhu operasional merupakan faktor paling dominan dalam menentukan stabilitas produksi biogas. Sebagian besar studi menunjukkan bahwa suhu mesofilik 25–35°C menghasilkan aktivitas mikroorganisme anaerob yang optimal. Kondisi ini sangat relevan dengan iklim tropis yang memiliki suhu relatif stabil sepanjang tahun. Dalam konteks ini, penelitian oleh Maulana et al. (2024) menegaskan bahwa kestabilan suhu dan kelembaban dalam biodigester yang dilengkapi sistem monitoring IoT mampu meningkatkan efisiensi produksi gas secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital tidak hanya bersifat tambahan, tetapi menjadi faktor penting dalam menjaga kestabilan sistem.

Selain suhu, komposisi substrat juga terbukti memengaruhi hasil produksi biogas. Studi Coelho et al. (2023) menunjukkan bahwa co-digestion antara limbah organik rumah tangga dan bahan tambahan seperti lumpur atau limbah lain dapat meningkatkan produksi metana secara signifikan dibandingkan dengan digesti tunggal. Hal ini terjadi karena adanya keseimbangan nutrisi karbon dan nitrogen yang lebih stabil dalam sistem campuran. Dronia et al. (2024) juga menemukan bahwa variasi bahan organik dari sumber perkotaan dan pedesaan dapat meningkatkan efisiensi degradasi biomassa. Dengan demikian, sistem komunitas memiliki keunggulan dalam menyediakan variasi substrat yang lebih kaya dibandingkan sistem rumah tangga individu.

Pada skala komunitas, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem biodigester terpusat memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan sistem individual. Alam et al. (2024) melaporkan bahwa satu instalasi biogas komunitas mampu menghasilkan ratusan meter kubik biogas per hari, cukup untuk memenuhi kebutuhan energi puluhan rumah tangga. Studi Liu et al. (2022) di Swedia juga menunjukkan bahwa pengelolaan limbah makanan rumah tangga secara kolektif menghasilkan biomethane dalam jumlah besar yang digunakan untuk transportasi publik. Hasil ini menunjukkan bahwa skala komunitas tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga memperluas manfaat energi ke sektor publik.

Keunggulan sistem komunitas juga terlihat pada aspek stabilitas input bahan baku. Dalam sistem rumah tangga, produksi limbah bersifat fluktuatif dan sulit diprediksi. Sebaliknya, sistem komunitas menggabungkan banyak sumber limbah sehingga variasi harian menjadi lebih stabil. Generosi et al. (2012) menunjukkan bahwa stabilitas input ini berkontribusi terhadap peningkatan konsistensi produksi biogas. Dengan kata lain, sistem komunitas mampu mengurangi risiko kegagalan proses anaerobik yang sering terjadi pada skala kecil akibat kekurangan bahan baku.

Namun demikian, hasil penelitian juga menunjukkan adanya tantangan signifikan dalam implementasi sistem biogas komunitas. Salah satu tantangan utama adalah manajemen operasional dan pemeliharaan sistem biodigester. Studi Rianawati et al. (2018) menunjukkan bahwa banyak instalasi biogas gagal beroperasi optimal karena kurangnya pemeliharaan dan ketidakteraturan input limbah. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan sistem tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada aspek manajemen dan keterlibatan pengguna.

Aspek sosial menjadi faktor penting dalam keberlanjutan sistem biogas komunitas. Saefullah et al. (2023) menunjukkan bahwa peningkatan pemahaman masyarakat terhadap manfaat biogas dapat meningkatkan tingkat adopsi teknologi secara signifikan. Penelitian Oliveira (2015) juga menegaskan bahwa partisipasi masyarakat dalam pemilahan limbah organik merupakan faktor kunci keberhasilan sistem pengumpulan bahan baku. Tanpa

partisipasi aktif masyarakat, sistem teknis yang baik tidak dapat berjalan secara berkelanjutan. Oleh karena itu, keberhasilan implementasi sangat bergantung pada integrasi antara teknologi dan perilaku sosial.

Dari sisi lingkungan, hasil penelitian menunjukkan dampak positif yang signifikan dari implementasi biogas komunitas. D'Aquino et al. (2022) melaporkan bahwa pengolahan limbah organik menjadi biogas dapat mengurangi emisi karbon dalam jumlah besar, terutama dari sektor limbah padat perkotaan. Pengalihan limbah dari TPA ke sistem digester mengurangi produksi metana liar yang merupakan gas rumah kaca yang sangat kuat. Ahmed & Nassereddine (2025) juga menunjukkan bahwa sistem waste-to-energy berbasis limbah organik mampu menggantikan hingga 85% kebutuhan energi tertentu pada komunitas, sehingga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Selain manfaat lingkungan, sistem ini juga memberikan dampak ekonomi yang signifikan. Coelho et al. (2023) menunjukkan bahwa sistem co-digestion skala komunitas memiliki potensi penghematan biaya energi dan pengelolaan limbah dalam jangka panjang. Biogas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai pengganti LPG, sehingga mengurangi biaya rumah tangga. Selain itu, residu hasil digesti dapat dijual sebagai pupuk organik, menciptakan nilai tambah ekonomi. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai solusi lingkungan, tetapi juga sebagai sumber ekonomi lokal.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital meningkatkan efektivitas sistem secara signifikan. Maulana et al. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan sensor IoT untuk memantau suhu, kelembaban, dan tekanan gas membantu menjaga kondisi optimal reaktor. Sistem ini memungkinkan deteksi dini terhadap gangguan proses anaerobik. Ahmed & Nassereddine (2025) menambahkan bahwa integrasi sistem pintar dalam pengelolaan limbah dan energi dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, digitalisasi menjadi elemen penting dalam modernisasi sistem biogas komunitas.

Pada tahap analisis sistem, model konseptual yang dikembangkan menunjukkan bahwa alur sistem terdiri dari tiga komponen utama, yaitu input limbah organik, proses anaerobic digestion, dan output energi serta pupuk. Sistem ini diperkuat dengan subsistem monitoring digital dan partisipasi masyarakat. Integrasi ini menghasilkan sistem yang tidak hanya berorientasi pada produksi energi, tetapi juga pada keberlanjutan lingkungan dan sosial. Model ini sejalan dengan konsep circular economy yang menekankan siklus tertutup penggunaan sumber daya (Vasileiadou, 2024).

Dari hasil sintesis berbagai studi, terlihat bahwa keberhasilan implementasi sistem biogas komunitas sangat ditentukan oleh interaksi antara faktor teknis, sosial, dan kelembagaan. Sistem dengan desain teknis yang baik tidak akan berhasil tanpa dukungan sosial yang kuat. Sebaliknya, kesadaran masyarakat yang tinggi juga tidak cukup tanpa infrastruktur teknologi yang memadai. Oleh karena itu, pendekatan terintegrasi menjadi kunci utama dalam pengembangan sistem ini.

Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa konteks geografis dan iklim berpengaruh terhadap efisiensi sistem. Wilayah tropis memiliki keuntungan berupa suhu yang stabil sehingga proses anaerobik dapat berlangsung secara alami tanpa kebutuhan pemanasan tambahan. Hal ini memberikan keunggulan ekonomi dan teknis dibandingkan wilayah beriklim dingin yang membutuhkan energi tambahan untuk menjaga suhu reaktor. Oleh karena itu, implementasi sistem biogas komunitas sangat potensial di negara berkembang dengan karakteristik iklim tropis.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa limbah organik rumah tangga merupakan sumber daya strategis dalam pengembangan energi terbarukan berbasis komunitas. Integrasi teknologi, partisipasi masyarakat, dan desain sistem yang tepat mampu mengubah limbah menjadi sumber energi yang bernilai ekonomi dan ekologis tinggi. Model yang dikembangkan dalam penelitian ini memberikan kerangka konseptual yang dapat digunakan sebagai dasar implementasi sistem biogas komunitas di wilayah perkotaan dengan karakteristik serupa.

#### **D. Simpulan**

Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah organik rumah tangga memiliki potensi yang sangat besar sebagai sumber energi biogas pada skala komunitas perkotaan. Karakteristik limbah yang mudah terurai, memiliki kadar air tinggi, serta kandungan bahan organik yang stabil menjadikannya substrat yang sesuai untuk proses anaerobic digestion. Hasil sintesis berbagai studi menunjukkan bahwa produksi biogas dapat berjalan optimal pada kondisi suhu mesofilik, terutama pada rentang 25 hingga 35 derajat Celsius, yang sesuai dengan kondisi iklim tropis di banyak wilayah perkotaan negara berkembang.

Implementasi sistem biogas pada skala komunitas terbukti lebih efisien dibandingkan sistem individual. Pengumpulan limbah dari banyak rumah tangga menghasilkan suplai bahan baku yang lebih stabil sehingga proses produksi biogas menjadi lebih konsisten. Selain itu, sistem komunitas mampu menghasilkan volume energi yang lebih besar dan dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan rumah tangga maupun fasilitas publik. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan kolektif memberikan nilai tambah baik dari sisi teknis maupun ekonomi.

Penelitian ini juga menegaskan bahwa keberhasilan sistem biogas tidak hanya ditentukan oleh aspek teknologi, tetapi juga oleh faktor sosial dan kelembagaan. Partisipasi masyarakat dalam pemilahan dan pengumpulan limbah menjadi faktor kunci dalam menjaga keberlanjutan sistem. Tanpa keterlibatan aktif masyarakat, sistem teknis yang dirancang dengan baik tidak dapat beroperasi secara optimal dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pendekatan edukasi dan penguatan kesadaran lingkungan menjadi bagian penting dalam implementasi sistem ini.

Dari sisi lingkungan, pemanfaatan limbah organik menjadi biogas memberikan kontribusi nyata dalam pengurangan emisi gas rumah kaca dan pengurangan beban tempat pembuangan akhir. Selain itu, hasil samping berupa pupuk organik memberikan manfaat tambahan bagi sektor pertanian perkotaan. Secara ekonomi, sistem ini juga berpotensi mengurangi biaya energi rumah tangga dan menciptakan nilai tambah dari pengelolaan limbah.

Secara keseluruhan, sistem biogas berbasis limbah organik rumah tangga pada skala komunitas merupakan solusi yang layak, berkelanjutan, dan adaptif untuk diterapkan di kawasan perkotaan. Integrasi antara teknologi, partisipasi masyarakat, dan manajemen sistem yang baik menjadi kunci utama keberhasilan implementasi di masa mendatang.

## Daftar Pustaka

- Ahmed, H., & Nassereddine, M. (2025). Smart management of organic waste using a hybrid waste-to-energy and photovoltaic system. *IEEE Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/actea66485.2025.11189905>
- Alam, S., Rokonuzzaman, M., Rahman, K. S., Haque, A., Chowdhury, M. S., & Prasetya, T. A. E. (2024). Techno-economic and environmental analysis of organic municipal solid waste for energy production. *Heliyon*, *10*(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31670>
- Aquise, G. Y. N. (2025). Comparison of Biogas Production in Six Urban Houses: A Sustainable Approach to Reducing Energy Dependency. In *Biogas in the 21st Century - Developments and Perspectives*. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1008920>
- Bhardwaj, B., Kaushik, A., Kaushik, C. P., & Bhardwaj, N. (2024). Development of indigenous household kitchen waste biogas digester. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, *46*(1), 607-620. <https://doi.org/10.1080/15567036.2023.2287098>
- Coelho, U. R., Crispim, A., & Martins, M. A. B. (2023). Evaluation of biogas energy from co-digestion of organic urban solid waste with lime mud. *Recycling*, *8*(4), 57. <https://doi.org/10.3390/recycling8040057>
- D'Aquino, C. A., Pereira, B. A., & Sawatani, T. F. (2022). Biogas potential from slums as a sustainable and resilient route for renewable energy diffusion in urban areas. *Sustainability*, *14*(12), 7016. <https://doi.org/10.3390/su14127016>
- Di Matteo, U., Nastasi, B., & Albo, A. (2017). Energy contribution of OFMSW to energy-environmental sustainability in urban areas at small scale. *Energies*, *10*(2), 229. <https://doi.org/10.3390/en10020229>

- Dronia, W., Kostecki, J., & Połomka, J. (2024). Bio-waste from urban and rural areas as a source of biogas and methane: A case study from Poland. *Energies*, 17(2), 317. <https://doi.org/10.3390/en17020317>
- Generosi, J., Machacek, E., Remigius, R., & Poderiene, Z. (2012). *Biogas Production in Zabrze: Closing the Cycle of Organic Waste*. International Institute for Industrial Environmental Economics, Lund University.
- Ismail, M. D. E. (2025). Generation and Profiling of Biogas from Household Organic Waste through Anaerobic Digestion. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 42(2), 129-138. <https://doi.org/10.21608/mjae.2025.342792.1154>
- Kigozi, R., Aboyade, A., & Muzenda, E. (2014). Biogas production using the organic fraction of municipal solid waste as feedstock. *International Journal of Research in Chemical, Metallurgical and Civil Engg*, 1(1), 107-114. <http://dx.doi.org/10.15242/IJRCMCE.E1113563>
- Liu, T., Zhang, Q., Kang, X., et al. (2022). Household food waste to biogas in Västerås, Sweden: A comprehensive case study of waste valorization. *Sustainability*, 14(19), 11925. <https://doi.org/10.3390/su141911925>
- Maulana, B. I., Suryamiharja, A., & Wisesa, P. C. (2024). Utilization of Household Organic Waste into Biogas and Integrated with IoT. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 8(6), 839 - 845. <https://doi.org/10.29207/resti.v8i6.5906>
- Okoh, E. V. C., & Adamu, S. S. (2024). Generating and Characterizing Biogas from Household Waste through Anaerobic Digestion. *Journal of Science Research and Reviews*, 1(1), 16-18. <https://doi.org/10.70882/josrar.2024.v1i1.4>
- Oliveira, F. D. A., Lima, N. C., Lima, A. C. A., Stefanutti, R., (2015). Proposta de coleta seletiva da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares no bairro Pici, Fortaleza-CE. *Artigos Técnicos*, 64(201), 45-64. <https://doi.org/10.4322/dae.2015.004>
- Pérez, P. Q., Meza, R. H., Nolasco, L. G., Mejía, K. T., & Feria, J. I. (2020). Estudio de la generación de biogás a partir de basura orgánica, usando un biodigestor doméstico. *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*, 4(1), 43-61. <https://doi.org/10.19136/JEEOS.A4N1.3480>

- Rianawati, E., Damanhuri, E., & Handajani, M. (2018). Comparison of household and communal biogas digester performance to treat kitchen waste, case study: Bandung City, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 73, 01019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187301019>
- Saefullah, L., Darmanto, A., Pradigdo, D., Wibowo, F. H., & Imron, A. A. (2023). The development of household-scale biogas technology from organic waste in Lasah Village, Karangploso District. *Khidmatuna: Journal of Research and Community Service*, 2(1), 70-73. <https://doi.org/10.58330/khidmatuna.v2i2.379>
- Tsegaye, S., Wise, T., Alford, G., Michael, P. R., Gebremedhin, M. A., Singh, A. K., Culhane, T. H., Karatum, O., & Missimer, T. M. (2025). Turning Organic Waste into Energy and Food: Household-Scale Water-Energy-Food Systems. *Sustainability*, 17(19), 8942. <https://doi.org/10.3390/su17198942>
- Vasileiadou, A. (2024). From Organic Wastes to Bioenergy, Biofuels, and Value-Added Products for Urban Sustainability and Circular Economy: A Review. *Urban Science*, 8(3), 121. <https://doi.org/10.3390/urbansci8030121>