



Tersedia secara online di <http://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jatiunik/issue/view/76>

JATI UNIK

Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri



Kajian Literatur Pengembangan Biogas dari Fermentasi Anaerob di Indonesia (2016-2024)

Abdul Wahid Nuruddin^{*1}, Anggia Kalista²

nuruddinabdulwahid@gmail.com^{*1}, anggiakalista@gmail.com²

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Ronggolawe

Informasi Artikel

Riwayat Artikel :

Received : 24 – Maret – 2025

Revised : 26 – April – 2025

Accepted : 5 – Mei – 2025

Kata kunci :

Biogas production, Policy analysis, Socio-economic factors, Technical optimization

Abstract

The production of biogas through anaerobic fermentation in Indonesia faces various technical, socio-economic, and policy-related challenges that hinder its efficiency and application as a sustainable energy source. This research aims to analyze the state of biogas production in Indonesia from 2016 to 2024, with focus on the technical, socio-economic aspect, and government policies that influence it. The study uses the Systematic Literature Review (SLR) method, utilizing Google Scholar to collect relevant articles. A total of 130 articles were selected based on inclusion and exclusion criteria, ensuring the relevance and consistency of the analyzed data. The finding in the study show that optimal conditions for technical aspect such as substrat use, maintaining a constant temperature of 350C, and pH 7 signifinacntly increase biogas production. This analysis also examines the importance of government incentives and public awareness in promoting the adoption of biogas. The study concludes that collaborative effort in optimizing technology, rising public awareness, and implementing supportive policies are crucial for biogas to play an importance role in Indonesia energy mix, ultimately contributing to sustainable renewable energy solutions. This study contributes to the existing body of knowledge by providing insights into the interactions between technology, socio-economic factors, and policy frameworks in biogas production, as well as offering a foundation for future research and its application in renewable energy.

Abstrak

Produksi biogas melalui fermentasi anaerob di Indonesia menghadapi berbagai tantangan teknis, sosial ekonomi dan terkait kebijakan yang menghambat efisiensi dan penerapan sebagai sumber energi berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keadaan produksi biogas di Indonesia dari tahun 2016 sampai 2024, dengan sosial pada aspek teknis, sosial-ekonomi dan kebijakan pemerintah yang mempengaruhinya. Studi menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR), menggunakan *Google Scholar* untuk mengumpulkan artikel yang relevan. Sebanyak 130 artikel dipilih berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, memastikan relevansi dan konsistensi data yang dianalisis. Temuan dalam studi menunjukkan bahwa kondisi optimal aspek teknis seperti

Untuk melakukan sitasi pada penelitian ini dengan format :

A. W. Nuruddin and A. Kalista, "Kajian Literatur Pengembangan Biogas dari Fermentasi Anaerob di Indonesia (2016-2024)," *JATI UNIK J. Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 8, no. 2, p. 136-151, 2025.

penggunaan substrat, mempertahankan suhu konstan 350°C dan tingkat pH 7, secara signifikan meningkatkan produksi biogas. Analisis ini juga melihat pentingnya insentif pemerintah dan kesadaran publik dalam mempromosikan adopsi biogas. Studi menyimpulkan bahwa upaya kolaboratif dalam mengoptimalkan teknologi, meningkatkan kesadaran publik dan menerapkan kebijakan yang mendukung sangat penting bagi biogas untuk berperan penting dalam bauran energi Indonesia yang pada akhirnya berkontribusi pada solusi energi terbarukan yang berkelanjutan. Studi ini berkontribusi pada kumpulan pengetahuan yang ada dengan memberikan wawasan tentang interaksi antara teknologi, sosial ekonomi, dan kerangka kebijakan dalam produksi biogas, serta menawarkan dasar penelitian kedepannya dan aplikasinya dalam energi terbarukan.

1. Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan dasar bagi pembangunan di berbagai sektor, termasuk industri, transportasi, rumah tangga, dan sektor lainnya [1], [2]. Energi konvensional dominan, berdampak negatif pada lingkungan. Indonesia mendukung diversifikasi energi terbarukan dan efisiensi, seiring penandatanganan *Paris Agreement* pada 23 April 2016 [3]. Indonesia berkomitmen mengurangi masalah lingkungan dengan transisi energi ke sumber terbarukan dan berkelanjutan, salah satunya melalui biogas dari fermentasi anaerob bahan organik [4][5].

Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan biogas, terutama dari limbah pertanian, peternakan, dan sampah organik, seperti di Boyolali dengan produksi 14,95 kg/hari [6][7]. Dengan dukungan pemerintah dan masyarakat, pengembangan biogas di Indonesia dapat mengatasi masalah sampah organik, mengurangi dampak lingkungan, dan menciptakan keberlanjutan energi serta perekonomian negara [8].

Melalui fermentasi anaerob, biogas dihasilkan dari bahan organik yang diolah oleh bakteri anaerob dalam *digester* yang berada pada kondisi kedap udara, menghasilkan gas *metana* (CH₄) dan karbondioksida (CO₂) sebagai komponen utama [9]. Efisiensi proses ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti suhu, pH, rasio karbon-nitrogen (C/N), dan jenis bahan baku yang digunakan [10][11]. *Digester* sendiri adalah tempat dimana proses fermentasi anaerob terjadi untuk menghasilkan biogas. Limbah organik diolah menjadi sumber energi ramah lingkungan, untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Pemanfaatan limbah organik untuk menghasilkan biogas dapat memberikan manfaat yang besar dalam upaya menjaga keberlanjutan lingkungan dan sumber daya alam Indonesia.

Studi empiris sebelumnya telah mengembangkan teknologi *digester* yang lebih efisien, termasuk modifikasi sistem *fixed dome*, *floating drum*, dan *plastic drum digester* [12][13][14]. Meskipun Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan energi

terbarukan seperti biogas, pemanfaatan energi terbarukan masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk ketergantungan pada subsidi bahan bakar fosil, kesulitan pengadaaan lahan, tingginya biaya investasi dan kurangnya infrastruktur jaringan transmisi dan distribusi yang memadai [15][16]. Rendahnya adopsi teknologi oleh masyarakat, akibat kurangnya sosialisasi dan insentif ekonomi, biaya awal yang relative tinggi sering menjadi hambatan bagi rumah tangga dan industri kecil dalam mengimplementasikan sistem biogas [17]. Dari sisi teknis, stabilitas produksi biogas masih menjadi isu, terutama dalam hal fluktuasi suhu dan kandungan bahan organik yang bervariasi [18][19]. Masalah pengolahan limbah organik yang tepat menjadi faktor penting dalam keberhasilan produksi biogas, sehingga menjadi solusi bagi berbagai tantangan energi di masa depan.

Kebijakan energi terbarukan Indonesia belum optimal mendukung biogas, sehingga potensi limbah organik belum dimanfaatkan secara maksimal [20]. Inkonsistensi dan kurangnya koherensi regulasi menciptakan ketidakpastian, menghambat investasi dan implementasi proyek biogas secara berkelanjutan di Indonesia [21][22]. Keterbatasan infrastruktur dan teknologi canggih membatasi produksi biogas skala besar, menurunkan efisiensi dan menghambat pengembangan energi terbarukan secara optimal [21][23]. Adapun tantangan terhadap sosial ekonomi, biaya modal yang tinggi dan penerimaan publik yang terbatas menghambat pembentukan fasilitas limbah menjadi energi, serta kurangnya sistem pemilahan yang tepat mempersulit pasokan bahan baku proses produksi biogas [24]. Meskipun dihadapkan pada berbagai tantangan, semakin banyak pihak yang mengakui manfaat strategis biogas, terutama dalam mendorong keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan emisi gas rumah kaca dan pemanfaatan limbah organik. Selain itu, biogas berpotensi menciptakan peluang ekonomi baru, seperti lapangan kerja di sektor energi hijau dan peningkatan pendapatan masyarakat di pedesaan. Pengakuan ini membuka peluang untuk reformasi kebijakan yang lebih mendukung, termasuk insentif fiskal, subsidi teknologi, serta kerangka regulasi yang lebih stabil dan progresif. Praktiknya, dalam pengolahannya juga terdapat sistem fermentasi anaerobik yang lebih efisien dan terdesentralisasi, dapat memperkuat daya saing energi ini dalam bauran energi nasional [14], [18]

Dalam aspek teknik dan sosial ekonomi, optimalisasi teknologi penting dilakukan untuk meningkatkan efisiensi produksi biogas sebagai sumber energi berkelanjutan yang layak [25]. Peningkatan kesadaran publik dan dukungan kebijakan yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan adopsi biogas, dengan pemerintah yang dapat memberikan kebijakan insentif dan subsidi untuk mendorong percepatan infrastruktur biogas

[26][27][28]. Selain itu, penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan sangat penting untuk mengatasi hambatan teknis dan ekonomi, memungkinkan penciptaan metode produksi biogas yang lebih efisien dan hemat biaya [27]. Biogas lebih kompetitif dari fosil jika biaya produksi turun, teknologi optimal, dan kebijakan serta kesadaran publik meningkat [16][29]. Minimnya studi komprehensif hambat pemahaman dampak kesadaran publik dan efektivitas kebijakan biogas [27][29]. Kurangnya analisis menyeluruh proyek biogas hambat integrasi kebijakan lingkungan dan strategi produksi [29]. Penelitian ini menginformasikan strategi kolaboratif masyarakat-pemerintah untuk pengelolaan biogas berkelanjutan dan kebijakan energi holistik.

Studi literatur dilakukan bertujuan untuk meneliti kemajuan penelitian biogas dari fermentasi anaerob di Indonesia dari tahun 2016 hingga 2024. Studi ini akan menganalisis tren dari aspek teknis, aspek sosial ekonomi dan peran masyarakat pemerintah untuk pengembangan biogas di masa depan. Dengan memahami aspek-aspek ini, diharapkan dapat memberikan rekomendasi bagi pembuat kebijakan, akademisi, dan praktisi untuk mengoptimalkan pemanfaatan biogas sebagai sumber energi alternatif di Indonesia.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain kualitatif dengan pendekatan deskriptif berbasis *Systematic Literature Review* (SLR), mengkaji biogas di Indonesia periode 2016–2024 untuk mengintegrasikan literatur, memperkuat teori, mengidentifikasi tren, serta menemukan *gap* penelitian [30]. SLR dipilih karena memberikan prosedur yang sistematis dan transparan untuk mendeteksi, mereview, dan mensintesis literatur yang relevan dengan mengacu pada panduan PRISMA (*Preference, Reporting Items for Systematic Literature Review and Meta-Analysis*) [30].

2.2 Populasi dan Sampel

Populasi penelitian ini adalah seluruh publikasi tentang fermentasi anaerob dan biogas, sedangkan sampelnya dipilih berdasarkan kriteria inklusi-eksklusi dari sumber terbuka, tersitasi, dan dapat diverifikasi periode 2016–2024.

2.3 Instrumen Penelitian

Studi ini diperoleh dari berbagai sumber jurnal ilmiah dan prosiding konferensi terkait biogas melalui *Google Scholar* dengan sumber tersitasi, akses publikasi terbuka. Hal ini karena data yang dikutip memungkinkan verifikasi temuan penelitian, meningkatkan

kepercayaan pada hasil ilmiah serta memungkinkan akses terbuka ke data yang mendukung di jangka panjang baik dalam konteks akademik maupun industri [31][32]. Data diolah berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi untuk memastikan konsistensi dan relevansi subjek atau studi dalam penelitian [33].

Adapun kriteria inklusi yang digunakan dalam seleksi literatur sebagai berikut.

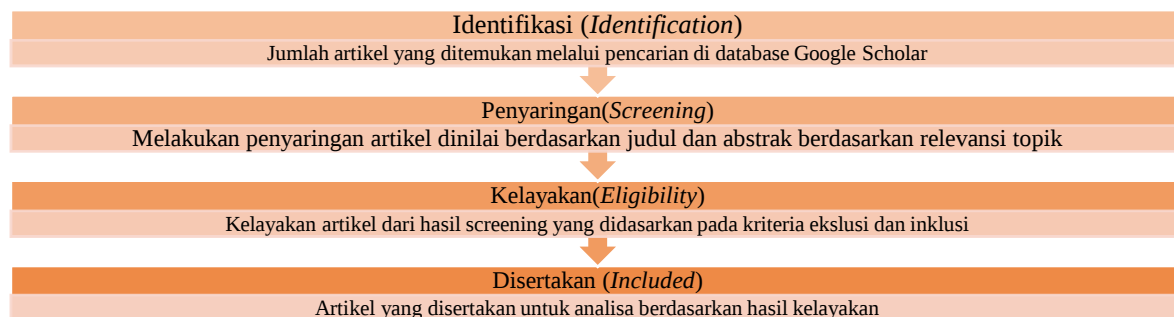
- a. (I-1) Publikasi yang diterbitkan dalam periode 2016-2024.
- b. (I-2) Artikel membahas fermentasi anaerob untuk produksi biogas di Indonesia.
- c. (I-3) Studi mencakup aspek teknis, ekonomi, sosial dan kebijakan terkait biogas.
- d. (I-4) Publikasi dalam bahasa Indonesia atau inggris.

Adapun kriteria eksklusi dalam seleksi literatur ini sebagai berikut.

- a. (E-1) Studi hanya membahas fermentasi anaerob tanpa ada kaitannya dengan biogas.
- b. (E-2) Artikel dengan metodologi yang tidak jelas atau kurang dapat diandalkan.
- c. (E-3) Dokumen tidak dapat diakses secara lengkap.

2.4 Metode Pengumpulan dan Analisis Data

Prosedur penelitian dengan tahap bahwa diperoleh dari berbagai sumber dianalisis menggunakan *content analysis* yaitu pendekatan yang berfokus pada identifikasi pola dan temuan dalam literatur dengan membaca dan memahami artikel serta mengelompokkannya sesuai dengan tema untuk menghindari bias.



Gambar 1. Diagram Alur PRISMA Studi Literatur
(Sumber: Olah data, 2024)

Analisa dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

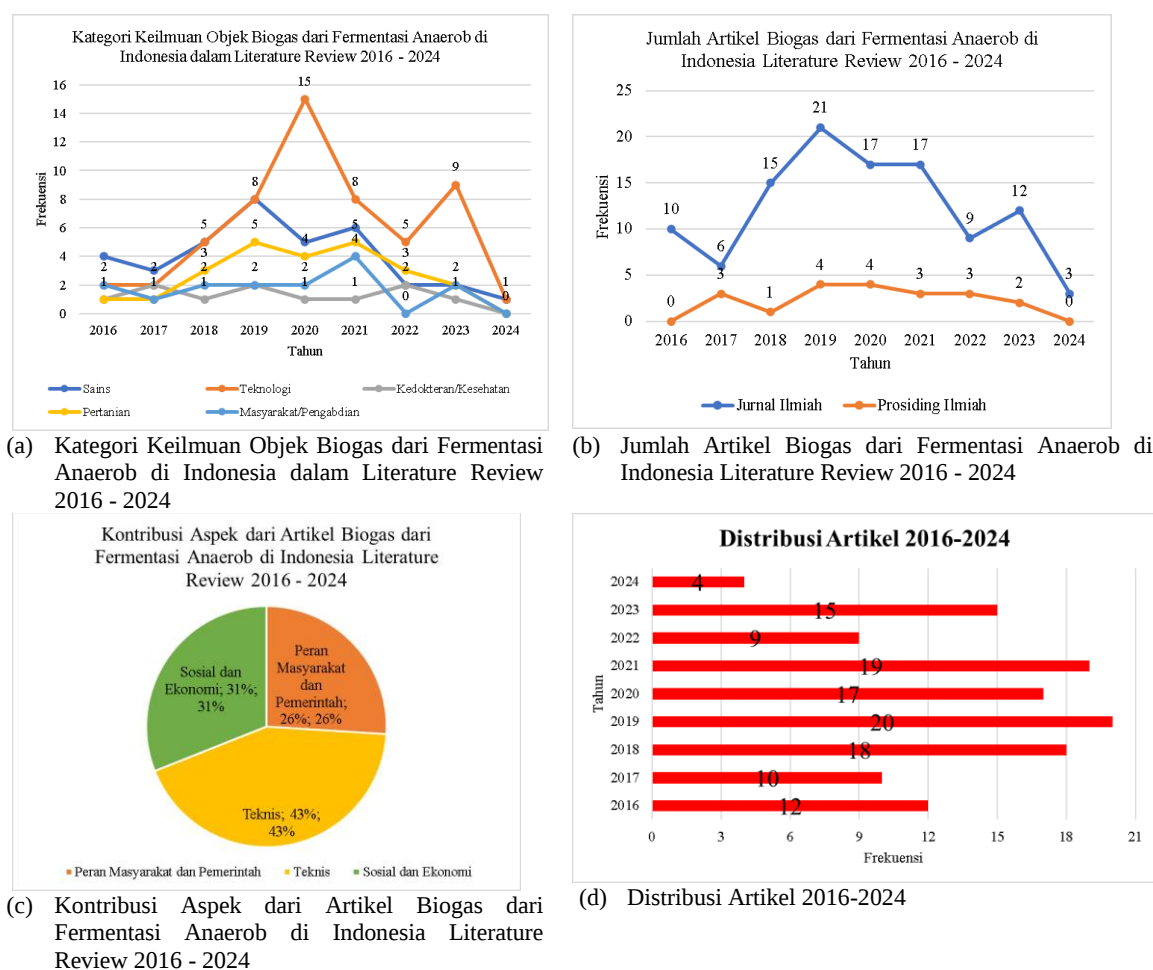
- a. Identifikasi tema temuan: identifikasi dilakukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang kemudian mengelompokkannya berdasarkan relevansi tema.
- b. Identifikasi dan pengelompokan tema yang saling berkaitan untuk mendapatkan gambaran paradigma perkembangan biogas berdasarkan aspek teknis, sosial ekonomi, peran masyarakat dan pemerintah.

- c. Melakukan sintesis dan interpretasi dengan menghubungkan tema untuk menjelaskan dinamika berdasarkan aspek-aspek yang diteliti.
- d. Laporan yang merefleksikan potensi kesenjangan dibalik setiap penelitian untuk mendapatkan informasi yang membuka peluang untuk penelitian selanjutnya

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengelompokkan Data Jurnal dan Prosiding

Distribusi artikel ilmiah berdasarkan kategori keilmuan dan jenis publikasi antara tahun 2016 hingga 2024. Total artikel mencapai 130, dengan jumlah tertinggi pada kategori Teknologi (55 artikel), diikuti oleh Sains (36 artikel). Dari segi jenis publikasi, sebagian besar artikel dipublikasikan dalam jurnal ilmiah (110 artikel), sementara prosiding ilmiah hanya 20 artikel. Dalam aspek kontribusi, penelitian terkait aspek teknis mencakup 43% dari total artikel, diikuti oleh aspek sosial dan ekonomi (31%), serta peran masyarakat dan pemerintah (26%) (Gambar 2).



Gambar 2. Pengelompokkan Data Jurnal dan Prosiding
(Sumber: Olah data, 2024)

3.2 Analisa Aspek Teknis dari Produksi Biogas

Produksi biogas melalui fermentasi anaerob bahan organik menjanjikan, namun perlu optimasi untuk meningkatkan efisiensi dengan sub aspek sebagai berikut.

a. Komposisi dan Optimasi Substrat (Campuran Substrat)

Kombinasi substrat kotoran sapi dan limbah cair dengan rasio 1:1,25 menghasilkan biogas tertinggi, dengan kandungan metana mencapai 42% [34]. Studi lain menunjukkan rasio C/N penting, dengan campuran 60:40 kotoran sapi dan sekam padi meningkatkan kualitas dan kuantitas biogas [35]. Sejalan dengan penelitian [36], [37], bahwa kombinasi kotoran sapi dan serbuk gergaji dalam rasio tertentu meningkatkan produksi biogas, volume gas, dan kandungan metana, dengan komposisi substrat optimum untuk hasil maksimal [37].

b. Kondisi Proses (Kontrol Suhu dan pH)

Suhu 35°C dan pH konstan penting dalam produksi biogas, dengan suhu ini menghasilkan tekanan gas tertinggi yang optimal dalam proses fermentasi [35]. Tingkat pH 7 memaksimalkan kandungan metana, menunjukkan pentingnya kontrol pH dalam produksi biogas [38]. Seiring dengan penelitian yang dilakukan [39], bahwa kontrol fermentasi anaerob pada suhu 20°C-36°C dan pH 7,5-8,5 memaksimalkan produksi biogas [40] dan [41] bahwa interaksi antara suhu dan pH terbukti mempengaruhi volume gas dan harus terkontrol untuk mengoptimalkan *output* produksi biogas.

c. Pendekatan metodologi (Teknik fermentasi anaerob)

Penggunaan *reaktor batch* umum digunakan dalam studi yang ditinjau, dengan variasi komposisi substrat dan kondisi lingkungan menjadi faktor kunci dalam menentukan hasil biogas [34][35]. Disisi lain, interval pengadukan dan durasi pencernaan anaerob juga diidentifikasi sebagai faktor yang berpengaruh, dengan interval pengadukan 8 jam dalam *digester* mengarah ke produksi biogas yang optimal dalam satu percobaan [35].

Studi mendatang dapat fokus pada optimasi substrat, kontrol proses, dan pengembangan sistem biogas efisien untuk keberlanjutan energi terbarukan. Hal ini koheren terhadap hasil penelitian [42], [43], [44], bahwa fermentasi anaerob *co-digestion*, *pre-treatment*, pemilihan inokulum yang tepat meningkatkan mikroba, biodegradabilitas, serta stabilitas proses biogas melalui pemantauan suhu, pH, dan waktu [42] dan integrasi teknologi perangkat lunak seperti pemantauan waktu nyata (*real time*) untuk mengoptimalkan proses meningkatkan efektivitas proses fermentasi anaerob [43].

3.3 Analisa Aspek Sosial dan Ekonomi dari Produksi Biogas

Biogas menawarkan potensi energi terbarukan, penting untuk aspek sosial ekonomi dan implementasi, dengan temuan berikut.

a. Manfaat Sosial Ekonomi (Penghematan dan Peluang Ekonomi)

Biogas mengurangi biaya energi rumah tangga, menggantikan LPG, dan menciptakan peluang bisnis baru seperti *bioslurry* [45].

Senada dengan penelitian [46], Aplikasi biogas 16 m³ menggantikan 3 kg LPG, setara Rp 320.000-Rp 400.000 per bulan, mengurangi ketergantungan fosil. Hasil penelitian senada oleh [47], aplikasi biogas rumah tangga memberikan manfaat rata-rata Rp. 20.000,- per bulan, mengurangi emisi gas rumah kaca sekitar 185 kg dan pengurangan konsumsi energi fosil sekitar 50%.

b. Pemberdayaan Masyarakat dan Partisipasi

Keterlibatan masyarakat dalam proyek biogas penting untuk keberhasilan, meningkatkan rasa kepemilikan, tanggung jawab, serta keberlanjutan melalui pelatihan dan pendidikan teknologi biogas [45][48]. Diperkuat hasil penelitian yang mengedepankan keberlanjutan aplikasi biogas oleh [49], Pemberdayaan melalui perencanaan, implementasi, pemantauan, dan pendampingan mempengaruhi keberlanjutan biogas, terutama pada tahap perencanaan [50], pemberdayaan melalui kesadaran, kapasitas, dan pemberdayaan menghasilkan 40 *digester*, mempromosikan keberlanjutan energi desa mandiri.

c. Tantangan dan Hambatan (Akses dan ekuitas)

Memastikan akses yang adil terhadap teknologi biogas tetap menjadi tantangan. Ada kebutuhan untuk kebijakan yang mempromosikan distribusi dan akses yang adil, terutama di daerah pedesaan dan daerah yang kurang terlayani [51]. Adapun perihal investasi atau biaya awal instalasi biogas dapat menjadi penghalang bagi masyarakat dan ini membutuhkan dukungan keuangan dan insentif [48]. Selaras dengan penelitian [52], tantangan teknologi biogas di Limpopo dengan biaya tinggi, pemeliharaan sulit, bahan baku terbatas, kurangnya penelitian, perlu keberlanjutan. [53].

d. Faktor Budaya dan Perilaku

Persepsi budaya dan penerimaan teknologi biogas mempengaruhi adopsi, penting memahami sikap dan perilaku lokal [45]. Dampak ekonomi jangka panjang adopsi biogas perlu tindak lanjut untuk mengukur pengaruh terhadap pendapatan rumah tangga dan ekonomi lokal [45]. Disisi lain, perlunya penerimaan sosial dan perubahan perilaku perlu kajian untuk strategi peningkatan tingkat adopsi biogas [52],

di Ethiopia selatan, pendidikan dan pendapatan tahunan berhubungan dengan tingkat adopsi biogas. Studi [54], menyatakan bahwa faktor budaya (adat istiadat, kepercayaan dan praktik lokal) memiliki hubungan signifikan dengan adopsi teknologi di saat promosi teknologi biogas dilakukan, dan [55] merekomendasikan pentingnya memahami faktor perilaku dan pertimbangan teknis dalam mempromosikan adopsi dan penggunaan keberlanjutan teknologi biogas.

3.4 Analisa Peran Masyarakat dan Kebijakan Pemerintah

a. Kebijakan Pemerintah dan Insentif

Kebijakan pemerintah berperan penting dalam mempromosikan adopsi produksi biogas, dengan insentif dan subsidi yang dapat mendorong keberlanjutan produksi biogas [56][57]. Namun, pembahasan terkait evaluasi dampak jangka panjang terhadap pembangunan infrastruktur biogas masih minim, sehingga diperlukan pembahasan lebih lanjut mengenai hal ini.

b. Interaksi Peraturan Pemerintah dan Penerimaan Masyarakat

Interaksi antara kebijakan pemerintah dan penerimaan masyarakat serta struktur tata kelola memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan inisiatif biogas dengan perencanaan infrastruktur yang layak [56][57]. Studi lanjutan diperlukan untuk memahami bagaimana hal ini dapat memfasilitasi atau menghalangi keberlanjutan biogas, serta peran pemerintah dan otoritas lokal dalam pengembangan biogas yang berkelanjutan [58][59].

c. Kolaboratif dan Koordinasi *Stakeholder*

Pendekatan kolaboratif yang melibatkan pemangku kepentingan, seperti pemerintah, organisasi berpengaruh, dan masyarakat, sangat penting dalam merencanakan dan menjalankan kebijakan biogas berkelanjutan [60][61]. Dukungan dari pemerintah dalam bentuk insentif pajak, subsidi, dan hibah sangat mendukung pengembangan akan manfaat *biodigester* biogas berkelanjutan [62]. Namun, kebijakan energi terbarukan perlu memperhatikan kompleksitas dan konsekuensi tidak diinginkan yang dapat muncul, seperti paradoks keberlanjutan, yang terjadi jika desain dan implementasi kebijakan buruk [63].

3.5 Hubungan Sub Aspek dengan Aspek dalam Produk Biogas

Hubungan sub-aspek dalam produk biogas mencakup optimasi substrat, kondisi proses, fermentasi, manfaat sosial, kebijakan, pemberdayaan, tantangan, faktor budaya, insentif, interaksi masyarakat, dan koordinasi *stakeholder* (Tabel 1).

Tabel 1. Sub Aspek dengan Aspek dalam Produk Biogas

Sub Aspek	Teknis	Sosial Ekonomi	Kebijakan & Stakeholder
Komposisi & Optimasi Substrat	Mengoptimalkan campuran substrat untuk efisiensi biogas	Mempengaruhi efisiensi energi rumah tangga dan ekonomi lokal	Terkait dengan insentif penggunaan substrat tertentu
Kondisi Proses (Suhu & pH)	Pengontrolan suhu (35°C) dan pH (7) untuk maksimalisasi produksi biogas	Dampak pada biaya energi rumah tangga dan potensi penghematan	Terkait dengan regulasi operasional biogas
Metodologi Fermentasi	Teknik fermentasi anaerob dan kontrol proses	Pengurangan biaya energi dan peluang bisnis baru (bioslurry sebagai pupuk)	Kebijakan terkait teknologi fermentasi dan reaktor biogas
Manfaat Sosial Ekonomi		Penghematan biaya energi, peningkatan pendapatan melalui bioslurry	Mendorong kebijakan dengan subsidi dan insentif
Pemberdayaan & Partisipasi		Keberhasilan proyek bergantung pada pelatihan masyarakat dan partisipasi	Dukungan kebijakan untuk pelatihan dan insentif meningkatkan kapasitas sosial
Tantangan & Hambatan	Biaya awal dan kesulitan pemeliharaan	Masalah akses teknologi dan dana yang menghambat penggunaan biogas	Kebijakan dan insentif mengatasi tantangan biaya dan pemeliharaan
Faktor Budaya & Perilaku		Faktor budaya mempengaruhi penerimaan teknologi biogas	Kebijakan dan promosi yang sesuai dengan budaya lokal mendukung adopsi
Kebijakan & Insentif	Kebijakan riset dan pengembangan mempercepat inovasi teknologi biogas	Kebijakan pengurangan biaya operasional dan akses teknologi meningkatkan ekonomi	Insentif, subsidi, dan pajak untuk mendukung adopsi biogas dan infrastruktur
Interaksi Pemerintah & Masyarakat		Penerimaan masyarakat penting untuk kesuksesan implementasi	Kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta
Koordinasi Stakeholder	Koordinasi penting untuk keberlanjutan sistem biogas	Kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan bisnis mendukung pengembangan biogas	Pemangku kepentingan aktif dalam perencanaan, implementasi, dan evaluasi

(Sumber: Olah data, 2024)

3.6 Implikasi Hasil Studi

Studi ini mengenai produksi biogas melalui fermentasi anaerob memberikan wawasan yang berharga dan relevansi tinggi untuk penelitian di bidang energi terbarukan, dengan beberapa implikasi yang layak untuk ditindaklanjuti.

a. Optimasi Substrat dan Kondisi Proses

Penelitian ini mengungkapkan bahwa kombinasi substrat dan kondisi proses yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan hasil produksi biogas. Temuan ini membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut mengenai interaksi substrat yang beragam, yang dapat mempercepat pengembangan sistem biogas yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

b. Kontribusi pada Keberlanjutan Energi Terbarukan

Fokus pada pengembangan sistem produksi biogas yang lebih efisien, studi ini turut mendukung keberlanjutan energi terbarukan. Hal ini relevan dengan upaya global,

termasuk di Indonesia, yang tengah mendorong transisi menuju energi alternatif bersih dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

c. Peran Sosial Ekonomi dan Kebijakan

Faktor sosial ekonomi dan keterlibatan masyarakat dalam pengembangan dan penerapan sistem biogas memainkan peran penting dalam memastikan keberhasilan adopsi teknologi ini. Kebijakan yang mendukung dapat meningkatkan penerimaan masyarakat, yang pada gilirannya mempercepat transisi energi terbarukan secara luas.

Studi ini dengan metodologi yang digunakan mengadopsi pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) dengan keterbatasan sumber data, dimana data kualitas dan aksesibilitas data hanya didasarkan pada *Google Scholar*. Akan tetapi studi tetap melihat dan melakukan evaluasi atas keterbatasan ini. Adapun untuk keperluan penelitian ke depannya diharapkan dapat menggunakan kualitas data yang bersumber dari jurnal dengan kualitas dan kredibilitas tinggi, misal Sinta 1, *scopus*, dan jurnal yang terindeks tinggi lainnya.

4. Kesimpulan

Studi ini menunjukkan bahwa pengembangan teknologi biogas memiliki peran strategis dalam mendukung transisi energi terbarukan di Indonesia. Optimasi kombinasi substrat serta penyesuaian parameter proses seperti suhu dan pH terbukti signifikan dalam meningkatkan volume produksi biogas dan kandungan metana. Untuk memperkuat implementasi teknologi ini, diperlukan dukungan kebijakan yang mendorong efisiensi sistem biogas serta pengembangan riset lanjutan mengenai parameter teknis dan standarisasi proses. Dampak sosial ekonomi yang ditimbulkan mencakup pengurangan biaya energi rumah tangga, penciptaan peluang usaha melalui pemanfaatan bioslurry, dan peningkatan keterlibatan masyarakat. Pemerintah memiliki peran penting dalam memastikan akses yang adil terhadap teknologi biogas melalui subsidi, pembiayaan yang terjangkau, dan program pelatihan teknis.

Daftar Pustaka

- [1] R. C. K. Pangestu and A. A. K. Ayuningsasi, “Pengaruh Konsumsi Energi Sektor Industri, Rumah Tangga, dan Transportasi terhadap Emisi Karbon di Indonesia,” *Inisiat. J. Ekon. Akunt. dan Manaj.*, vol. 3, no. 4, pp. 297–311, 2024.
- [2] R. Delfianti, E. Roviando, C. Harsito, J. A. Pradana, V. Pongajow, and S. R. Joshua, “Daily Electrical Energy Forecasting in Rooftop Photovoltaic Systems: A Case Study,” *J. Soft Comput. Data Min.*, vol. 5, no. 2, pp. 197–207, 2024, doi: 10.30880/jscdm.2024.05.02.015.

- [3] H. B. Hulu, “Analisis Efektivitas Paris Agreement Terhadap Indonesia Sebagai Anggota G20 Dalam Menangani Climate Change,” *Nucl. Phys.*, vol. 13, no. 1, pp. 104–116, 2023.
- [4] Aulia Wulansari Agustin, S. Sudarti, and Y. Yushardi, “Potensi Pemanfaatan Biogas Dari Sampah Organik Sebagai Sumber Energi Terbarukan,” *INSOLOGI J. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 6, pp. 1109–1116, 2023, doi: 10.55123/insologi.v2i6.2841.
- [5] S. Thamrin and M. S. Boedoyo, “Potensi Air Limbah Tahu Sebagai Sumber Energi Terbarukan (Biogas) untuk Meningkatkan Ketahanan Energi Daerah,” vol. 8, pp. 926–934, 2025.
- [6] Semin, A. Z. M. Fathallah, B. Cahyono, I. M. Ariana, and Sutikno, “Kajian Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Bahan Bakar Biogas Murah Dan Terbarukan Untuk Rumah Tangga Di Boyolali,” *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 11, no. 2, pp. 212–220, 2014.
- [7] B. Kawasi, “Pemetaan Program Kegiatan Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca di Provinsi Kepulauan Riau 2023 – 2025 Mapping of the Greenhouse Gas Emission Reduction Activity Program in Riau Islands Province 2023 – 2025,” vol. XX, no. X, pp. 1–28, 2025.
- [8] G. Schouten, R. Padfield, and D. Kraamwinkel, “Contested representations: A comparative analysis of palm oil sustainability in Malaysian and Dutch media,” *World Dev. Sustain.*, vol. 3, no. January, p. 100075, 2023, doi: 10.1016/j.wds.2023.100075.
- [9] Y. Kurniati, A. Rahmat, B. I. Malianto, D. Nandayani, and W. S. W. Pratiwi, “Review Analisa Kondisi Optimum Dalam Proses Pembuatan Biogas,” *Rekayasa J. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 2, pp. 272–281, 2021, doi: 10.21107/rekayasa.v14i2.11305.
- [10] V. C. Kurnia, S. Sumiyati, and G. Samudro, “Pengaruh Kadar Air Terhadap Hasil Pengomposan Sampah Organik Dengan Metode Open Windrow,” *J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, p. 58, 2017, doi: 10.22441/jtm.v6i2.1191.
- [11] Y. E. K. Maturbongs, “Perancangan Alat Biogas Dari Enceng Gondok,” *Roda Gigi*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2017.
- [12] A. Haryanto *et al.*, “Rancang Bangun Dan Uji Kinerja *Digester* Biogas Rumah Tangga Tipe Floating Tank Dengan Substrat Kotoran Sapi,” *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 9, no. 2, pp. 130–142, 2021, doi: 10.29303/jrpb.v9i2.255.
- [13] A. Haryanto, S. Triyono, M. Telaumbanua, and D. Cahyani, “Pengembangan Listrik Tenaga Biogas Skala Rumah Tangga Untuk Daerah Terpencil Di Indonesia,” *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 8, no. 2, pp. 168–183, 2020, doi: 10.29303/jrpb.v8i2.187.
- [14] Y. Yusmiati and B. Singgih, “Teknologi Produksi Biogas dari Limbah Ternak untuk Memenuhi Kebutuhan Energi Rumah Tangga,” *Inov. Pembang. J. Kelitbangan*, vol. 6, no. 01, pp. 39–48, 2018, doi: 10.35450/jip.v6i01.55.
- [15] D. Firmansyah *et al.*, “Analisis ekonomi pemanfaatan energi terbarukan di indonesia untuk pembangunan berkelanjutan,” vol. 2, no. 12, 2024.
- [16] S. Herindrasti, B. Angelina, P. Putriwinata, and U. K. Indonesia, “Pengembangan Kebijakan Energi Terbarukan di Indonesia, Vietnam, dan Laos Sinta Herindrasti 1* ,

- Bonita Angelina 2 , Priscillia Putriwinata 3,” vol. 8090, no. 2, pp. 154–172, 2024, doi: 10.22219/jurnalsospol.v10i2.35634.
- [17] L. Julia Lingga, M. Yuana, N. Aulia Sari, H. Nur Syahida, and C. Sitorus, “Sampah di Indonesia: Tantangan dan Solusi Menuju Perubahan Positif,” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, pp. 12235–12247, 2024.
- [18] B. Trisakti, Irvan, and D. B. Sitompul, “Stabilitas *Digester* Anaerobik Satu Tahap dalam Produksi Biogas pada Variasi,” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 10, no. 1, pp. 25–30, 2021.
- [19] Soeprijanto, Suprpto, D. Hari, and N. F. Puspita, “Pembuatan Biogas Dari Kotoran Sapi Menggunakan,” *Lppm Its*, pp. 1–9, 2017.
- [20] A. Komari, “Integrasi Cost Plus Pricing, SWOT dan QSPM dalam Pemanfaatan Sampah Plastik,” *JATI UNIK J. Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 5, no. 1, pp. 28–40, 2021, doi: 10.30737/jatiunik.v5i1.1975.
- [21] K. Mudhoffar and L. Magriasti, “Ekonomi Politik Energi Terbarukan: Peluang dan Tantangan di Indonesia,” *Multiverse Open Multidiscip. J.*, vol. 3, no. 1, pp. 47–52, 2024, doi: 10.57251/multiverse.v3i1.1382.
- [22] F. O. Dayera, Musa Bundaris Palungan, “G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan,” *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 186–195, 2024.
- [23] K. Archana, A. S. Visckram, P. Senthil Kumar, S. Manikandan, A. Saravanan, and L. Natrayan, “A review on recent technological breakthroughs in anaerobic digestion of organic biowaste for biogas generation: Challenges towards sustainable development goals,” *Fuel*, vol. 358, p. 130298, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130298>.
- [24] M.- Maddi, “Balancing Acts: Unveiling Socio-Economic and Environmental Dimensions of Waste-To-Energy Policies in Indonesia,” *Dialogue J. Ilmu Adm. Publik*, vol. 6, no. 1, pp. 683–695, 2024, doi: 10.14710/dialogue.v6i1.22388.
- [25] R. W. Ningrum *et al.*, “Aplikasi Sistem Monitoring Kadar Gas Metana Pada Biodigester Berbasis Website,” vol. 11, no. 6, pp. 6403–6406, 2024.
- [26] S. Yana and P. Mauliza, “Energi Terbarukan dalam Perspektif Bio-Ekonomi : Analisis Terpadu Dampak Lingkungan dan Manfaat Finansial,” vol. IX, no. 2, pp. 9134–9141, 2024.
- [27] J. Keuangan, E. Berkelanjutan, and D. I. Era, “Currency : Currency :,” vol. 03, pp. 343–361, 2024.
- [28] Khairuna, Ulfia, Maryam, S. Ikhbar, and C. Rusmina, “Optimalisasi Energi Biomassa : Solusi Energi Terbarukan untuk Ekonomi Hijau dengan Tinjauan Finansial dan Lingkungan,” vol. IX, no. 3, pp. 10284–10291, 2024.
- [29] R. A. Al Batistuta, A. H. Dharmawan, and B. E. Yulian, “Analisis Keberlanjutan Biogas Skala Mikro di Pedesaan (Studi Kasus di Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat),” *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 1, no. 19, pp. 181–190, 2021, doi: 10.14710/jil.19.1.181-190.
- [30] D. Pati and L. N. Lorusso, “How to Write a Systematic Review of the Literature,” *Heal. Environ. Res. Des. J.*, vol. 11, no. 1, pp. 15–30, 2018, doi: 10.1177/1937586717747384.

- [31] J. Starr *et al.*, “Achieving human and machine accessibility of cited data in scholarly publications,” *PeerJ Comput. Sci.*, vol. 2015, no. 5, pp. 1–22, 2015, doi: 10.7717/peerj-cs.1.
- [32] N. Blomberg *et al.*, “Patterns of database citation in articles and patents indicate long-term scientific and industry value of biological data resources,” *F1000Research*, vol. 5, pp. 1–15, 2016, doi: 10.12688/f1000research.7911.1.
- [33] S. E. Rikomah, D. Novia, and S. Rahma, “Gambaran Penggunaan Antibiotik Pada Pasien Pediatri Infeksi Saluran Pernapasan Akut (Isipa) Di Klinik Sint. Carolus Bengkulu,” *J. Ilm. Manuntung*, vol. 4, no. 1, pp. 28–35, 2018, doi: 10.51352/jim.v4i1.134.
- [34] Ramdiana, “Pengaruh Variasi Komposisi Pada Campuran Limbah Cair Aren dan Kotoran Sapi Terhadap Produksi Biogas The Influence of Composition Variation on The Mixture of Aren (Arenga Pinata Merr) Liquid Waste and Cow Dung on Gas Production,” vol. 14, no. 2, pp. 12–17, 2017.
- [35] W. Hidayat, W. Pisen, D. Biksono, A. Asri, and Y. Putra, “Analisis Optimalisasi Produksi Biogas Dari Kotoran Sapi Dan Jerami Dengan Menggunakan Energi Termal,” *Pros. Simp. Nas. Multidisiplin*, vol. 2, pp. 57–63, 2021, doi: 10.31000/sinamu.v2i0.3389.
- [36] Osuji, M. I., Ogbulie, J. N., Nweke, C. O., and Nwanyanwu, C. E., “Optimizing Biogas Production: Comparative Analysis Of Organic Substrates For Enhanced Gas Yield,” *UMYU J. Microbiol. Res.*, vol. 9, no. 3, pp. 133–138, 2024, doi: 10.47430/ujmr.2493.015.
- [37] A. A. Mochtar, Jalaluddin, A. Mangkau, A. Sakka, I. Aqsa, and M. Khoir, “Biogas Production in a Variety of Sawdust and Cow Dung Mixtures Using the Intermittent Mixing Method,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2739, no. 1, 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2739/1/012019.
- [38] S. Prodi, T. Fisika, F. T. Elektro, and U. Telkom, “17.04.2176_Jurnal_Eproc,” in *e-Proceeding of Engineering*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 3977–3984.
- [39] D. Chinwendu, F. Sunkanmi, and O. Joshua, “Investigating the Synergistic Effect of Temperature and pH Dynamics on Biogas Yield from Lignocellulosic Biomass Codigested with Cow dung,” vol. 24, no. 12, pp. 139–162, 2024.
- [40] T. Genet, A. Birhanu, and K. Solomon, “Optimization of bio gas production from slaughterhouse wastes,” *African J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 8, pp. 283–295, 2018, doi: 10.5897/ajest2017.2456.
- [41] S. Sidi Habib, S. Torii, K. M. S., and A. Charivuparampil Achuthan Nair, “Optimization of the Factors Affecting Biogas Production Using the Taguchi Design of Experiment Method,” *Biomass*, vol. 4, no. 3, pp. 687–703, 2024, doi: 10.3390/biomass4030038.
- [42] M. A. N. T. Aunillah, B. B. Cezarridfalalah, E. A. Saputro, and N. A. Febrianto, “Review: Biogas Fermentation Process,” *Int. J. Eco-Innovation Sci. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 24–31, 2023, doi: 10.33005/ijeise.v4i1.116.
- [43] S. Indran, D. Divya, S. M. Rangappa, S. Siengchin, P. Merlin Christy, and L. R. Gopinath, “Perspectives of anaerobic decomposition of biomass for sustainable biogas production: A Review,” *E3S Web Conf.*, vol. 302, 2021, doi:

10.1051/e3sconf/202130201015.

- [44] N. Nwokolo, P. Mukumba, K. Oibileke, and M. Enebe, "Waste to energy: A focus on the impact of substrate type in biogas production," *Processes*, vol. 8, no. 10, pp. 1–21, 2020, doi: 10.3390/pr8101224.
- [45] M. Sari, P. H. Rokan, and D. M. Sari, "Mempromosikan Efisiensi Sumber Daya Melalui Eco-Lokalisasi : Analisis Keberlanjutan Desa Energi Berdikari Berbasis Biogas," *JASINTEK*, vol. 6, no. 1, pp. 1–19, 2024.
- [46] S. Sujono and H. Kusuma, "Penerapan Biogas Guna Mengurangi Pencemaran Lingkungan di Kelompok Tani Ternak," *PengabdianMu J. Ilm. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 7, no. 2, pp. 355–360, 2022, doi: 10.33084/pengabdianmu.v7i2.3305.
- [47] Z. Tazi Hnyine, S. Sagala, W. Lubis, and D. Yamin, "Benefits of Rural Biogas Implementation to Economy and Environment: Boyolali Case Study," *Forum Geogr.*, vol. 29, no. 2, p. 115, 2016, doi: 10.23917/forgeo.v29i2.996.
- [48] N. Zaman, E. Bachtiar, S. Gala, and A. Nuraliyah, "Pengolahan Kotoran Ternak Sapi Menjadi Biogas Dan Pupuk Organik Di Desa Purnakarya, Kecamatan Tanralili, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan," *J. Abdi Masy.*, vol. 6, no. 2, pp. 20–33, 2023, doi: 10.30737/jaim.v6i2.3411.
- [49] A. I. Sari, S. Suwanto, S. Suminah, and S. H. Purnomo, "Empowering the Community in the Use of Livestock Waste Biogas as a Sustainable Energy Source," *Sustain.*, vol. 14, no. 21, pp. 1–13, 2022, doi: 10.3390/su142114121.
- [50] D. W. Ningtyas T, S. Suwanto, and E. Lestari, "Pemberdayaan masyarakat melalui pengembangan desa mandiri energi (Studi kasus di Klaten Jawa Tengah)," *Unri Conf. Ser. Community Engagem.*, vol. 2, pp. 201–206, 2020, doi: 10.31258/unricsce.2.201-206.
- [51] D. A. Wardana, "Pengaturan Hukum tentang Pemanfaatan Biogas Sebagai Energi Terbaru dalam Mendorong Ekonomi Hijau (Green Economy) di Indonesia," *J. Bevinde.*, vol. 1, no. 05, pp. 27–42, 2023.
- [52] P. A. Raihana and W. Wulandari, "BIOGAS TECHNOLOGY IMPLEMENTATION IN RURAL AREAS: A CASE STUDY OF CAPRICORN DISTRICT IN LIMPOPO PROVINCE, SOUTH AFRICA," vol. 45, no. 7, pp. 626–630, 2016.
- [53] T. Rasimphi, B. Kilonzo, M. Tjale, D. Tinarwo, and P. Nyamukondiwa, "Review of implementation of biogas technology in rural communities of South Africa," *Cogent Soc. Sci.*, vol. 10, no. 1, p., 2024, doi: 10.1080/23311886.2024.2419536.
- [54] F. L. M. Ming'ate and S. N. Ikonya, "The Social Cultural Factors Influencing the Level of Adoption of Biogas as an Alternative Energy Source in Gakawa Location, Nyeri County, Kenya," *J. Mod. Green Energy*, vol. 3206, pp. 1–7, 2023, doi: 10.53964/jmge.2023004.
- [55] N. Yasmin and P. Grundmann, "Pre- And post-adoption beliefs about the diffusion and continuation of biogas-based cooking fuel technology in Pakistan," *Energies*, vol. 12, no. 16, pp. 1–16, 2019, doi: 10.3390/en12163184.
- [56] F. Hadinata, S. A. Nurjannah, C. Indriyati, A. Muhtarom, and A. Daud, "Pengolahan Sampah Organik Secara Biologis Dengan Biodigester Biogas Di Daerah Pinggiran Kota Palembang," *Appl. Innov. Eng. Sci. Res.*, no. November, pp. 18–19, 2020.

- [57] L. Magelhaes, “Model Pemberdayaan Berbasis Pemanfaatan Sumberdaya Alam yang Berkelanjutan: Studi pada Program Energi Terbarukan di Kabupaten Jombang,” *J. Econ. Dev. Issues*, vol. 1, no. 1, pp. 12–25, 2018, doi: 10.33005/jedi.v1i1.7.
- [58] A. Mahmud and J. Triwanto, “Strategi Pengembangan Biogas Dari Limbah Ternak Sapi Perah Di Kecamatan Pujon Kabupaten Malang,” *Semin. Keinsinyuran Progr. Stud. Progr. Profesi Ins.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2021, doi: 10.22219/skpsppi.v1i0.4214.
- [59] H. Teguh, P. K. Penelitian, D. Pengembangan, and K. Pati, “Strategi Pengembangan Mandiri Energi Dan Pupuk Organik Di Dukuh Rubiyah Desa Bageng Kecamatan Gembong Kabupaten Pati Management Strategies of Self-Reliant Energy and Organic Fertilizer in Rubiyah Subvillagebageng Village Gembong Subdistrict Pati Regency,” *J. Litbang*, vol. XII, no. 1, pp. 14–21, 2016.
- [60] X. Shan, M. Gustafsson, and S. Anderberg, “Policy risks in the biogas sector—the case of Sweden,” *Biofuels*, vol. 16, no. 3, pp. 292–306, 2024, doi: 10.1080/17597269.2024.2417452.
- [61] D. Rachmawatie and I. S. D. Ibrahim, “Sustainable Institutional Model for Biogas Development in Smart Village Society: Enhancing the Sustainable Energy Pathways in Yogyakarta,” *E3S Web Conf.*, vol. 594, 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202459406003.
- [62] L. Rocha-meneses, M. Luna-delrisco, and C. Arrieta, “Environmental Opportunities and Challenges for Renewable Energy Generation from Residual Biomass : A Case Study of,” pp. 1–20, 2023.
- [63] G. Mela and G. Canali, “How distorting policies can affect energy efficiency and sustainability: The case of biogas production in the Po Valley (Italy),” *AgBioForum*, vol. 16, no. 3, pp. 194–206, 2013.