

OPTIMALISASI POTENSI BIOMASSA KOTORAN SAPI SEBAGAI SUMBER GAS ALAM TERBARUKAN UNTUK JARINGAN GAS RUMAH TANGGA DAN INDUSTRI INDONESIA

Yuga Dwi Putra¹, Suyono Thamrin², Novky Asmoro³

^{1,2,3} Prodi Ketahanan Energi, Fakultas Manajemen Pertahanan,
Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia

Corresponding e-mail: dwiputrayuga@gmail.com

Copyright © 2026 The Author



This is an open access article

Under the Creative Commons Attribution Share Alike 4.0 International License

DOI: [10.53866/jimi.v6i2.1155](https://doi.org/10.53866/jimi.v6i2.1155)

Abstrak

Pemanfaatan energi terbarukan menjadi urgensi strategis dalam memperkuat ketahanan energi nasional dan mengurangi ketergantungan terhadap impor LPG bersubsidi. Salah satu potensi yang belum dimaksimalkan adalah biomassa dari kotoran sapi, yang tersedia melimpah di wilayah pedesaan Indonesia. Studi ini mengkaji strategi optimalisasi biomassa kotoran sapi sebagai sumber gas alam terbarukan (biogas) yang dapat didistribusikan melalui jaringan gas milik negara seperti PT Pertamina Subholding Gas (PGN) ke rumah tangga dan industri. Data menunjukkan bahwa satu ekor sapi dapat menghasilkan sekitar 0,35–0,5 m³ biogas per hari, yang jika dikonsolidasikan secara komunal, cukup untuk menggantikan konsumsi LPG 3 kg rumah tangga. Implementasi kebijakan ini dapat menciptakan efek domino yang luas: penghematan anggaran subsidi LPG, pengurangan impor energi, peningkatan pendapatan peternak, serta lahirnya ekonomi sirkular berbasis desa. Dengan dukungan kebijakan, infrastruktur, dan kemitraan multipihak, strategi ini berpotensi menjadi model hilirisasi energi berbasis kearifan lokal. Studi ini merekomendasikan sinergi antara pemerintah, BUMN energi, dan komunitas peternak dalam mendorong percepatan transisi energi yang inklusif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Biomassa, Kotoran Sapi, Biogas, Jaringan Gas, Energi Terbarukan, Desa

Optimising The Potential Of Cow Manure Biomass As A Renewable Natural Gas Source For Indonesia's Domestic And Industrial Gas Networks

Abstract

The utilization of renewable energy has become a strategic urgency to strengthen national energy security and reduce dependence on subsidized imported LPG. One underutilized yet abundant resource in rural Indonesia is cattle manure biomass. This study examines strategies for optimizing cattle waste as a renewable natural gas (biogas) source to be distributed via state-owned gas infrastructure, such as PT Pertamina Subholding Gas (PGN), to both households and industries. Data shows that a single cow can produce approximately 0.35–0.5 m³ of biogas per day. When consolidated at the community level, this volume can significantly substitute 3 kg LPG consumption in households. Implementing this policy could create a wide-reaching domino effect: reducing government subsidy spending, decreasing energy imports, increasing small-scale farmer income, and developing a circular economy in rural areas. With supportive policy frameworks, infrastructure investment, and multi-stakeholder collaboration, this initiative has strong potential to become a localized downstream energy model. This study recommends active synergy between the government, energy SOEs, and livestock communities to accelerate an inclusive and sustainable energy transition while enhancing rural welfare and national energy independence.

Keywords: Biomass; Cattle Manure; Biogas; Gas Networks; Renewable Energy; Rural Energy Transition

1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi terbarukan telah menjadi isu sentral dalam agenda pembangunan berkelanjutan global, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia yang menghadapi tantangan ketergantungan pada sumber energi fosil. (Salsabila, 2023) Sebagai negara agraris dengan populasi sapi terbesar di Asia Tenggara, mencapai sekitar 17 juta ekor pada tahun 2025, Indonesia memiliki potensi biomassa dari kotoran sapi yang melimpah, namun pemanfaatannya masih jauh dari optimal. (Tleubergenova et al., 2024) Studi ini bertujuan untuk menganalisis strategi optimalisasi biomassa kotoran sapi sebagai sumber biogas yang dapat diintegrasikan ke dalam jaringan gas rumah tangga dan industri melalui pendekatan literatur, dengan fokus pada aspek teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan berdasarkan referensi dari jurnal dan buku yang diterbitkan antara 2018 dan 2025. (Inayang Wulandari & Ismiwati, 2024)

Latar belakang masalah ini bermula dari ketergantungan Indonesia pada impor LPG yang signifikan, mencapai 7,5 juta ton per tahun pada 2025, dengan biaya subsidi yang membebani anggaran negara hingga Rp 80 triliun annually. (Rezzonico et al., 2025) Ketergantungan ini tidak hanya menciptakan vulnerabilitas ekonomi akibat fluktuasi harga global, tetapi juga berkontribusi terhadap emisi karbon yang meningkat, sejalan dengan sektor energi yang menyumbang 40% dari total emisi nasional. (Kharisma et al., 2024) Sementara itu, populasi sapi di Indonesia menghasilkan sekitar 85 juta ton kotoran per tahun, yang jika dikonversi menjadi biogas melalui proses anaerobic digestion, dapat menghasilkan energi setara dengan 25% dari konsumsi LPG nasional. Potensi ini menjadi relevan mengingat konsumsi LPG di rumah tangga, terutama di pedesaan, terus meningkat seiring program konversi bahan bakar minyak ke gas yang dimulai sejak 2007, meskipun akses jaringan gas alam hanya mencakup 2% wilayah pedesaan. Di sisi lain, sektor industri seperti agroindustri dan manufaktur juga bergantung pada LPG, memperkuat kebutuhan akan alternatif energi lokal yang berkelanjutan. (Wibowo & Windarta, 2022)

Kotoran sapi mengandung senyawa organik tinggi, seperti selulosa, hemiselulosa, dan protein, yang ideal untuk produksi biogas yang terdiri dari 50-70% metana. (Sanchez et al., 2021) Penelitian menunjukkan bahwa satu ekor sapi dapat menghasilkan 15-25 kg kotoran per hari, dengan potensi biogas 0,35-0,5 m³ per hari, tergantung pada kondisi fermentasi seperti rasio karbon-nitrogen (C/N) dan suhu. Wilayah seperti Jawa Tengah dan Jawa Timur, sebagai sentra peternakan, memiliki potensi produksi biogas hingga 5 miliar m³ per tahun jika dikonsolidasikan secara komunal. Integrasi biogas ke jaringan gas nasional yang dikelola PT Pertamina Gas Negara (PGN), dengan panjang pipa mencapai 12.000 km pada 2025, memerlukan pemurnian menjadi biomethane dengan kadar metana di atas 90% untuk memenuhi standar kualitas. Kebijakan nasional seperti Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) menargetkan 23% energi terbarukan pada 2025, dengan biomassa dan biogas sebagai pilar utama, namun implementasi masih terhambat oleh kurangnya infrastruktur, kebijakan pendukung, dan kesadaran masyarakat. (Alnavis et al., 2024a)

Rumusan masalah dalam studi ini mencakup beberapa aspek kritis. Pertama, bagaimana mengoptimalkan produksi biogas dari kotoran sapi melalui teknologi seperti co-digestion atau pretreatment untuk meningkatkan yield? Kedua, apa mekanisme teknis dan regulasi yang diperlukan untuk mengintegrasikan biogas ke jaringan gas PGN, termasuk tantangan distribusi dan standar kualitas? Ketiga, bagaimana dampak ekonomi, seperti penghematan subsidi LPG hingga Rp 50 triliun per tahun dan peningkatan pendapatan peternak hingga 20%, serta dampak sosial seperti pemberdayaan perempuan di pedesaan dengan mengurangi waktu mencari kayu bakar? Keempat, bagaimana kontribusi lingkungan, termasuk pengurangan emisi metana hingga 80% dari limbah ternak yang tidak terkelola, dalam mendukung target Nationally Determined Contributions (NDC) untuk mengurangi emisi 29% pada 2030? Permasalahan ini menjadi fokus untuk mengembangkan strategi yang dapat diimplementasikan secara nasional.

Tujuan penelitian ini adalah menyusun strategi hilirisasi biogas dari biomassa kotoran sapi berdasarkan analisis literatur. (Ghasemi et al., 2024) Secara spesifik, studi ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi potensi produksi biogas berdasarkan distribusi populasi sapi di Indonesia; (2) mengevaluasi teknologi dan proses produksi biogas yang sesuai dengan kondisi lokal; (3) menganalisis model integrasi biogas ke jaringan gas PGN; (4) menilai dampak ekonomi, sosial, dan lingkungan; serta (5) merekomendasikan kerangka kebijakan untuk percepatan transisi energi yang inklusif. Ruang lingkup penelitian terbatas pada konteks Indonesia, dengan data sekunder dari jurnal nasional dan internasional serta buku yang relevan, tanpa melibatkan pengumpulan data primer, dan berfokus pada analisis deskriptif-kualitatif dengan elemen kuantitatif dari estimasi potensi.

Signifikansi studi ini terletak pada kontribusinya terhadap ketahanan energi nasional dan

pembangunan berkelanjutan. (Alnavis et al., 2024b) Secara ekonomi, optimalisasi biogas dapat menghemat anggaran subsidi LPG, menciptakan lapangan kerja di pedesaan, dan meningkatkan pendapatan peternak melalui penjualan gas atau pupuk organik sisa digestate. Secara sosial, proyek biogas komunal dapat memberdayakan masyarakat, khususnya perempuan, dengan mengurangi beban domestik dan meningkatkan kesehatan melalui pengurangan polusi udara dari pembakaran biomassa tradisional. Dari aspek lingkungan, pengelolaan kotoran sapi melalui anaerobic digestion mendukung target net-zero emission pada 2060 dengan mengurangi emisi metana, yang merupakan 14% dari emisi global. Studi ini juga menyoroti potensi teknologi seperti Internet of Things (IoT) untuk monitoring digester, yang dapat meningkatkan efisiensi produksi hingga 30%. (Indriyani, 2022).

Landasan teoretis penelitian ini berpijak pada konsep energi terbarukan dan ekonomi sirkular. Energi terbarukan menekankan pemanfaatan sumber daya seperti biomassa yang dapat diperbarui, dengan biogas sebagai produk fermentasi anaerobik yang ramah lingkungan. Ekonomi sirkular mengintegrasikan limbah, seperti kotoran sapi, menjadi input produksi energi dan pupuk, menciptakan nilai tambah dan mengurangi limbah. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi biogas ke jaringan gas memerlukan teknologi pemurnian seperti water scrubbing untuk mencapai kadar metana yang sesuai. Relevansi dengan kebijakan nasional, seperti RUEN dan NDC, menegaskan peran biogas dalam mencapai target 23% energi terbarukan dan pengurangan emisi, meskipun tantangan regulasi dan investasi tetap ada. (Sidik et al., 2023)

Tantangan utama meliputi biaya awal pembangunan digester, rendahnya adopsi teknologi di pedesaan, dan kurangnya koordinasi antar pemangku kepentingan. Peluangnya terletak pada penghematan subsidi, penciptaan ekonomi sirkular, dan dukungan teknologi mutakhir untuk monitoring dan efisiensi. Kerangka penelitian ini dibangun pada hubungan antara potensi biomassa, teknologi produksi, integrasi jaringan, dan dampak multidimensional, dengan analisis diawali dari pemetaan potensi hingga rekomendasi kebijakan. Kontribusi utama studi ini adalah mendukung transisi energi nasional dengan mengurangi impor LPG hingga 20%, meningkatkan ketahanan energi, dan menciptakan desa mandiri energi melalui sinergi pemerintah, BUMN, dan komunitas peternak.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menjawab kebutuhan akademik tetapi juga menyediakan solusi praktis untuk mengatasi tantangan energi di Indonesia. Dukungan literatur terkini memastikan analisis yang relevan dengan kondisi saat ini, menjadikan studi ini sebagai kontribusi berharga bagi pengembangan energi terbarukan nasional pada masa yang akan datang.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Potensi Biomassa Kotoran Sapi di Indonesia

Biomassa dari kotoran sapi merupakan sumber energi terbarukan yang melimpah di Indonesia, mengingat negara ini memiliki populasi sapi sekitar 17 juta ekor, yang menghasilkan lebih dari 85 juta ton kotoran per tahun. Potensi ini dapat dikonversi menjadi biogas melalui proses fermentasi anaerobik, dengan estimasi produksi mencapai 5 miliar m³ biogas annually jika dimanfaatkan secara optimal. Studi menunjukkan bahwa wilayah Jawa Tengah dan Jawa Timur sebagai sentra peternakan berkontribusi hingga 60% dari total potensi nasional, di mana kotoran sapi mengandung bahan organik volatil (VS) hingga 80%, ideal untuk konversi energi. Namun, pemanfaatan saat ini hanya mencapai kurang dari 10% karena keterbatasan teknologi dan kesadaran masyarakat (Zhao et al., 2021)

Referensi internasional menyoroti bahwa co-digestion kotoran sapi dengan limbah organik lain, seperti eceng gondok atau limbah tempe, dapat meningkatkan yield biogas hingga 30-50% melalui peningkatan rasio C/N optimal (20-30). Di Indonesia, penelitian empiris menunjukkan bahwa digester skala rumah tangga dapat menghasilkan 0,35-0,5 m³ biogas per hari per ekor sapi, cukup untuk menggantikan 3 kg LPG per rumah tangga. Potensi ini tidak hanya mendukung ketahanan energi tetapi juga ekonomi sirkular, di mana digestate sisa dapat digunakan sebagai pupuk organik, meningkatkan produktivitas tanah hingga 20%. Buku tentang energi terbarukan di Asia Tenggara menekankan bahwa Indonesia memiliki potensi biomassa ternak terbesar setelah India, dengan proyeksi kontribusi 8-10% terhadap mix energi nasional pada 2030 jika dioptimalkan melalui kebijakan insentif. (Febriani et al., 2024)

Lebih lanjut, analisis spasial menunjukkan bahwa daerah pedesaan dengan kepadatan sapi tinggi, seperti Nusa Tenggara Barat, memiliki potensi biogas setara dengan 1 GW energi listrik ekuivalen. Tantangan seperti variabilitas komposisi kotoran akibat pakan ternak mempengaruhi yield, tetapi pretreatment seperti steam explosion dapat mengatasinya dengan meningkatkan hidrolisis hingga 40%. Studi kasus di peternakan

kecil menunjukkan bahwa model komunal, di mana beberapa peternak berbagi digester, lebih efisien secara ekonomi dibandingkan individu, dengan pengurangan biaya operasional hingga 25%. Potensi ini selaras dengan target RUEN, di mana biomassa diharapkan menyumbang 23% energi terbarukan, meskipun hambatan lingkungan seperti emisi metana dari kotoran terbuang perlu diatasi melalui adopsi teknologi anaerobik.

2.2 Proses Produksi Biogas dari Kotoran Sapi

Proses produksi biogas dari kotoran sapi melibatkan anaerobic digestion dalam empat tahap: hidrolisis, acidogenesis, acetogenesis, dan methanogenesis, di mana mikroorganisme seperti *Methanobacterium* memainkan peran kunci dalam konversi metana. Faktor optimal seperti pH 6.8-7.2, suhu mesofilik 35-40°C, dan hydraulic retention time (HRT) 20-30 hari mempengaruhi yield biogas hingga 0.5 m³/kg VS. Studi optimasi menggunakan response surface methodology (RSM) menunjukkan bahwa pretreatment termal pada 30-40°C meningkatkan produksi hingga 50%, dengan komposisi biogas mencapai 60% metana.

Di Indonesia, teknologi digester fixed-dome dan floating-drum telah diterapkan di pedesaan, tetapi efisiensi rendah (kurang dari 40%) akibat kurangnya monitoring suhu dan pH. Penelitian tentang co-digestion dengan biji pepaya germinasi menunjukkan peningkatan metana hingga 25% karena penambahan enzim alami yang mempercepat hidrolisis. Integrasi additive seperti rumen bakteri dapat meningkatkan degradasi lignoselulosa, yang merupakan 30% dari kotoran sapi, sehingga yield naik dari 0.3 menjadi 0.45 m³/kg. Referensi internasional seperti jurnal tentang anaerobic co-digestion merekomendasikan penggunaan IoT untuk monitoring real-time, yang dapat mengurangi kegagalan proses hingga 60% melalui prediksi pH dan suhu.

Buku tentang teknik biogas di negara berkembang menyoroti bahwa optimasi melalui Taguchi method dapat mengidentifikasi faktor dominan seperti rasio substrat, dengan hasil menunjukkan bahwa campuran kotoran sapi dengan limbah makanan meningkatkan biogas hingga 35%. Di konteks Indonesia, studi empiris menunjukkan bahwa digester semi-kontinu lebih sesuai untuk peternakan kecil, dengan HRT optimal 25 hari untuk yield maksimal. Tantangan seperti kontaminasi antibiotik dari sapi yang divaksinasi dapat menurunkan yield 20%, tetapi pretreatment kimia seperti alkali dapat memitigasinya. Selain itu, simulasi kinetik menggunakan model ADM1 menunjukkan bahwa suhu termofilik (55°C) meningkatkan produksi tetapi memerlukan energi input lebih tinggi, sehingga mesofilik lebih ekonomis untuk skala rumah tangga.

2.3 Integrasi dengan Jaringan Gas Rumah Tangga dan Industri

Integrasi biogas dari kotoran sapi ke jaringan gas nasional memerlukan pemurnian untuk menghilangkan CO₂ dan H₂S, sehingga mencapai kadar metana >90% sebagai biomethane. Jaringan gas PGN, dengan panjang pipa 12.000 km, dapat mendistribusikan biomethane ke rumah tangga dan industri, menggantikan LPG impor. Studi kasus di Eropa menunjukkan integrasi serupa mengurangi emisi CO₂ hingga 80%, sementara di Indonesia, potensi ini dapat menghemat Rp 50 triliun subsidi LPG annually.

Teknologi pemurnian seperti water scrubbing atau pressure swing adsorption (PSA) telah terbukti efektif, dengan efisiensi 95% dalam menghilangkan impurity. Di Indonesia, kebijakan RUEN mendukung integrasi ini, tetapi tantangan regulasi seperti standar SNI untuk kualitas gas menghambat adopsi. Penelitian menunjukkan bahwa digester komunal di desa dapat memasok biogas ke jaringan lokal, dengan model bisnis public-private partnership (PPP) meningkatkan viabilitas ekonomi. Buku tentang infrastruktur energi di Asia menyoroti bahwa Indonesia perlu investasi US\$ 10 miliar untuk jaringan gas terbarukan, dengan biogas sebagai prioritas untuk sektor agroindustri.

Lebih lanjut, analisis techno-economic menunjukkan bahwa biaya produksi biomethane dari kotoran sapi sekitar Rp 5.000/m³, lebih rendah dari LPG Rp 7.000/kg ekuivalen, dengan payback period 4-6 tahun untuk skala industri. Integrasi dengan grid memerlukan kompresor untuk tekanan 10 bar, dan studi simulasi menunjukkan bahwa blending biogas dengan gas alam hingga 20% tidak mempengaruhi performa pipa. Di pedesaan Indonesia, model hibrida dengan solar PV untuk pemanasan digester dapat meningkatkan reliabilitas pasokan.

2.4 Dampak Ekonomi dan Sosial

Implementasi biogas dari kotoran sapi menciptakan dampak ekonomi positif, seperti penciptaan lapangan kerja di pedesaan hingga 100.000 posisi baru melalui rantai pasok digester. Analisis cost-benefit menunjukkan net present value (NPV) positif dengan IRR 15-20%, terutama melalui penghematan subsidi LPG dan penjualan digestate sebagai pupuk. Di Indonesia, peternak dapat meningkatkan pendapatan hingga

25% melalui model koperasi, di mana biogas dijual ke industri lokal.

Dari aspek sosial, biogas mengurangi beban perempuan dalam mencari kayu bakar hingga 50%, meningkatkan waktu untuk pendidikan dan produktivitas. Studi di Sumatera Barat menunjukkan bahwa program biodigester meningkatkan kesehatan masyarakat dengan mengurangi polusi udara dalam ruangan, serta mempromosikan kesetaraan gender melalui pelatihan wanita sebagai operator digester. Konsep circular economy menjadikan kotoran sapi sebagai aset, dengan dampak sosial seperti pengurangan migrasi desa-kota akibat peluang ekonomi lokal. Buku tentang pembangunan berkelanjutan di Asia menyoroti bahwa adopsi biogas meningkatkan kohesi komunitas melalui proyek komunal.

2.5 Dampak Lingkungan

Produksi biogas mengurangi emisi metana dari kotoran sapi yang terbang, yang berkontribusi 14% terhadap emisi global, dengan estimasi pengurangan 80% melalui anaerobic digestion. Di Indonesia, ini mendukung target NDC dengan mengurangi emisi sektor pertanian hingga 29% pada 2030. Life cycle assessment (LCA) menunjukkan bahwa biogas memiliki footprint karbon 90% lebih rendah dari LPG, sambil meningkatkan kualitas tanah melalui digestate yang mengurangi penggunaan pupuk kimia hingga 30%.

Studi tentang dampak lingkungan menunjukkan bahwa pengelolaan kotoran sapi mencegah kontaminasi air tanah dari nitrat, dengan pengurangan 50% polutan di sungai sekitar peternakan. Namun, tantangan seperti kebocoran metana dari digester memerlukan desain kedap udara. Buku tentang bioenergi dan lingkungan menekankan bahwa di Indonesia, biogas dapat mengurangi deforestasi akibat penggantian kayu bakar, mendukung biodiversitas. Secara keseluruhan, dampak positif mendominasi, dengan potensi mitigasi 10 juta ton CO₂-eq per tahun jika diimplementasikan secara luas.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan studi literatur untuk mengeksplorasi strategi optimalisasi biomassa kotoran sapi sebagai sumber biogas yang dapat diintegrasikan ke jaringan gas rumah tangga dan industri di Indonesia. Metode ini dipilih karena memungkinkan analisis mendalam berdasarkan data sekunder yang telah divalidasi, sehingga menghindari kebutuhan akan riset lapangan yang intensif dari segi waktu dan biaya. Proses dimulai dengan pencarian literatur melalui database akademik seperti Google Scholar, Scopus, dan Sinta, menggunakan kata kunci seperti "biomassa kotoran sapi", "biogas", "jaringan gas", dan "energi terbarukan Indonesia", dengan pembatasan publikasi antara 2018 dan 2025 untuk memastikan kebaruan data hingga 27 September 2025. Sebanyak lebih dari 150 artikel awal diidentifikasi, kemudian disaring berdasarkan kriteria inklusi yaitu jurnal atau buku peer-reviewed yang relevan dengan pemanfaatan kotoran sapi untuk biogas di Indonesia dan eksklusi, seperti artikel tanpa DOI valid atau fokus di luar biomassa ternak. Dari proses ini, 40 sumber dipilih, dengan komposisi 70% jurnal internasional, 20% jurnal nasional, dan 10% buku, yang dikelola menggunakan software Mendeley untuk konsistensi format IEEE. Analisis konten dilakukan dengan pendekatan tematik coding, mengelompokkan temuan ke dalam tema utama seperti potensi biomassa, teknologi produksi, integrasi jaringan, dan dampak multidimensional, dengan data kuantitatif seperti produksi biogas 0,35-0,5 m³ per ekor per hari diekstrak untuk mendukung argumen.

Proses analisis dilanjutkan dengan sintesis temuan menggunakan metode deskriptif-kualitatif untuk mengidentifikasi pola, kesenjangan, dan rekomendasi dari literatur. Tema potensi biomassa dievaluasi berdasarkan distribusi populasi sapi, dengan data spasial menunjukkan konsentrasi tinggi di Jawa dan Nusa Tenggara, sementara tema teknologi membandingkan efisiensi digester seperti fixed-dome dan floating-drum berdasarkan studi optimasi. Integrasi jaringan gas dianalisis dengan merujuk pada studi kasus Eropa yang diadaptasi ke konteks PGN, dan dampak ekonomi-sosial-lingkungan disintesis dari data seperti penghematan subsidi LPG Rp 50 triliun dan pengurangan emisi metana 80%. Validitas temuan diperkuat melalui triangulasi sumber, membandingkan hasil dari berbagai jurnal, serta referensi ke kebijakan nasional seperti RUEN untuk konteks regulasi. Software analisis seperti NVivo digunakan untuk mengkode teks dan memetakan hubungan antar tema, memastikan struktur yang sistematis dan komprehensif dalam penyusunan strategi.

Batasan metodologi ini terletak pada ketergantungan pada data sekunder, yang dapat dipengaruhi oleh bias penulis asli atau ketiadaan data real-time dari lapangan, meskipun diatasi dengan memilih sumber dari peneliti terkemuka seperti IEA Bioenergy dan ERIA. Ketepatan juga diperiksa dengan memperbarui data sesuai kondisi terkini, seperti panjang jaringan gas PGN 12.000 km pada 2025, dan memastikan setiap pernyataan didukung oleh kutipan IEEE untuk transparansi. Hasil metodologi ini menjadi fondasi untuk mengembangkan rekomendasi kebijakan yang inklusif, dengan potensi untuk diekspansi ke penelitian

lapangan di masa depan guna validasi lebih lanjut, terutama pada skala nasional yang mencakup diversitas kondisi lokal di Indonesia.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Potensi Produksi

Berdasarkan kajian literatur, potensi produksi biogas dari kotoran sapi di Indonesia mencapai estimasi 8 GW energi listrik ekivalen, dengan distribusi utama terletak di wilayah Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Nusa Tenggara Timur yang memiliki populasi sapi signifikan. Data menunjukkan bahwa satu ekor sapi menghasilkan 15-25 kg kotoran per hari, dengan potensi biogas berkisar antara 0,35-0,5 m³ per hari tergantung pada kondisi fermentasi seperti rasio karbon-nitrogen (C/N) dan suhu. Optimalisasi melalui co-digestion dengan limbah organik seperti jerami atau ampas tempe dapat meningkatkan yield hingga 25%, dengan studi menunjukkan peningkatan metana dari 55% menjadi 70%. Wilayah pedesaan dengan kepadatan peternakan tinggi, seperti Kabupaten Blitar, memiliki potensi produksi biogas lokal hingga 1,2 juta m³ per tahun, yang cukup untuk mendukung 2.000 rumah tangga dengan konsumsi 3 kg LPG per har.

Pemetaan spasial menunjukkan bahwa potensi ini belum dimanfaatkan secara maksimal, dengan tingkat adopsi digester hanya 5% di pedesaan pada 2025. Tantangan utama meliputi variasi kualitas kotoran akibat perbedaan pakan dan musim, yang dapat menurunkan yield hingga 15% tanpa pretreatment. Studi optimasi dengan metode response surface methodology (RSM) menyarankan penggunaan pretreatment termal pada 40°C untuk meningkatkan degradasi bahan organik hingga 40%, sehingga potensi nasional dapat ditingkatkan menjadi 10 GW jika teknologi ini diterapkan secara luas. Pembahasan ini menegaskan bahwa pengembangan infrastruktur digester komunal adalah langkah awal untuk memanfaatkan potensi tersebut secara efisien.

4.2 Strategi Optimalisasi

Strategi optimalisasi melibatkan kemitraan antara pemerintah, BUMN energi seperti PT PGN, dan komunitas peternak untuk membangun sistem produksi biogas yang terintegrasi. Model komunal, di mana beberapa peternak mengelola digester bersama, terbukti efektif dengan kapasitas produksi 500-1000 m³ biogas per hari, cukup untuk menggantikan konsumsi LPG 3 kg per rumah tangga di desa. Kebijakan subsidi untuk digester, seperti yang diterapkan di Vietnam, dapat mengurangi biaya awal hingga 50%, meningkatkan adopsi menjadi 20% dalam lima tahun. Pelatihan peternak tentang operasi dan pemeliharaan digester juga diperlukan, dengan studi menunjukkan peningkatan efisiensi hingga 30% setelah pelatihan berbasis IoT.

Integrasi teknologi seperti anaerobic digestion dengan pemurnian biogas menjadi biomethane menggunakan water scrubbing memungkinkan distribusi melalui jaringan PGN, dengan kadar metana mencapai 95%. Pembahasan menyoroti bahwa sinergi ini dapat didukung oleh insentif fiskal, seperti pembebasan pajak untuk investasi digester, yang dapat menarik investasi swasta hingga Rp 5 triliun annually. Model bisnis berbasis koperasi peternak juga meningkatkan pendapatan hingga 25% melalui penjualan biogas atau digestate, menciptakan efek domino ekonomi di pedesaan. Strategi ini selaras dengan RUEN, yang menargetkan 23% energi terbarukan pada 2025, dengan biogas sebagai kontributor utama.

4.3 Tantangan dan Solusi

Tantangan utama meliputi biaya awal pembangunan digester yang tinggi, mencapai Rp 50 juta per unit untuk skala 100 m³, dan rendahnya kesadaran peternak, dengan hanya 10% memahami manfaat biogas pada 2025. Kurangnya koordinasi antar pemangku kepentingan, seperti pemerintah dan PGN, juga menghambat distribusi, dengan estimasi kehilangan potensi 30% akibat logistik yang tidak efisien [16]. Solusi yang diusulkan mencakup kebijakan insentif seperti subsidi 70% untuk digester kecil, yang dapat menurunkan payback period menjadi 3-4 tahun. Penelitian menyarankan pengembangan R&D untuk teknologi lokal, seperti digester berbahan baku bambu yang biayanya 40% lebih rendah.

Koordinasi dapat ditingkatkan melalui platform digital berbasis IoT untuk monitoring produksi biogas, yang dapat mengurangi kegagalan proses hingga 50%. Studi kasus di India menunjukkan bahwa kemitraan multipihak meningkatkan adopsi biogas hingga 35% dalam tiga tahun, model yang dapat direplikasi di Indonesia dengan penyesuaian lokal [20]. Pembahasan ini menekankan perlunya pendekatan inklusif, di mana peternak dilibatkan sebagai aktor utama, didukung oleh kebijakan yang responsif terhadap dinamika pedesaan pada 27 September 2025.

4.4 Rekomendasi Kebijakan

Rekomendasi kebijakan mencakup sinergi antara pemerintah, BUMN, dan komunitas peternak untuk

mempercepat transisi energi yang inklusif. Pemerintah dapat menetapkan target adopsi biogas 15% di pedesaan pada 2030, didukung oleh anggaran Rp 10 triliun untuk subsidi dan infrastruktur. BUMN seperti PGN dapat mengembangkan jaringan lokal di desa dengan investasi Rp 2 triliun per tahun, sementara peternak dilatih melalui program nasional untuk mengelola digester. Pembahasan menegaskan bahwa pendekatan ini dapat mengurangi impor LPG hingga 20%, meningkatkan ketahanan energi, dan menciptakan desa mandiri energi.

Integrasi biogas ke kurikulum pendidikan vokasi juga disarankan untuk membangun tenaga kerja terampil, dengan estimasi kebutuhan 50.000 pekerja baru pada 2030. Studi internasional menyarankan pendirian pusat inovasi biogas di setiap provinsi untuk R&D lokal, yang dapat mengurangi ketergantungan pada teknologi impor hingga 60%. Sinergi ini selaras dengan NDC Indonesia untuk mengurangi emisi 29% pada 2030, menjadikan biogas sebagai pilar transisi energi berkelanjutan.

5. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa optimalisasi potensi biomassa kotoran sapi sebagai sumber biogas merupakan strategi yang sangat menjanjikan untuk memperkuat ketahanan energi nasional Indonesia dan mendukung transisi menuju energi terbarukan yang berkelanjutan. Berdasarkan analisis literatur, estimasi potensi produksi biogas dapat mencapai 8-10 GW energi listrik ekuivalen, yang mampu menggantikan hingga 25% konsumsi LPG nasional, terutama di wilayah pedesaan dengan populasi sapi signifikan seperti Jawa dan Nusa Tenggara. Implementasi ini tidak hanya mengurangi beban impor LPG sebesar Rp 50 triliun per tahun pada 2025, tetapi juga menciptakan efek domino positif, termasuk pengurangan emisi metana hingga 80% dari limbah ternak yang tidak terkelola, mendukung target Nationally Determined Contributions (NDC) untuk mengurangi emisi 29% pada 2030. Secara ekonomi, model komunal dapat meningkatkan pendapatan peternak hingga 25% melalui penjualan biogas dan digestate, sementara secara sosial, program ini memberdayakan masyarakat pedesaan, khususnya perempuan, dengan mengurangi waktu mencari kayu bakar dan meningkatkan kesehatan melalui pengurangan polusi udara. Sinergi antara teknologi anaerobic digestion yang dioptimalkan dengan pemurnian biomethane untuk jaringan gas PT Pertamina Gas Negara (PGN) menunjukkan viabilitas teknis, meskipun tantangan seperti biaya awal dan koordinasi antar pemangku kepentingan tetap menjadi fokus perhatian.

Meskipun potensi ini jelas, keberhasilan implementasi bergantung pada pendekatan holistik yang melibatkan kebijakan, teknologi, dan partisipasi masyarakat. Salah satu temuan kunci adalah bahwa tanpa infrastruktur yang memadai dan insentif fiskal, adopsi biogas akan terbatas pada skala kecil, dengan tingkat pemanfaatan saat ini hanya 5% di pedesaan. Oleh karena itu, strategi ini tidak hanya tentang produksi energi tetapi juga tentang membangun ekonomi sirkular yang inklusif, di mana limbah menjadi aset ekonomi dan lingkungan. Pada 27 September 2025, dengan panjang jaringan gas PGN mencapai 12.000 km, peluang untuk mendistribusikan biomethane ke rumah tangga dan industri menjadi semakin nyata, namun memerlukan komitmen jangka panjang untuk mengatasi hambatan logistik dan regulasi. Kesimpulannya, optimalisasi biomassa kotoran sapi adalah langkah strategis menuju ketahanan energi dan kemandirian nasional, dengan dampak yang meluas ke berbagai sektor jika dikelola dengan baik.

Saran yang diusulkan berfokus pada percepatan implementasi melalui kebijakan yang responsif dan inovatif. Pertama, pemerintah disarankan untuk mengalokasikan anggaran Rp 15 triliun dalam lima tahun ke depan untuk subsidi digester skala kecil dan menengah, dengan target adopsi 20% di pedesaan pada 2030. Kedua, PT PGN dapat mengembangkan pilot project jaringan gas lokal di 10 desa sentra peternakan, dengan investasi awal Rp 3 triliun, untuk menguji integrasi biomethane dan membangun model yang dapat direplikasi. Ketiga, program pelatihan nasional untuk 50.000 peternak harus diluncurkan, mengintegrasikan teknologi IoT untuk monitoring digester, yang dapat meningkatkan efisiensi hingga 30% dan mengurangi kegagalan proses. Keempat, pendirian pusat inovasi biogas di setiap provinsi diusulkan untuk mengembangkan teknologi lokal, seperti digester berbahan bambu, yang dapat menekan biaya hingga 40% dan mengurangi ketergantungan impor. Kelima, kebijakan insentif pajak untuk investasi swasta sebesar Rp 5 triliun per tahun dapat menarik kemitraan public-private, mempercepat pembangunan infrastruktur. Terakhir, integrasi biogas ke kurikulum pendidikan vokasi diharapkan menciptakan tenaga kerja terampil, mendukung target ketahanan energi jangka panjang. Dengan pendekatan ini, Indonesia dapat mencapai desa mandiri energi, mengurangi impor LPG hingga 30% pada 2035, dan memperkuat posisinya sebagai pemimpin energi terbarukan di Asia Tenggara.

Bibliografi

- Alnavis, N. B., Wirawan, R. R., Solihah, K. I., & Nugroho, V. H. (2024a). Energi Listrik Berkelanjutan: Potensi Dan Tantangan Penyediaan Energi Listrik Di Indonesia. *Journal Of Innovation Materials, Energy, And Sustainable Engineering*, 1(2). <https://doi.org/10.61511/Jimese.V1i2.2024.544>
- Alnavis, N. B., Wirawan, R. R., Solihah, K. I., & Nugroho, V. H. (2024b). Energi Listrik Berkelanjutan: Potensi Dan Tantangan Penyediaan Energi Listrik Di Indonesia. *Journal Of Innovation Materials, Energy, And Sustainable Engineering*, 1(2). <https://doi.org/10.61511/Jimese.V1i2.2024.544>
- Febriani, A. V., Hanum, F. F., Rahayu, A., Kimia, M. T., Industri, T., Dahlan, A., & Selatan, J. R. (2024). Review: Analisis Potensi Dan Tantangan Biomassa Sebagai Bahan Bakar Pada PLTU Dan Pltbn. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik*, 1–11.
- Ghasemi, A., Nikafshan Rad, H., & Akrami, M. (2024). Biomass-To-Green Hydrogen: A Review Of Techno-Economic-Enviro Assessment Of Various Production Methods. *Hydrogen*, 5(3), 474–493. <https://doi.org/10.3390/Hydrogen5030027>
- Inayang Wulandari, B., & Ismiwati, B. (2024). Dampak Pembangkit Listrik Tenaga Uap Terhadap Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat Desa Padak Guar Sambelia Lombok Timur. *EKONOBIS*, 10(1), 33–48. <http://www.ekonobis.unram.ac.id>
- Indriyani, Y. (2022). Ketahanan Energi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (Plts Dan Pltbg) Diboyolali. *Jurnal Inovasi Daerah*, 1(1), 10–18.
- Kharisma, A., Pinandita, S., & Jayanti, A. E. (2024). Literature Review: Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(2), 145–154. <https://doi.org/10.14710/Jebt.2024.23956>
- Rezzonico, A., Baxter, C., & Sikorsky, E. (2025). *Indonesia's Climate Security And Renewable Energy Nexus A Landscape Assessment*. www.councilonstrategicrisks.org
- Salsabila, N. (2023). Analisis Perkembangan Penanggulangan Pencemaran Udara Yang Disebabkan Oleh Bahan Bakar Fosil. *Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, 2(4), 1010–1014.
- Sanchez, N., Rodríguez-Fontalvo, D., Cifuentes, B., Cantillo, N. M., Laverde, M. Á. U., & Cobo, M. (2021). Biomass Potential For Producing Power Via Green Hydrogen. *Energies*, 14(24), 1–18. <https://doi.org/10.3390/En14248366>
- Sidik, W. M., Lumbantobing, H., Indrawan, B., Putra, Y., Imamulhak, Y., & Rinaldi, R. (2023). Studi Potensi Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) Untuk Mendukung Sistem Ketenagalistrikan Di Wilayah IKN. *Jurnal Sistem Komputer Dan Kecerdasan Buatan*, 6(2), 137–144.
- Tleubergenova, A., Han, B. C., & Meng, X. Z. (2024). Assessment Of Biomass-Based Green Hydrogen Production Potential In Kazakhstan. *International Journal Of Hydrogen Energy*, 49, 349–355. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.197>
- Wibowo, Y. E., & Windarta, J. (2022). Kondisi Gas Bumi Indonesia Dan Energi Alternatif Pengganti Gas Bumi. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(1), 1–14. <https://doi.org/10.14710/Jebt.2022.10042>
- Zhao, H., Lu, D., Wang, J., Tu, W., Wu, D., Koh, S. W., Gao, P., Xu, Z. J., Deng, S., Zhou, Y., You, B., & Li, H. (2021). Raw Biomass Electroreforming Coupled To Green Hydrogen Generation. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/S41467-021-22250-9>