

PEMANFAATAN LIMBAH PERTANIAN DAN PETERNAKAN SEBAGAI SUMBER ENERGI BIOMASSA DALAM MENDUKUNG KEMANDIRIAN ENERGI DESA

Riko Adiyoanto

Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
Jl. Kaligawe Raya No.KM.4 Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang. Jawa tengah 50112

ARTICLE INFO

ABSTRACT

The energy crisis and high dependence on fossil energy sources in rural areas encourage the need to utilize local resources as an alternative to renewable energy. One of the potentials that can be developed is biomass derived from agricultural and livestock waste. This research aims to evaluate the potential of biomass as an alternative energy in realizing village energy independence through a literature study approach and a review of three case studies. The method used is descriptive qualitative by reviewing relevant scientific journals and community service reports. The results showed that biomass, especially livestock manure, can be processed into biogas through simple biodigester technology that can produce energy for household needs. In addition, the processed residue can be used as liquid organic fertilizer, thus providing added value to the agricultural sector. The case studies reviewed show that community involvement in technical training and management of biogas installations promotes program success and increases environmental awareness. The conclusion of this study is that biomass utilization can be a strategic solution to provide clean, cheap, and sustainable energy in villages. The implications of these results indicate the importance of policy and institutional support to encourage the replication and development of renewable energy based on local potential..

Krisis energi dan tingginya ketergantungan terhadap sumber energi fosil di wilayah pedesaan mendorong perlunya pemanfaatan sumber daya lokal sebagai alternatif energi terbarukan. Salah satu potensi yang dapat dikembangkan adalah biomassa yang berasal dari limbah pertanian dan peternakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi biomassa sebagai energi alternatif dalam mewujudkan kemandirian energi desa melalui pendekatan studi literatur dan kajian tiga studi kasus. Metode yang digunakan adalah deskriptif kualitatif dengan mengkaji jurnal ilmiah dan laporan pengabdian masyarakat yang relevan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biomassa, khususnya kotoran ternak, dapat diolah menjadi biogas melalui teknologi biodigester sederhana yang mampu menghasilkan energi untuk kebutuhan rumah tangga. Selain itu, residu hasil olahan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik cair, sehingga memberikan nilai tambah bagi sektor pertanian. Studi kasus yang dikaji menunjukkan bahwa keterlibatan masyarakat dalam pelatihan teknis dan pengelolaan instalasi biogas mendorong keberhasilan program dan meningkatkan kesadaran lingkungan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa pemanfaatan biomassa dapat menjadi solusi strategis untuk menyediakan energi bersih, murah, dan berkelanjutan di desa. Implikasi dari hasil ini menunjukkan pentingnya dukungan kebijakan dan kelembagaan untuk mendorong replikasi dan pengembangan energi terbarukan berbasis potensi lokal.

Keyword :

*biogas, alternative energy,
organic waste*

1. PENDAHULUAN

Ketahanan energi desa menjadi sangat penting dalam aspek pembangunan berkelanjutan, melihat bahwa sebagian besar wilayah pedesaan di Indonesia masih mengandalkan bahan bakar seperti minyak tanah, gas elpiji, dan terutama kayu bakar. Hal ini menyebabkan peningkatan kebutuhan energi yang tinggi serta dapat merusak ekosistem sekitar. Penggunaan kayu bakar yang berlebihan dapat merusak hutan (deforestasi) dan berkontribusi pada perubahan iklim dengan bertambahnya emisi karbon. Menurut Fund (2020) dalam (Wahyuni & Suranto, 2021) selain penggunaan kayu bakar, deforestasi juga terjadi akibat konversi lahan menjadi area pertanian, kebakaran hutan, dan penebangan kayu. Tidak hanya itu, ketergantungan pada energi fosil dapat memperburuk ketahanan energi nasional dan mempengaruhi perekonomian masyarakat desa yang seringkali dibebani dengan biaya energi yang tinggi.

Dalam konteks ini, biomassa pertanian dan peternakan dapat dijadikan solusi dalam pemanfaatan sumber daya lokal dengan berprinsip keberlanjutan lingkungan. Contoh dari limbah pertanian berupa sekam padi dan tandan kosong kelapa sawit, selain itu kegiatan penebangan kayu menghasilkan limbah kayu yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar biomassa (S. Sulasminingsih, 2024). Sedangkan untuk limbah peternakan yaitu seperti kotoran ternak. Potensi limbah untuk dijadikan biomassa di wilayah pedesaan relatif besar, sehingga jika dikelola dengan optimal dapat menyediakan pasokan energi.

Penggunaan biomassa sebagai sumber energi lokal dapat mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan dengan menggabungkan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan. Biomassa yang berasal dari limbah pertanian dan peternakan sebagai sumber energi terbarukan bersifat ramah lingkungan karena rendah emisi karbon. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dahiya et al. (2018) dalam jurnal (Purwandari et al., 2024) juga menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah biomassa dalam bioeconomy circular dapat menciptakan peluang ekonomi baru di daerah pedesaan, sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari pembuangan limbah yang tidak tepat. Secara sosial adanya pengolahan biomassa di desa mendorong partisipasi aktif masyarakat sehingga menguatkan kemandirian komunitas lokal.

Dalam hal ini, konsep pengembangan pedesaan berkelanjutan menjadi sangat relevan. Konsep ini mengutamakan pentingnya pemanfaatan sumber daya lokal yang ramah lingkungan sebagai alternatif untuk menyuplai kebutuhan energi desa. Dengan memanfaatkan sumber daya alam setempat sebagai sumber energi terbarukan, seperti biomassa dari limbah pertanian dan peternakan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi. Oleh karena itu,

sangat penting untuk mengembangkan dan mewujudkan strategi yang mengintegrasikan energi terbarukan dalam perencanaan pembangunan desa, untuk menciptakan masa depan yang lebih hijau, mandiri, dan ramah lingkungan bagi komunitas desa.

Tujuan penulisan ini adalah untuk menjelaskan potensi dan strategi pemanfaatan limbah pertanian dan peternakan sebagai sumber energi biomassa yang berperan dalam mendukung kemandirian energi suatu desa. Penulisan ini juga untuk mendorong kesadaran masyarakat terkait pentingnya energi yang berkelanjutan. Selain itu, diharapkan dapat menginspirasi pemanfaatan sumber daya lokal secara efisien untuk mendukung pembangunan desa yang mandiri dan ramah lingkungan.

2. LITERATUR RIVIEW

A. Konsep Biomassa

Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan organik, seperti tumbuhan, hewan, maupun limbah organik lainnya yang dapat digunakan sebagai bahan untuk menghasilkan energi panas, listrik, atau bahan bakar cair dan gas. Sumber biomassa meliputi limbah pertanian (seperti jerami padi dan tongkol jagung), limbah peternakan (seperti kotoran sapi dan ayam), limbah industri makanan, limbah kehutanan, bahkan mikroalga. Biomassa memiliki keunggulan karena sifatnya yang dapat diperbarui dan ketersediannya yang melimpah di lingkungan, khususnya di wilayah pedesaan yang berbasis agraris.

Menurut Prastika et al., (2023) energi berbasis biomassa memiliki keunggulan karena bahan bakunya tersedia secara luas dan dapat diperbarui. Hal ini menjadikan biomassa sebagai alternatif strategis dalam memenuhi kebutuhan energi serta mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. (S. Sulasminingsih, 2024) menambahkan bahwa pemanfaatan biomassa, khususnya limbah sebagai bahan bakar nabati, memberikan keuntungan besar karena mampu meningkatkan efisiensi energi karena kandungan energi pada limbah cukup besar dan mengurangi jumlah limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Biomassa juga tergolong energi terbarukan karena berasal dari siklus biologis yang dapat diperbarui secara alami dalam waktu singkat.

Parinduri & Parinduri, (2020) menjelaskan bahwa biomassa dapat diubah menjadi energi melalui berbagai metode, seperti pembakaran langsung (proses pembakaran biomassa untuk menghasilkan panas atau listrik), konversi termokimiawi (mengubah biomassa

menjadi gas atau minyak melalui pemanasan tanpa oksigen), dan konversi biokimiawi (menggunakan mikroorganisme untuk menghasilkan bioetanol atau biogas). Pemilihan metode konversi sangat bergantung pada jenis biomassa dan tujuan pemanfaatannya.

Di Indonesia, potensi biomassa sangat besar menurut Yana et al.,(2022), total potensi biomassa nasional mencapai 146 juta ton per tahun setara dengan sekitar 470 juta gigajoule (GJ) per tahun. Ini menunjukkan bahwa biomassa memiliki kapasitas yang besar dalam mendukung energi nasional, khususnya untuk wilayah pedesaan yang sepenuhnya belum terjangkau oleh jaringan listrik. Namun, meskipun potensinya besar pemanfaatan biomassa masih menghadapi sejumlah tantangan. Seperti, rendahnya akses masyarakat terhadap teknologi biomassa, keterbatasan pendanaan, kurangnya infrastruktur pendukung, dan masih minim kesadaran masyarakat terhadap nilai ekonomi dan lingkungan dari pengolahan limbah menjadi energi. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang terintegrasi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta untuk mendorong pemanfaatan biomassa yang berkelanjutan.

B. Limbah Pertanian dan Peternakan Sebagai Sumber Energi

Limbah pertanian merupakan sisa hasil dari berbagai kegiatan pertanian yang mencakup jerami padi, sekam padi, batang jagung, daun tebu, dan limbah kelapa sawit. Meskipun sering dianggap tidak bernilai, limbah ini ternyata memiliki potensi yang tinggi sebagai bahan baku energi terbarukan. Menurut De Buck et al. (2020) dalam (Dan, 2021), limbah pertanian dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu biomassa lignoselulosa yang terdiri atas material keras seperti bintil jagung, batang dan kulit tanaman, serta biomassa hijau yang meliputi semak-semak, rumput, dan tanaman herba yang masih memiliki kadar air.

Sedangkan limbah peternakan seperti kotoran sapi, kambing, dan ayam juga sangat potensial untuk diolah menjadi biogas atau kompos. Kotoran ternak, khususnya kotoran sapi, memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dan dapat diuraikan oleh bakteri anaerobik untuk menghasilkan gas metana, satu kilogram kotoran sapi dapat menghasilkan 0,023-0,040 m³ gas (Haryati, n.d.). Gas metana tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif untuk keperluan rumah tangga maupun produksi energi lokal. Selain menyediakan energi bersih, proses ini juga mengurangi emisi gas rumah kaca dan pencemaran lingkungan.

Ambulu et al., (2025) menunjukkan bahwa penggunaan kotoran ternak sebagai bahan baku biogas tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah organik, tetapi juga menyediakan energi bersih dan terjangkau untuk kebutuhan rumah tangga di pedesaan. Hal ini menunjukkan bahwa limbah peternakan bukan hanya masalah yang harus diatasi, tetapi juga merupakan peluang yang dapat dimanfaatkan dalam upaya mewujudkan kemandirian desa. Langkah ini menunjukkan bagaimana limbah bisa dimanfaatkan kembali menjadi sesuatu yang berguna, sehingga memberi manfaat bagi lingkungan, masyarakat, dan perekonomian secara bersamaan.

C. Aspek Sosial, Ekonomi, dan Lingkungan

Pemanfaatan biomassa yang berasal dari limbah pertanian dan peternakan tidak hanya berfungsi sebagai alternatif sumber energi, tetapi juga memberikan dampak positif yang signifikan dalam tiga aspek penting dalam pembangunan berkelanjutan, yaitu aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan. Dari aspek sosial, pengolahan limbah menjadi energi terbarukan mendorong partisipasi masyarakat, khususnya petani dan peternak, dalam kegiatan produktif yang bernilai tambah. Kegiatan ini menciptakan ruang bagi keterlibatan komunitas dalam proses perencanaan, pengolahan, hingga pemanfaatan energi secara mandiri. Pelatihan, penyuluhan, dan pendampingan teknis menjadi aspek penting dalam proses pemberdayaan masyarakat, yang pada akhirnya membentuk kapasitas lokal dalam mengelola sumber daya energi berbasis potensi desa (Wulandari et al., 2020)

Dari aspek ekonomi, limbah pertanian dan peternakan yang semula dianggap tidak bernilai kini dapat dioalah menjadi produk yang bernilai ekonomi tinggi, seperti biogas, kompos, biopellet, dan pupuk organik. Produk-produk ini tidak hanya untuk keperluan lokal, tetapi juga berpotensi menjadi komoditas pasar yang menguntungkan. Hal ini secara langsung membuka peluang pendapatan tambahan bagi masyarakat desa, serta menciptakan lapangan pekerjaan baru di sektor energi terbarukan skala kecil (Palupi et al., 2024). Di berbagai wilayah, sistem usaha pengolahan biogas dan kompos bahkan mampu meningkatkan pendapatan petani dan peternak secara signifikan serta membantu ekonomi desa.

Sementara itu, dari sisi lingkungan penggunaan biomassa sebagai sumber energi terbarukan dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil karena menghasilkan gas rumah kaca yang lebih rendah. Proses konversi limbah menjadi energi juga membantu mengurangi penumpukan limbah organik di lahan terbuka, yang apabila

tidak dikelola dapat mencemari tanah, air, dan udara. Dengan demikian, aspek ini turut mendukung pengelolaan lingkungan yang lebih berkelanjutan dan memperkuat ketahanan ekosistem (Pramudiyanto & Suedy, 2020). Selain itu, konsep ini juga sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular, dimana limbah yang semula menjadi beban dapat dimanfaatkan kembali sebagai sumber daya yang bermanfaat secara ekologis dan ekonomis.

D. Kemandirian Energi Desa

Kemandirian energi desa merupakan konsep strategis yang memiliki peran penting dalam upaya pembangunan berkelanjutan di wilayah pedesaan. Kemandirian energi mengacu pada kemampuan suatu wilayah untuk memenuhi kebutuhannya secara mandiri tanpa tergantung pada sumber energi dari luar. Teori kemandirian energi lokal menjelaskan bahwa komunitas di daerah pedesaan memiliki potensi besar untuk mengembangkan sistem energi yang berbasis pada sumber daya lokal melalui proyek energi terbarukan skala kecil yang dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil (Wibowo, 2024).

Salah satu strategi kunci untuk mewujudkan kemandirian energi di desa adalah dengan mengoptimalkan pemanfaatan limbah pertanian dan peternakan sebagai bahan baku biomassa. Sumber daya ini sangat melimpah di desa dan memiliki potensi besar untuk dikonversi menjadi energi terbarukan seperti biogas. Dengan pengolahan limbah pertanian seperti jerami, sekam, dan batang jagung serta limbah peternakan seperti kotoran sapi, masyarakat desa dapat menghasilkan energi alternatif yang bersih dan terjangkau. Hal ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada energi fosil, tetapi juga mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan yang menekankan pada keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Untuk merancang sistem energi mandiri yang efektif, penting untuk mengetahui berapa banyak energi yang digunakan oleh setiap rumah tangga di desa. Menurut data dari Kementerian ESDM (2021), rata-rata konsumsi energi listrik rumah tangga di desa berkisar antara 100 hingga 200 kWh per bulan. Kebutuhan energi ini umumnya mencakup kegiatan dasar seperti penerangan, dan penggunaan alat elektronik ringan. Oleh karena itu, penyediaan sumber energi yang stabil dan mencukupi sangat krusial untuk mendukung kehidupan sehari-hari dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat desa.

Dalam konteks ini, pemanfaatan biomassa, terutama biogas yang dihasilkan dari limbah peternakan dapat menjadi solusi nyata. Misalnya, satu ekor sapi dewasa dapat

menghasilkan kotoran yang diolah menjadi sekitar 1 hingga 2 m³ biogas per hari, cukup untuk memasak dan kebutuhan energi ringan sehari-hari bagi satu keluarga (Ufidiyati et al., 2023). Pendekatan ini tidak hanya berkontribusi terhadap kemandirian energi, tetapi juga menciptakan nilai tambah ekonomi melalui pengurangan untuk bahan bakar serta peluang usaha di bidang pengolahan limbah dan produksi energi terbarukan.

Secara keseluruhan, pengembangan sistem energi berbasis biomassa di desa merupakan langkah konkret menuju ketahanan energi lokal. Selain menyediakan energi yang ramah lingkungan, ini juga meningkatkan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan. Dengan demikian, Kemandirian energi desa dapat diwujudkan secara nyata melalui pemanfaatan sumber daya lokal secara optimal.

Tabel 1. Sinopsis Teori

Teori	Sumber	Uraian	Variabel	Indikator	Parameter
Konsep Biomassa & Keunggulan	(Prastika et al., 2023)	Biomassa adalah sumber energi terbarukan dari bahan organik (tumbuhan, hewan, limbah) untuk menghasilkan energi panas, listrik, atau bahan bakar. Keunggulannya: dapat diperbarui dan melimpah, alternatif strategis mengurangi ketergantungan fosil.	Potensi ketersediaan biomassa	- Jenis dan volume biomassa yang dihasilkan - Sifat dapat diperbarui	- Ton/tahun, m³/hari (limbah) - Siklus pertumbuhan (cepat/lambat)
Pemanfaatan limbah sebagai energi	(S. Sulasmini dngsih, 2024)	Pemanfaatan limbah sebagai bahan bakar nabati meningkatkan efisiensi energi (kandungan energi limbah besar) dan mengurangi pencemaran lingkungan.	- Efisiensi konversi energi biomassa - Dampak pengurangan limbah	- Kandungan energi limbah - Volume pengurangan limbah yang mencemari	- Kalor/kg atau GJ/ton limbah - volume limbah terolah, ton limbah berkurang

		Biomassa tergolong energi terbarukan karena siklus biologisnya cepat.			
Metode konversi energi biomassa	(Parinduri & Parinduri, 2020)	Konversi biomassa bisa melalui berbagai metode, seperti pembakaran langsung, konversi termokimiawi (mengubah biomassa menjadi gas melalui pemanasan tanpa oksigen), dan konversi biokimiawi (menggunakan mikroorganisme untuk menghasilkan biogas). Pemilihan metode bergantung pada jenis biomassa dan tujuan.	• Jenis metode konversi biomassa • Kesesuaian metode konversi	• Klasifikasi teknologi yang diterapkan • Ketersediaan teknologi dan bahan baku	• Jenis metode: Pembakaran langsung, termokimiawi, dan biokimiawi • Jenis biomassa yang sesuai dengan metode
Potensi biomassa nasional	(Yana et al., 2022)	Potensi biomassa Indonesia sebesar 146 juta ton/tahun setara dengan sekitar 470 juta GJ/tahun, ini menunjukkan bahwa biomassa memiliki kapasitas yang besar dalam mendukung energi nasional (khususnya pedesaan). Tantangan rendahnya akses	• Tingkat pemanfaatan potensi biomassa • Kendala pemanfaatan biomassa	• Rasio pemanfaatan terhadap potensi • Tingkat akses teknologi, pendanaan, infrastruktur, dan kesadaran	• Berapa % potensi termanfaatkannya • Jumlah infrastruktur tersedia

		teknologi dan keterbatasan			
Limbah pertanian sebagai biomassa	De Buck et al.(2020) dalam (Dan, 2021)	Limbah pertanian terdiri dari dua kelompok yaitu biomassa lignoselulosa (tongkol jagung, batang, dan kulit tanaman) dan biomassa hijau (semak-semak, rumput, tanaman hijau) yang masih memiliki kadar air	• Jenis dan kuantitas limbah pertanian • Karakteristik limbah pertanian	• Volume limbah per jenis • Kadar air pada limbah	• Ton/tahun limbah • % kadar air
Biogas dari kotoran ternak	(Haryati, n.d.)	Kotoran sapi menghasilkan gas metana yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar. 1 kg kotoran sapi dapat menghasilkan 0,023-0,040 m ³ gas.	• Potensi produksi biogas dari kotoran ternak • Produktivitas gas metana	• Jumlah ternak di desa • Volume gas yang di hasilkan per unit kotoran	• Jumlah ekor ternak (sapi, kambing, ayam) • m³ biogas/kg
Manfaat biogas dari kotoran ternak	(Ambulu et al., 2025)	Penggunaan kotoran ternak untuk biogas mengurangi pencemaran lingkungan dan mampu menyediakan energi rumah tangga pedesaan.	• Akses energi bersih rumah tangga	• Jumlah rumah tangga yang meggunakan biogas	• Jumlah rumah tangga (unit) penggunaan biogas
Aspek sosial pemanfaatn biomassa	(Wulandari et al., 2020)	Pengolahan limbah mendorong pelatihan, penyuluhan, dan partisipasi aktif masyarakat desa dalam pengumpulan,	• Tingkat partisipasi masyarakat • Tingkat pengetahuan &	• Jumlah masyarakat yang terlibat • Perubahan pengetahuan /keterampilan setelah pelatihan	• Jumlah masyarkat yang berpartisipasi • Jumlah pelatihan yang diikuti

		pengolahan, dan pemanfaatan limbah secara mandiri.	keterampilan		
Aspek ekonomi biomassa di pedesaan	(Palupi et al., 2024)	Limbah dapat diolah menjadi produk bernilai jual tinggi (kompos, biogas, biopellet), membuka peluang pendapatan tambahan dan lapangan pekerjaan baru di sektor energi terbarukan skala kecil.	• Nilai ekonomi produk olahan limbah • Dampak ekonomi pada masyarakat	• Harga jual produk olahan • Jumlah lapangan kerja	• Harga jual kompos (Rp/Kg), biogas (Rp/m³) • Jumlah individu yang mendapatkan pekerjaan
Aspek lingkungan dan ekonomi sirkular	(Pramudiyanto & Suedy, 2020)	Biomassa menurunkan emisi dan membantu pengelolaan limbah sesuai prinsip ekonomi sirkular, di mana limbah dimanfaatkan kembali sebagai sumber daya bermanfaat.	• Kualitas Lingkungan • Penerapan prinsip ekonomi sirkular	• Penurunan emisi gas rumah kaca • Tingkat pemanfaatan limbah	• Pengurangan emisi CO₂/tahun • Penurunan jumlah limbah organik (kg/hari)
Potensi biogas dari kotoran sapi	(Ufidiyati et al., 2023)	Satu ekor sapi dapat menghasilkan 1-2 m ³ biogas/hari, cukup untuk memasak dan kebutuhan ringan sehari-hari bagi satu keluarga.	Potensi pemenuhan energi dari biogas	Volume biogas yang dihasilkan	m ³ biogas/ekor/hari

3. METODOLOGI

Penulisan ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif yang berbasis pada kajian literatur untuk menganalisis potensi dan strategi pemanfaatan limbah pertanian dan peternakan sebagai sumber energi biomassa dalam mendukung kemandirian desa. Penulisan dilakukan dengan cara membaca dan menganalisis bebrbagai sumber tertulis yang ada, seperti jurnal ilmiah, buku, laporan resmi, dan artikel peneliti terdahulu. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang dikumpulkan melalui studi pustaka darai berbagai sumber. Sumber data diambil dari jurnal yang terbit lima tahun terkahir, penelusuran data dilakukan menggunakan platform daring seperti Google Scholar dan situs jurnal lainnya.

Setelah data dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah menganalisis isi dari berbagai sumber tersebut. Analisi dilakukan dengan cara menyusun dan mengelompokkan informasi berdasarkan tema tertentu, seperti biomassa, teknologi yang digunakan, dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan, serta bagaimana semua itu bisa mendukung kemandirian energi desa. Untuk memeprmudah analsis, digunakan alat bantu berupa tabel VIP (Variable-Indikator-Parameter) yang memetakan topik utama penelitian. Literatur yang dipilih dalam kajian ini adalah yang relevan dengan topik, terpercaya, dan sudah melalui proses peninjauan ilmiah. Tujuan dari metode ini adalah agar diperoleh gambaran yang jelas dan akurat tentang bagaimana limbah pertanian dan peternakan dapat dimanfaatkan menjadi energi yang bermanfaat bagi desa.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi Kasus 1 : Penggunaan Biomassa sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listri di Wilayah Pedesaan oleh S. Sulasminingsih et al, (2024)

Kebutuhan energi terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan modernisasi, khususnya di wilayah pedesaan yang seringkali menghadapi tantangan akses terhadap pasokan energi yang stabil dan terjangkau. Banyak desa di Indonesia masih belum terhubung dengan jaringan listrik nasional atau mengalami pemadaman listrik yang sering. Ketergantungan pada sumber energi fosil seperti minyak tanah, gas LPG, dan kayu bakar tidak hanya membebani ekonomi masyarakat pedesaan akibat fluktuasi harga dan biaya impor, tetapi juga berkontribusi pada masalah lingkungan serius seperti deforestasi dan peningkatan emisi gas rumah kaca. Pembakaran kayu bakar yang berlebihan merusak hutan, sementara emisi dari bahan bakar fosil mempercepat perubahan iklim. Situasi ini mendorong pencarian sumber

energi alternatif yang berkelanjutan dan tersedia secara lokal. Biomassa, sebagai bahan organik yang berasal dari tumbuhan dan hewan termasuk limbah pertanian, limbah kayu, jerami, dan limbah makanan muncul sebagai salah satu solusi yang menjanjikan. Keunggulan biomassa terletak pada ketersediaannya yang melimpah di pedesaan, di mana mayoritas penduduknya berprofesi sebagai petani dan peternak, menghasilkan banyak limbah yang potensial. Pemanfaatan biomassa ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada energi fosil tetapi juga meminimalisir dampak lingkungan negatif. Jurnal ini secara khusus membahas potensi dan implikasi penggunaan biomassa sebagai energi alternatif untuk pembangkit listrik di wilayah pedesaan.

Studi ini mengulas secara mendalam potensi biomassa di Indonesia, yang diperkirakan mencapai 146,7 juta ton per tahun, dengan 53,7 juta ton diantaranya berasal dari sampah pada tahun 2020. Penulis ini menekankan bahwa biomassa menawarkan tiga keuntungan utama yaitu peningkatan efisiensi energi karena kandungan energinya yang signifikan, penghematan biaya karena pemanfaatan limbah lebih murah daripada pembuangannya, dan pengurangan kebutuhan akan tempat penimbunan sampah. Selain itu jurnal ini juga menjelaskan berbagai teknologi konversi biomassa menjadi energi, termasuk biofuel (bioetanol dan biodiesel) dan biogas, namun fokus utamanya adalah pada Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm). PLTBm adalah pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar yang berasal dari konversi bahan biologis dan organik. Keunggulan PLTBm dibandingkan pembangkit listrik fosil adalah jauh lebih bersih dan mengurangi emisi karbon dioksida. Selain itu, mengolah limbah menjadi listrik dapat mencegah pembentukan gas metana yang berbahaya saat limbah dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

Studi ini menyoroti inovasi gasifikasi sebagai teknologi kunci untuk pembangkit listrik di pedesaan. Gasifikasi mengubah bahan bakar padat seperti kayu atau biomassa menjadi gas sintesis (Syngas) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar generator. Keuntungan teknologi ini adalah penggunaan sumber daya lokal (kayu, jerami, dan limbah pertanian) yang melimpah di pedesaan, sehingga meningkatkan kemandirian energi. Meskipun investasi awalnya mungkin tinggi dan akses ke teknologi masih terbatas, penelitian lebih lanjut dan dukungan pemerintah serta partisipasi industri dan masyarakat sangat diperlukan untuk mengoptimalkan penerapannya. Aspek lain yang dibahas adalah pengolahan biomassa yang berasal dari sampah menjadi energi listrik melalui fermentasi anaerobik. Proses ini mengubah sampah menjadi gas metana dan karbon dioksida. Gas metana disaring dan dimurnikan untuk menggerakkan turbin, sementara karbon dioksida dapat digunakan sebagai pupuk tanaman. Proses ini tidak hanya mengurangi volume sampah di TPA, tetapi juga menghasilkan energi listrik untuk keperluan

sehari-hari, menjadikannya solusi ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk masalah dan pencemaran lingkungan di pedesaan.

Terkait kehadiran listrik di pedesaan, bahwa tingkat elektrifikasi di Indonesia masih rendah terutama di daerah terpencil. PLN sulit menjangkau daerah plosok desa karena biaya yang mahal mendorong pemikiran untuk memanfaatkan potensi sumber daya alam lokal seperti biomassa, pemanfaatan ini dapat mendukung kemandirian energi di pedesaan. Jika dibandingkan dengan energi alternatif lain seperti panas bumi biomassa memiliki banyak keunggulan, terutama dalam hal ketersediaan bahan baku yang mudah dan murah, kemampuan mengurangi limbah dan emisi gas rumah kaca, serta teknologi pengolahan yang relatif tidak rumit. Dengan demikian, biomassa bukan hanya solusi energi tetapi juga alat untuk mencapai keberlanjutan lingkungan dan ekonomi pedesaan.

Penggunaan biomassa sebagai sumber energi alternatif untuk pembangkit listrik di wilayah pedesaan memiliki potensi besar untuk menjadi solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Keunggulan biomassa terletak pada ketersediaan bahan bakunya yang melimpah dari limbah pertanian/sampah organik, yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Pemanfaatan ini tidak hanya mengurangi dampak lingkungan seperti emisi gas rumah kaca dari TPA dan polusi udara dari pembakaran, tetapi juga dapat meningkatkan kemandirian energi di wilayah pedesaan. Selain itu, bioenergi berpotensi memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat setempat melalui penghematan biaya energi dan menambah lapangan pekerjaan. Namun untuk memaksimalkan potensi ini, diperlukan upaya lebih lanjut dalam mengembangkan teknologi dan infrastruktur yang lebih efisien dan ramah lingkungan, serta dukungan dari pemerintah dan pelaku industri untuk mengatasi berbagai tantangan di lapangan. Dengan strategi yang tepat, biomassa dapat menjadi pilar penting dalam transisi energi menuju masa depan yang lebih hijau dan mandiri bagi masyarakat pedesaan.

Studi Kasus 2 : Memajukan Ekonomi Melalui Pemanfaatan Biogas dari Kotoran Sapi di Desa Makmur Sejahtera oleh Irfan et al., (2023)

Sektor peternakan sapi di Indonesia meskipun telah memberikan kontribusi ekonomi yang besar, juga menghasilkan jumlah limbah kotoran yang signifikan. Jika tidak dikelola dengan baik limbah ini dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan seperti pencemaran tanah, air, dan udara (bau tidak sedap serta emisi gas metana dan gas rumah kaca yang 21 kali lebih kuat dari karbon dioksida). Di banyak pedesaan, kotoran sapi seringkali hanya dibiarkan menumpuk atau dibuang begitu saja tanpa pengelolaan yang memadai, sehingga potensi sumber daya ini terbuang sia-sia dan menjadi sumber polusi. Di sisi lain, masyarakat pedesaan

masih menghadapi tantangan dalam akses energi, terutama LPG yang seringkali mahal atau sulit dijangkau. Pemanfaatan kotoran sapi menjadi biogas muncul sebagai solusi inovatif yang dapat mengatasi kedua masalah ini secara bersamaan, mengendalikan limbah peternakan dan menyediakan sumber energi alternatif yang bersih.

Penelitian ini merupakan studi kasus pengabdian masyarakat yang berlokasi di Desa Makmur Sejahtera, Kecamatan Gunung Sahilan, Kabupaten Kampar, Riau. Desa ini memiliki potensi besar dengan 31 kepala keluarga peternak sapi yang memiliki lebih dari 150 ekor sapi. Meskipun masyarakat sudah mulai memanfaatkan kotoran sapi menjadi kompos, pemanfaatan untuk biogas belum maksimal karena rendahnya kesadaran dan pengetahuan terkait potensi ekonomi. Metodologi yang digunakan adalah Asset Based Community Driven-Development (ABCD), yang berfokus pada identifikasi dan mobilisasi aset serta potensi yang sudah dimiliki masyarakat, bukan hanya berfokus pada masalah atau kekurangan. Pelaksanaan program melibatkan pembentukan empat kelompok komunitas peternak, masing-masing terdiri dari lima peternak. Skema kerja kelompok meliputi pengumpulan kotoran sapi, produksi biogas, pemanfaatan biogas, dan potensi penjualan biogas.

Proses pembuatan biogas dijelaskan secara rinci, melibatkan tiga tahap: hidrolisis (pemecahan bahan organik kompleks), asidifikasi (pembentukan asam oleh bakteri anaerobik), dan metanogenesis (pembentukan gas metana oleh mikroorganisme). Kotoran sapi dari 150 ekor ternak diisi ke dalam reaktor secara bertahap selama tujuh hari hingga penuh, dan dibiarkan berfermentasi anaerobik. Komponen yang dihasilkan terdiri dari sekitar 60% metana dan 38% karbon dioksida. Evaluasi program menunjukkan peningkatan signifikan dalam pengetahuan dan ketrampilan masyarakat. Sebelum program (pre-test), hanya 30% responden yang memiliki pengetahuan tentang manfaat ekonomi biogas, 20% tentang cara pembuatan reaktor, dan 30% tentang ketrampilan pembuatan reaktor. Setelah program (post-test), angka-angka ini meningkat drastis menjadi 90% untuk ketiga aspek, menunjukkan keberhasilan kegiatan pengabdian dalam membagikan pengetahuan dan ketrampilan.

Analisis potensi ekonomi menunjukkan bahwa 150 ekor sapi dapat menghasilkan 300 m³ biogas per hari, setara dengan 150 liter gas LPG atau 50 tabung gas 3 kg. Dengan harga jual Rp23.000 per tabung 3 kg, ini memberikan potensi keuntungan bagi komunitas sebesar Rp1.150.000, yang dapat dibagi sesuai kesepakatan. Penghematan biaya pembelian gas LPG juga sangat signifikan bagi rumah tangga peternak. Meskipun program ini berhasil, terdapat beberapa kendala seperti, konsistensi peternak dalam bertenak sapi (akibat penjualan sapi saat Idul Adha), kegagalan produksi biogas (kebocoran reaktor/komposisi gas yang belum optimal), dan rendahnya kesadaran masyarakat di luar kelompok untuk menggunakan biogas. Solusi

yang diusulkan meliputi perbaikan teknik reaktor dan perpanjangan waktu fermentasi untuk memastikan produksi metana maksimal. Jurnal ini juga menekankan pentingnya kelembagaan seperti BUMDes untuk mengelola dan memanfaatkan biogas secara berkelanjutan.

Jurnal ini secara efektif menunjukkan bahwa pemanfaatan biogas dari kotoran sapi di Desa Makmur Sejahtera Sejahtera merupakan upaya yang sangat berhasil dalam memajukan ekonomi masyarakat sekaligus menyelamatkan lingkungan secara berkelanjutan. Program pengabdian ini berhasil meningkatkan kesadaran, pengetahuan, dan keterampilan masyarakat peternak dalam mengolah limbah menjadi energi alternatif yang bersih dan terjangkau. Dampak ekonomi yang signifikan terlihat dari penghematan biaya pembelian gas LPG dan potensi pendapatan tambahan dari penjualan biogas. Selain itu, inisiatif ini berkontribusi pada pengurangan emisi gas metana, meningkatkan kebersihan lingkungan, dan produksi pupuk organik berkualitas tinggi. Meskipun menghadapi tantangan seperti pada pasokan bahan baku dan kendala teknis, keberhasilan program ini membuktikan bahwa dengan pendekatan berbasis aset dan partisipasi aktif masyarakat, limbah peternakan dapat diubah menjadi sumber daya berharga yang mendukung kemandirian ekonomi dan keberlanjutan lingkungan di pedesaan.

Studi Kasus 3 : Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Upaya Kemandirian Energi Desa Lambakara Kecamatan Laeya, Konawe Selatan oleh L. Indriyani, L. Gandri, (2024)

Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara, merupakan sentra pengembangan sapi nasioal, termasuk di Desa Lambakara, Kecamatan Leaya. Populasi sapi yang signifikan menghasilkan volume limbah kotoran yang melimpah. Namun, pengelolaan limbah yang belum optimal ini menimbulkan berbagai masalah lingkungan, seperti bau tak sedap, pencemaran air, dan emisi gas metana yang berkontribusi pada perubahan iklim. Di sisi lain, masyarakat pedesaan dihadapkan pada tantangan akses energi yang terjangkau dan berkelanjutan, seringkali masih bergantung pada bahan bakar fosil yang mahal dan berdampak negatif pada lingkungan. Kondisi ini menciptakan peluang yang besar untuk memanfaatkan limbah kotoran sapi sebagai sumber energi alternatif yang dapat menjadi solusi ganda untuk masalah lingkungan dan energi.

Penelitian ini adalah program pengabdian masyarakat yang berlokasi di Desa Lambakara, Kabupaten Konawe Selatan, yang memiliki 300 ekor sapi dari 21 peternak. Sebelum program ini, masyarakat belum memiliki pemahaman memadai tentang pengelolaan limbah ternak sapi yang tepat dan pemanfaatannya. Program ini dirancang untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan masyarakat dalam mengolah limbah kotoran sapi menjadi

biogas, sekaligus mendorong kemandirian energi desa. Kegiatan pengabdian dilakukan melalui tiga tahap yaitu:

- Perencanaan: dilakukan survei, wawancara, serta perizinan dari pemerintah desa untuk memahami kondisi dan pengetahuan warga terkait limbah peternakan.
- Pelaksanaan: meliputi sosialisasi, pelatihan teknik pembuatan biogas, serta pembangunan unit biodigester tipe *fixed dome* di rumah-rumah warga yang dekat dengan lokasi peternakan.
- Evaluasi: menilai efektivitas pelatihan dan keberhasilan instalasi biogas melalui diskusi dan observasi langsung.

Hasil dan pembahsan menunjukkan bahwa limbah kotoran sapi di Desa Lambakara memiliki Potensi sangat besar untuk produksi biogas. Berdasarkan perhitungan yang disajikan, 300 ekor sapi di desa tersebut berpotensi menghasilkan total volume biogas sebesar 2.250 m³ per hari. Angka ini setara dengan 1.035 kg LPG, 1.395 liter minyak tanah, atau 7.875 kg kayu bakar. Perbandingan ini secara jelas menunjukkan potensi penghematan energi yang sangat besar bagi masyarakat, seta dampak positif dalam mengurangi ketergantungan bahan bakar fosil yang semakin menipis. Kegiatan sosialisasi dan pelatihan ini mendapatkan sambutan positif dan antusias dari warga Desa Lambakara. Masyarakat menunjukkan partisipasi aktif dan merasa senang mendapatkan pengetahuan baru tentang pemanfaatan limbah dan isu lingkungan. Mereka juga menyatakan harapan besar untuk dapat segera mengaplikasikan ilmu yang diperoleh guna menghemat pengeluaran rumah tangga dan menjaga lingkungan desa agar lebih bersih. Meskipun kendala seperti lokasi peternakan yang berjauhan menyulitkan pembangunan satu digester skala besar terpusat, perencanaan unit digester skala kecil untuk beberapa rumah tangga di dekat peternakan menjadi solusi yang praktis dan efektif. Instalasi biogas yang dibangun menggunakan jenis *fixed dome* dengan komponen esensial seperti saluran masuk dan keluar slurry, katup pengaman tekanan, sistem pengaduk, saluran gas, dan tangki penyimpanan gas terpisah. Selain itu, slurry yang keluar dari digester juga diidentifikasi sebagai pupuk organik berkualitas tinggi karena kandungan nutrisinya, menambah nilai ekonomi dan lingkungan dari proses ini.

Jurnal ini menyimpulkan bahwa program pengabdian masyarakat di Desa Lambakara berhasil secara signifikan meningkatkan tingkat pengetahuan masyarakat tentang potensi kotoran sapi sebagai sumber biogas. Respons yang sangat baik dan antusias dari pemerintah desa serta masyarakat menunjukkan dukungan kuat terhadap kegiatan pembuatan biogas sebagai upaya kemandirian energi. Dengan ketersediaan limbah kotoran sapi yang melimpah,

manfaat nyata yang dirasakan dari penggunaan biogas (seperti penghematan energi dan pengurangan pencemaran), serta antusiasme masyarakat untuk mengaplikasikan teknologi ini, disarankan agar pemerintah setempat memberikan bantuan dalam pengadaan digester. Bantuan ini diharapkan dapat memungkinkan seluruh masyarakat Desa Lambakara untuk mengaplikasikan pembuatan biogas, sehingga secara kolektif mendukung kemandirian energi desa, mengurangi dampak lingkungan negatif dari limbah peternakan, dan pada akhirnya meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan melalui pemanfaatan sumber daya lokal yang berkelanjutan.

Indikator Utama	Studi Kasus	Hasil
Pemanfaatan Biomassa & Energi Alternatif	Studi Kasus 1: Penggunaan Biomassa sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Wilayah Pedesaan (S. Sulasminingsih, 2024)	Potensi biomassa Indonesia 146,7 juta ton/tahun (53,7 juta ton dari sampah 2020). Biomassa menawarkan 3 keuntungan: peningkatan efisiensi energi, penghematan biaya, dan pengurangan kebutuhan TPA. PLTBm lebih bersih dan mengurangi emisi CO ₂ . Inovasi gasifikasi menjadi kunci untuk pembangkit listrik pedesaan, memanfaatkan sumber daya lokal. Proses fermentasi anaerobik sampah menjadi gas metana dan CO ₂ mengurangi volume sampah di TPA dan menghasilkan listrik. Tingkat elektrifikasi di daerah terpencil rendah, biomassa jadi solusi kemandirian energi. Biomassa lebih unggul dibanding panas bumi karena ketersediaan bahan baku mudah/murah, kemampuan mengurangi limbah/emisi, dan teknologi tidak rumit. Potensi besar untuk solusi ramah lingkungan, berkelanjutan, dan meningkatkan

		kemandirian energi serta ekonomi pedesaan.
Pemanfaatan Biogas dari Kotoran Sapi & Peningkatan Ekonomi	Studi Kasus 2: Memajukan Ekonomi Melalui Pemanfaatan Biogas dari Kotoran Sapi di Desa Makmur Sejahtera (Irfan et al., 2023)	Desa Makmur Sejahtera memiliki lebih dari 150 ekor sapi. Pemanfaatan biogas belum maksimal karena rendahnya kesadaran dan pengetahuan ekonomi. Program pengabdian masyarakat (ABCD) berhasil meningkatkan pengetahuan dan keterampilan masyarakat dari 30% menjadi 90%. 150 ekor sapi dapat menghasilkan 300 m ³ biogas/hari, setara 150 liter LPG atau 50 tabung gas 3 kg, memberikan potensi keuntungan Rp1.150.000/pekan. Biogas mengurangi pencemaran lingkungan (metana) dan menghasilkan pupuk organik. Kendala: konsistensi peternak, kegagalan produksi (kebocoran), rendahnya kesadaran masyarakat luar kelompok. Diperlukan perbaikan teknis dan peran BUMDes.
Kemandirian Energi Desa Melalui Biogas Kotoran Sapi	Studi Kasus 3: Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Upaya Kemandirian Energi Desa Lambakara Kecamatan Laeya, Konawe Selatan (L. Indriyani, L. Gandri, 2024)	Desa Lambakara memiliki 300 ekor sapi dari 21 peternak, menghasilkan limbah melimpah yang belum dimanfaatkan secara optimal. Program pengabdian masyarakat meliputi perencanaan (survei, perizinan), pelaksanaan (sosialisasi, pelatihan teknik pembuatan biogas, pembangunan <i>fixed dome biodigester</i> skala kecil), dan evaluasi. 300 ekor sapi berpotensi menghasilkan 2.250 m ³ biogas/hari, setara 1.035 kg

		LPG, 1.395 liter minyak tanah, atau 7.875 kg kayu bakar, menunjukkan potensi penghematan besar dan mendukung kemandirian energi desa. Sosialisasi dan pelatihan disambut positif oleh warga, meningkatkan pengetahuan dan antusiasme. <i>Slurry</i> sisa fermentasi menjadi pupuk organik berkualitas tinggi. Direkomendasikan bantuan pemerintah untuk pengadaan digester guna mendukung kemandirian energi seluruh masyarakat.
--	--	---

5. KESIMPULAN

Pemanfaatan limbah pertanian dan peternakan sebagai sumber energi biomassa terbukti menjadi solusi strategis dalam mendukung kemandirian energi desa secara berkelanjutan. Berdasarkan kajian literatur dan hasil studi kasus yang dianalisis, biomassa memiliki potensi besar yang belum sepenuhnya dimanfaatkan, terutama di wilayah pedesaan yang kaya akan sumber daya organik. Ketersediaan bahan baku yang melimpah seperti jerami, limbah kelapa sawit, dan kotoran ternak, jika dikelola dengan tepat, dapat dikonversi menjadi energi alternatif seperti biogas dan listrik biomassa yang ramah lingkungan.

Melalui tiga studi kasus dari berbagai daerah di Indonesia, dapat disimpulkan bahwa pendekatan yang melibatkan partisipasi aktif masyarakat, pelatihan teknis, dan penggunaan teknologi sederhana seperti biodigester tipe fixed dome, mampu meningkatkan kesadaran, pengetahuan, dan keterampilan masyarakat desa dalam mengelola limbah menjadi energi. Hasil studi menunjukkan bahwa potensi produksi biogas dari limbah ternak dapat memenuhi kebutuhan energi rumah tangga, mengurangi ketergantungan terhadap LPG dan kayu bakar, serta menghasilkan produk samping berupa pupuk organik. Selain itu, pendekatan ini juga berkontribusi terhadap aspek ekonomi melalui penghematan biaya energi dan peluang usaha lokal, serta aspek lingkungan melalui pengurangan emisi gas rumah kaca dan pencemaran.

Dengan demikian, pengembangan energi berbasis biomassa di pedesaan bukan hanya relevan dalam konteks penyediaan energi, tetapi juga sebagai upaya terpadu yang menggabungkan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan. Untuk mewujudkan kemandirian

energi desa secara berkelanjutan, diperlukan dukungan dari berbagai pihak, termasuk pemerintah daerah, perguruan tinggi, sektor swasta, dan masyarakat, dalam bentuk kebijakan, pendanaan, serta penguatan kelembagaan lokal. Strategi kolaboratif ini diharapkan dapat mengoptimalkan pemanfaatan potensi biomassa lokal dan menjadi model transisi energi bersih yang berbasis komunitas.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ambulu, K., Jember, K., Meganandi, A., Firda, K., Fitria, L., Pramitasari, N., & Al, H. (2025). *Pemanfaatan Limbah Peternakan Menjadi Biogas di Desa*. 5(1), 90–96. <https://doi.org/10.59431/ajad.v5i1.429>
- Dan, P. (2021). Perkebunan Untuk Pembangunan Berkelanjutan. *Envirotek*, 13, 76–85.
- Haryati, T. (n.d.). *Biogas : limbah peternakan yang menjadi sumber energi alternatif*.
- Irfan, A., Harkaneri, H., Rimet, R., & Febria, D. (2023). Memajukan Ekonomi melalui Pemanfaatan Biogas dari Kotoran Sapi di Desa Makmur Sejahtera (Advancing the Economy through Utilizing Biogas from Cow Manure in Makmur Sejahtera Village). *Yumary: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), 125–136.
- L. Indriyani, L. Gandri, J. T. et al. (2024). *Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Upaya Kemandirian Energi Desa Lambakara Kecamatan Laeya, Konawe Selatan Lies*. 1(2), 2588–2593.
- Palupi, D. N., Sundari, S., Syahtaria, M. I., & Sianipar, L. (2024). Analisis Dampak Lingkungan dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Co-firing Biomassa dan Baru bara sebagai Upaya Bauran Energi Terbarukan. *El-Mal: Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam*, 5(3), 1627–1635. <https://doi.org/10.47467/elmal.v5i3.781>
- Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, 5(2), 88–92. <https://www.dosenpendidikan>.
- Pramudiyanto, A. S., & Suedy, S. W. A. (2020). Energi Bersih dan Ramah Lingkungan dari Biomassa untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim yang Ekstrem. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(3), 86–99. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.9990>
- Prastika, A., Pemanfaatan Limbah Biomassa sebagai Basis Pengembangan Energi Terbarukan di Kabupaten Jember, A., & Sultan Ali Muzakhar, S. (2023). Analysis of Utilization of

- Biomass Waste as a Base for Renewable Energy Development in Jember Regency. *Jurnal Kajian Ilmiah Dan Teknologi Teknik Mesin*, 8(1), 2541–3562. <https://doi.org/10.32528/jp.v8i1.472>
- Purwandari, V., Harahap, M., Iman, L., & Zai, P. (2024). *Sosialisasi Pengolahan Limbah Biomassa Di Desa Nagori Margomulyo*. 5(2), 176–179.
- S. Sulasminingsih, F. H. et al. (2024). Penggunaan Biomassa sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Wilayah Pedesaan. *Journal of Optimization System and Ergonomy Implementation*, 1(1), 42–51. <https://doi.org/10.54378/joseon.v1i1.6766>
- Ufidiyati, N., Adib Fuady, I., Sutaryo, S., & Purnomoadi, A. (2023). Penanganan kembali slurry keluaran digester biogas dengan substrat awal manure sapi perah dan biji pepaya untuk meningkatkan produksi metan. *Jurnal Ilmu Peternakan Terapan*, 7(1), 34–42. <https://doi.org/10.25047/jipt.v7i1.3957>
- Wahyuni, H., & Suranto, S. (2021). Dampak Deforestasi Hutan Skala Besar terhadap Pemanasan Global di Indonesia. *JHIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 6(1), 148–162. <https://doi.org/10.14710/jiip.v6i1.10083>
- Wibowo, K. (2024). *Kontribusi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dalam Mengurangi Emisi Karbon*. 4.
- Wulandari, M. I., Cempakasari, K. E., Anti, N. F., Wahyu Ningrum, T. H. T., & Nuraina, E. (2020). Pemberdayaan Masyarakat Desa Arjosari di Masa Pandemi: Pengolahan Limbah Cair Tahu menjadi Biogas. *Altruus: Journal of Community Services*, 1(4), 182. <https://doi.org/10.22219/altruus.v1i4.13905>
- Yana, S., Nelly, N., Radhiana, R., Ibrahim, N., Zubir, A. A., Zulfikar, T. M., & Yulisma, A. (2022). Dampak Ekspansi Biomassa sebagai Energi Terbarukan: Kasus Energi Terbarukan Indonesia. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(4), 4036–4050. <https://doi.org/10.32672/jse.v7i4.4963>