

Penerapan Teknologi Digester Sistema.bio dan Purifikasi Biogas untuk Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Energi Terbarukan di Desa Rek Kerrek, Palengaan, Pamekasan

Mahrus Khoirul Umami^{1*}, Teguh Prasetyo², Slamet Subari³, Khamdi Mubarak⁴

^{1*,2,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Trunodjoyo Madura, Bangkalan, Indonesia

³Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Trunodjoyo Madura, Bangkalan, Indonesia

Email: ^{1*}mahrus.umami@trunodjoyo.ac.id, ²teguh.prasetyo@trunodjoyo.ac.id,

³slametsubari@trunodjoyo.ac.id, ⁴khamdi.mubarak@trunodjoyo.ac.id

Abstract

The utilization of cattle manure (cow dung) waste in Rek Kerrek Village, Palengaan District, Pamekasan Regency, Madura, has not been optimized, resulting in potential environmental pollution. This community service program aimed to empower the Jaya Abadi Livestock Farmer Group through the implementation of Sistema.bio biodigester technology and biogas purification to produce renewable energy in the form of biogas and organic fertilizer (bio-slurry). The program adopted the Participatory Action Research (PAR) approach, consisting of problem identification, Focus Group Discussions (FGDs), technology implementation, technical training, mentoring, and evaluation. The applied technology included the installation of a Sistema.bio biodigester and a two-stage biogas purification unit utilizing activated carbon and zeolite (8 × 30 mesh) as adsorption media for carbon dioxide (CO₂) and hydrogen sulfide (H₂S) removal. The implementation of these technologies enhanced the beneficiaries' production capacity by converting livestock manure into biogas as a substitute for liquefied petroleum gas (LPG) for household cooking and bio-slurry as an organic fertilizer. Furthermore, the program strengthened the community's managerial capacity through improved technical competencies and effective management of biogas and bio-slurry utilization. The initial impacts included reduced household energy expenditure, improved environmental quality through better livestock waste management, and increased community awareness of sustainable livestock waste utilization. Overall, the program successfully promoted community-based energy self-sufficiency through biogas technology and demonstrates strong potential for replication in other rural areas with similar socio-environmental characteristics.

Keywords: Biogas, Renewable Energy, Cattle Manure, Community Empowerment, Purification.

Abstrak

Pemanfaatan limbah kotoran sapi di Desa Rek Kerrek, Kecamatan Palengaan, Kabupaten Pamekasan, Madura, masih belum optimal sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Program pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan memberdayakan Kelompok Ternak Jaya Abadi melalui penerapan teknologi digester Sistema.bio dan purifikasi biogas untuk menghasilkan energi terbarukan berupa biogas serta pupuk organik bio-slurry. Metode yang digunakan adalah Participatory Action Research (PAR) dengan tahapan identifikasi masalah, Focus Group Discussion (FGD), penerapan teknologi, pelatihan, pendampingan, dan evaluasi. Teknologi yang diterapkan meliputi pembangunan instalasi biogas berbasis Sistema.bio serta alat purifikasi dua tahap dengan media karbon aktif dan zeolit (mesh 8×30) untuk menyerap gas pengotor CO₂ dan H₂S. Penerapan teknologi ini meningkatkan kemampuan mitra dalam aspek produksi, yaitu pemanfaatan kotoran ternak menjadi biogas sebagai pengganti LPG untuk kebutuhan memasak dan bio-slurry sebagai pupuk organik. Selain itu, aspek manajerial mitra juga mengalami peningkatan melalui keterampilan teknis dan pengelolaan hasil biogas serta bio-slurry. Dampak awal yang diperoleh antara lain penghematan biaya energi rumah tangga, perbaikan kualitas lingkungan melalui pengurangan limbah, serta meningkatnya kesadaran kolektif tentang pentingnya pengelolaan limbah ternak. Secara keseluruhan, program ini mampu mendorong kemandirian energi berbasis biogas dan berpotensi untuk direplikasi di desa lain dengan karakteristik serupa.

Kata Kunci: Biogas, Energi Terbarukan, Kotoran Sapi, Pemberdayaan Masyarakat, Purifikasi.

A. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi global terus meningkat, sementara sumber energi fosil semakin menipis dan menimbulkan dampak lingkungan berupa emisi gas rumah kaca. Perubahan paradigma menuju energi terbarukan menjadi keniscayaan, termasuk di Indonesia yang menargetkan bauran energi terbarukan 23% pada tahun 2025 (IEA, 2023). Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial adalah biogas, hasil fermentasi anaerobik dari bahan organik yang kaya metana (CH₄) dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar rumah tangga (Nurtanti dkk., 2026) maupun pembangkit listrik skala kecil (Steinhauser dan Deublein, 2011).

Potensi biogas di Indonesia sangat besar karena didukung oleh ketersediaan limbah peternakan. Data BPS tahun 2023 menunjukkan bahwa populasi sapi potong di Indonesia mencapai lebih dari 18 juta ekor (BPS, 2023). Jika setiap ekor menghasilkan 10–15 kg kotoran per hari, maka potensi bahan baku biogas nasional sangat melimpah. Namun, potensi ini belum tergarap secara optimal, termasuk di Desa Rek Kerrek, Kecamatan Palengaan, Kabupaten Pamekasan. Kelompok Ternak Jaya Abadi dengan 14 anggota dan rata-rata kepemilikan 20–30 ekor sapi menghasilkan lebih dari 375 kg kotoran per hari, setara dengan potensi ±15 m³ biogas. Namun, kotoran tersebut hanya dibuang, sehingga menimbulkan bau, pencemaran air, dan masalah kesehatan (Artanti dkk., 2012).

Biogas mentah yang dihasilkan dari reaktor biogas masih mengandung CO₂ (30–40%) dan H₂S (0,1–1%) yang menurunkan nilai kalor, berbau menyengat, dan bersifat korosif pada peralatan yang digunakan (Werkneh dkk., 2022). Salah satu akibat dari nilai kalor yang rendah adalah ketika biogas digunakan untuk memasak, panas api menjadi kurang optimal. Selain itu, sifat korosif biogas akan menyebabkan kompor cepat berkarat. Oleh karena itu, perlu ditambahkan teknologi purifikasi pada instalasi reaktor biogas, yaitu proses pemurnian biogas dari gas-gas pengotornya, terutama CO₂ dan H₂S. Berbagai teknologi pemurnian seperti water scrubber, membran, dan pemisahan kriogenik telah dikembangkan (Ryckebosch dkk., 2011), namun biayanya tinggi dan tidak sesuai untuk masyarakat desa. Oleh karena itu, diperlukan alternatif yang lebih terjangkau. Salah satunya adalah teknologi purifikasi dengan menggunakan material murah (*low-cost material*), seperti karbon aktif dan zeolit. Penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif efektif menyerap H₂S dan sebagian CO₂, sedangkan zeolit berperan sebagai penyerap CO₂ dan pengering gas (Jepleting dkk., 2024). Fourqoniah dkk. (2023) melaporkan bahwa kombinasi karbon aktif dan zeolit mampu meningkatkan kadar metana hingga 81,40%. Jepleting dkk. (2025) juga menegaskan potensi material murah sebagai solusi untuk purifikasi biogas skala pedesaan.

Pada program pengabdian masyarakat di Desa Rek Kerrek, dilakukan konversi kotoran sapi menjadi biogas melalui penerapan biodigester Sistema.bio yang dipadukan dengan teknologi purifikasi berbasis *low-cost materials* berbahan karbon aktif dan zeolit sebagai solusi yang tepat guna. Teknologi ini tidak hanya menghasilkan biogas sebagai energi terbarukan, tetapi juga menghasilkan produk samping berupa bio-slurry yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Dengan demikian, program pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk memberdayakan peternak melalui dua produk utama ini: biogas sebagai pengganti LPG dan bio-slurry sebagai pupuk organik, sekaligus meningkatkan keterampilan teknis serta manajemen kelompok. Program ini diharapkan mampu mendorong terciptanya desa mandiri energi dan menjadi model replikasi bagi wilayah lain dengan karakteristik serupa.

B. PELAKSANAAN DAN METODE

Program pengabdian masyarakat ini dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan *Participatory Action Research* (PAR). Pendekatan ini dipilih karena menempatkan masyarakat bukan hanya sebagai objek, tetapi juga sebagai subjek yang terlibat aktif dalam setiap tahapan kegiatan. Metode PAR menekankan kolaborasi antara peneliti, fasilitator, dan masyarakat untuk bersama-sama mengidentifikasi masalah, merancang solusi, serta mengevaluasi hasilnya (Kemmis dkk., 2014). Model ini terbukti efektif dalam pengembangan masyarakat karena meningkatkan rasa memiliki (*sense of belonging*) terhadap teknologi yang diterapkan serta memperkuat kapasitas lokal (Baum, 2003). Pendekatan PAR terbukti efektif untuk membangun capacity building pada kelompok masyarakat (Rifai dkk., 2025).

Tahapan pertama adalah identifikasi masalah. Proses ini dilakukan melalui observasi lapangan dan wawancara dengan kelompok peternak Jaya Abadi di Desa Rek Kerrek. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa kotoran sapi yang melimpah belum dimanfaatkan secara optimal, bahkan menjadi sumber pencemaran. Peternak juga menghadapi biaya tinggi untuk kebutuhan energi rumah tangga, khususnya LPG, serta ketergantungan pada pupuk kimia untuk pertaniannya.

Tahap kedua adalah Focus Group Discussion (FGD) dan sosialisasi program. Kegiatan ini bertujuan memvalidasi temuan awal sekaligus menyampaikan konsep program kepada mitra. FGD menghasilkan kesepakatan bersama tentang solusi yang akan diterapkan, yaitu pembangunan instalasi biogas berbasis Sistema.bio dan alat purifikasi biogas dengan material karbon aktif dan zeolit. Selain itu, FGD juga menetapkan peran serta kontribusi mitra, termasuk penyediaan lahan, tenaga, dan komitmen operasional.

Tahap ketiga adalah penerapan teknologi tepat guna. Pada tahap ini, tim bersama mitra membangun instalasi biogas Sistema.bio yang berfungsi untuk mengolah kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk bio-slurry. Jenis digester yang akan dipasang adalah Sistema 40 yang memiliki ukuran panjang 16,05 meter dan lebar 2,25 meter. Digester menggunakan membran fleksibel LLDPE tubular yang dipasang di atas galian tanah sedalam 0,9 meter. Digester ini diperuntukkan bagi peternakan sapi dengan jumlah 23 hingga 30 ekor, dan mampu menghasilkan biogas dengan kapasitas hingga 15 m³/hari. Selanjutnya, akan dipasang alat purifikasi dua tabung PVC berdiameter 4 inci dan tinggi 70 cm, masing-masing diisi dengan karbon aktif (tabung pertama) dan zeolit (tabung kedua) berukuran mesh 8×30 berdasarkan hasil penelitian Molino dkk. (2022). Konfigurasi ini dipilih karena sederhana, murah, dan efektif dalam menyerap CO₂ dan H₂S sehingga kualitas biogas meningkat. Pada unit purifikasi biogas, karbon aktif dan zeolit bekerja sebagai adsorben, yaitu material berpori yang menangkap molekul pengotor pada permukaannya melalui proses adsorpsi. Umur pakai adsorben ditentukan oleh kapasitas adsorpsinya dan beban pengotor yang masuk ke dalam media. Pada awal operasi, kemampuan penyerapan adsorben sangat tinggi, namun menurun seiring bertambahnya waktu operasi. Kondisi ketika pengotor mulai terdeteksi atau konsentrasinya mulai meningkat pada outlet disebut *breakthrough*, sedangkan kondisi ketika adsorben telah mendekati kapasitas maksimumnya dan konsentrasi pengotor outlet mendekati konsentrasi inlet disebut saturasi (jenuh). Fenomena *breakthrough* dan saturasi digunakan untuk menentukan kapasitas serta waktu operasi media dalam pemurnian biogas (Molino dkk., 2022). Untuk melakukan evaluasi ini, digunakan alat ukur berupa Hidrogen Sulfida (H₂S) dan sensor gas CO₂ SCD-30, sehingga dapat ditentukan kapan material karbon aktif dan zeolit mencapai kondisi saturasi dan perlu diganti sesuai dengan kondisi biogas yang dihasilkan.

Tahap keempat adalah pelatihan dan pendampingan teknis. Pelatihan dilaksanakan di lokasi instalasi dengan metode praktik langsung. Materi mencakup cara pengumpulan kotoran sapi, pencampuran bahan dengan air, pengisian ke digester, pemanfaatan biogas untuk memasak, serta pemeliharaan biodigester dan alat purifikasi. Selain itu, dilakukan juga pelatihan pencatatan produksi biogas dan pemanfaatan bio-slurry agar mitra terbiasa melakukan monitoring sederhana. Untuk memperkuat transfer pengetahuan, tim menugaskan seorang asisten teknis yang mendampingi kelompok selama tiga bulan pertama implementasi.

Tahap terakhir adalah monitoring dan evaluasi. Evaluasi dilakukan secara berkala untuk menilai kinerja teknologi dan peningkatan kapasitas mitra. Aspek produksi dinilai melalui volume biogas dan bioslurry yang dihasilkan serta kandungan CO₂ dan H₂S sebelum dan setelah purifikasi. Aspek produksi juga memiliki dampak pada faktor ekonomi dan lingkungan, sehingga evaluasi dilakukan terhadap kemanfaatan program ini secara ekonomi berupa penghematan gas LPG dan dampak lingkungan berupa pengurangan limbah kotoran sapi. Sedangkan aspek manajemen dilihat dari keterampilan teknis, pembagian tugas, serta pencatatan kegiatan kelompok. Evaluasi dilakukan menggunakan pendekatan one-group pre-test dan post-test untuk mengukur perubahan kapasitas pengelolaan teknologi dan organisasi kelompok. Penilaian dilakukan terhadap aspek operasional biodigester, pembagian tugas, administrasi, pencatatan, pemeliharaan, dan kemampuan evaluasi melalui skala 1–4 (Tabel 2), yang diperkuat dengan observasi dan pemeriksaan dokumen kelompok. Pendekatan evaluatif dalam PAR memungkinkan perbaikan berkelanjutan dan memberi ruang untuk refleksi kritis bagi mitra (Chevalier dan Buckles, 2019).

Tabel 1. Skala untuk evaluasi peningkatan kapasitas manajemen

Skor	Kriteria
1	Belum ada/tidak mampu
2	Ada tetapi belum berjalan/masih harus didampingi
3	Sudah mampu dan berjalan dengan sedikit pendampingan
4	Mandiri, rutin, dan terdokumentasi

Secara keseluruhan, metode PAR yang diterapkan memastikan program tidak hanya menghasilkan output berupa instalasi biogas dan alat purifikasi, tetapi juga outcome berupa peningkatan kapasitas mitra dalam aspek produksi dan manajemen. Dengan keterlibatan aktif masyarakat pada setiap tahap, program ini diharapkan mampu menciptakan model pemberdayaan yang berkelanjutan serta dapat direplikasi di wilayah lain.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian masyarakat di Desa Rek Kerrek, Kecamatan Palengaan, Kabupaten Pamekasan, telah terlaksana dengan baik dan sebagian besar target tercapai. Hasil pelaksanaan dapat dilihat dari beberapa tahapan kegiatan, yaitu FGD dan sosialisasi, pelatihan teknis, penerapan teknologi, serta pendampingan dan evaluasi.

Focus Group Discussion (FGD) dan Sosialisasi

Tahap awal kegiatan adalah Focus Group Discussion (FGD) yang diikuti oleh anggota Kelompok Ternak Jaya Abadi, perangkat desa, dan tim pengabdian. FGD merupakan langkah penting karena menjadi ruang partisipatif bagi masyarakat untuk mengemukakan permasalahan, menyampaikan pengalaman, dan bersama-sama menentukan prioritas solusi. Sebagaimana ditegaskan dalam literatur metode PAR, keterlibatan masyarakat sejak awal proses memastikan program lebih sesuai dengan kebutuhan riil di lapangan.

Dalam FGD, terungkap bahwa limbah kotoran sapi selama ini dianggap beban, bukan aset. Peternak terbiasa menumpuk kotoran di dekat kandang atau membuangnya ke lahan terbuka, yang menimbulkan bau, mengundang lalat, dan mencemari air tanah. Akibatnya, kesehatan lingkungan menurun, sementara potensi energi dari kotoran sama sekali tidak tergarap. Di sisi lain, peternak masih sangat bergantung pada LPG untuk kebutuhan memasak. Biaya untuk membeli LPG cukup memberatkan, terutama ketika harga mengalami kenaikan.

Dalam sosialisasi, tim pengabdian kemudian memperkenalkan konsep biogas sebagai energi alternatif dan bio-slurry sebagai pupuk organik. Tim menjelaskan bahwa dari sebuah peternakan yang memiliki sapi 23 hingga 30 ekor memiliki potensi menghasilkan ± 375 kg kotoran sapi per hari. Dari jumlah tersebut, kelompok ternak dapat menghasilkan sekitar 15 m³ biogas yang cukup untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan energi rumah tangga. Selain itu, residu fermentasi dari proses pembentukan biogas yaitu berupa bio-slurry dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik yang dapat menggantikan pupuk kimia yang selama ini mahal dan tidak ramah lingkungan. Informasi ini membuka wawasan peternak bahwa limbah ternak memiliki nilai tambah yang tinggi jika diolah.

Pada akhir tahap ini, kemudian disepakati akan dilaksanakan beberapa program utama, yaitu pembangunan satu unit instalasi biogas berbasis Sistema.bio dan alat purifikasi berbasis material murah (*low-cost materials*). Mitra menyatakan kesediaan untuk menyediakan lahan, tenaga kerja, serta partisipasi dalam pemeliharaan. Komitmen ini menjadi modal sosial yang krusial, karena tanpa keterlibatan aktif dari mitra, teknologi yang dibangun berisiko tidak berfungsi dalam jangka panjang.

Penerapan Teknologi

Penerapan teknologi merupakan inti dari program pengabdian masyarakat ini. Kegiatan pengabdian ini melibatkan mitra secara langsung dalam pembangunan, uji coba, dan pemanfaatan. Hasilnya adalah dua produk utama, yaitu biogas sebagai energi dan bio-slurry sebagai pupuk organik.

1. Pembangunan Instalasi Biogas Sistema.bio

Digester biogas model Sistema.bio merupakan produk digester portabel dari India yang didistribusikan oleh PT. Biru Karbon Nusantara (BKN) ke berbagai wilayah di Indonesia, termasuk Kabupaten Pamekasan, Madura. Universitas Trunodjoyo Madura bersama PT. BKN bekerja sama dengan Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian (DKPP) Kabupaten Pamekasan untuk pemasangan digester ini, salah satunya di Desa Rek Kerrek. Pemasangan biodigester Sistema.bio dilakukan di area kandang yang strategis, dekat dengan sumber kotoran sapi. Digester menggunakan membran fleksibel LLDPE tubular yang dipasang di atas tanah. Jenis reaktor biogas yang dipasang di Desa Rek Kerrek ini adalah Sistema 40 yang membutuhkan penggalian tanah untuk menempatkan digester tubular dengan ukuran panjang 16,05 meter, lebar 2,25 meter, dan kedalaman 0,9 meter. Pada pemasangan awal, ke dalam digester dimasukkan air sebanyak kurang lebih 30 liter agar siap digunakan.



Gambar 1. Digester biogas Sistema.bio di Desa Rek Kerrek, Pamekasan

Pada saat program pengabdian kepada masyarakat dilaksanakan, Kelompok Ternak Jaya Abadi di Desa Rek-Kerrek memiliki 26 ekor sapi. Dari jumlah ternak tersebut, kotoran sapi yang dapat dikumpulkan rata-rata mencapai sekitar 340 kg per hari. Dengan demikian, secara rata-rata setiap ekor sapi menghasilkan sekitar 13 kg kotoran per hari. Sebelum dimasukkan ke dalam biodigester, kotoran sapi terlebih dahulu dicampur dengan air untuk membentuk slurry. Berdasarkan petunjuk pengoperasian Sistema.bio, pengenceran dilakukan dengan perbandingan 1 bagian kotoran sapi dan 2 bagian air. Dengan jumlah kotoran sekitar 340 kg per hari, diperlukan sekitar 680 liter air per hari. Dengan demikian, total slurry yang dimasukkan ke dalam digester setiap hari mencapai sekitar 1.020 liter atau 1,02 m³ per hari.

Setelah dimasukkan ke dalam digester, slurry mengalami proses penguraian secara anaerobik, yaitu penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen. Pada tahap awal, mikroorganisme membutuhkan waktu untuk beradaptasi dan memulai proses pembentukan biogas. Sejumlah penelitian biogas berbahan kotoran sapi menggunakan periode awal sekitar 14 hari untuk proses fermentasi atau pengondisian sebelum sistem beroperasi secara kontinu (Soeprijanto dkk., 2021). Pada Sistema.bio sendiri, manual pengoperasian menjelaskan bahwa setelah pengisian awal, pengguna perlu menunggu hingga reaktor mengembang sebelum biogas dapat dimanfaatkan.

Berdasarkan tabel kapasitas Sistema 40 pada manual Sistema.bio, sistem tersebut dirancang untuk menerima sekitar 375 kg kotoran sapi per hari dan memiliki potensi produksi sekitar 15 m³ biogas per hari pada kondisi musim panas dan setara dengan 18,5 jam waktu memasak. Karena kotoran yang tersedia di Kelompok Ternak Jaya Abadi sekitar 340 kg per hari, maka biogas yang dapat dihasilkan menjadi sekitar 13,5 m³ per hari dan mampu menyediakan energi memasak selama sekitar 16,65 jam per hari. Berdasarkan ekuivalensi energi, jumlah tersebut setara dengan sekitar 4,92 kg LPG per hari, atau sekitar 147,6 kg LPG per bulan. Jika dinyatakan dalam tabung LPG 3 kg, jumlah tersebut setara dengan sekitar 49 tabung LPG 3 kg per bulan.

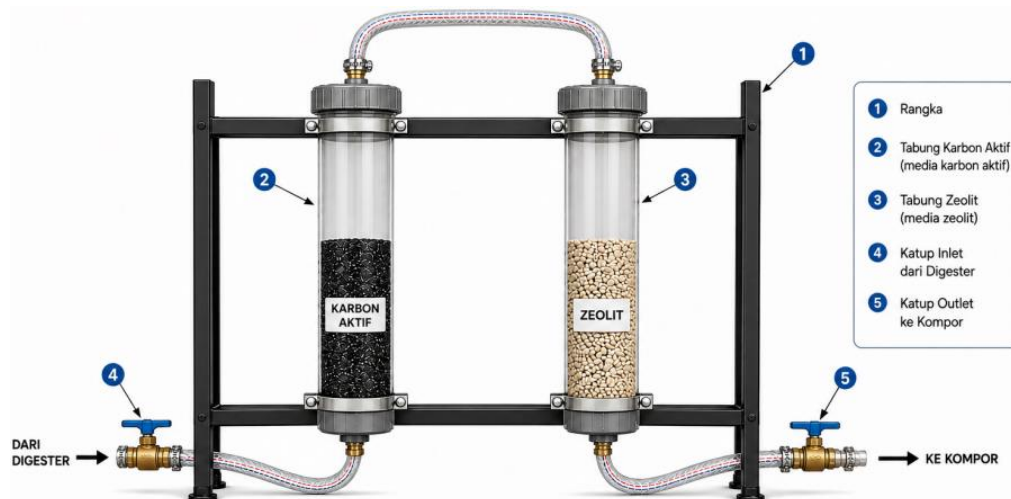
Biogas dari kandang sapi disalurkan melalui jaringan perpipaan ke empat rumah warga yang berada di sekitar kandang. Masing-masing rumah memperoleh biogas yang dapat digunakan untuk kegiatan memasak selama rata-rata 4 jam per hari. Sebagai perbandingan, satu tabung LPG 3 kg yang digunakan masyarakat dapat menghasilkan waktu nyala api kumulatif sekitar 12–15 jam. Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan untuk penghematan LPG yang dapat diperoleh dengan penerapan teknologi digester Sistema.bio ini secara lebih ringkas.

Tabel 2. Produksi biogas dan penghematan LPG	
Dasar Perhitungan	Hasil
Potensi berdasarkan spesifikasi Sistema 40	
Produksi Biogas per hari	13,5 m ³ /hari
Setara LPG per hari	4,92 kg LPG/hari
Setara LPG per bulan	147,6 kg/bulan
Setara LPG 3 kg	±49 tabung/bulan
Pemanfaatan aktual: 4 rumah × 3 jam	
LPG 3 kg = 12–15 jam nyala	12 jam/hari
LPG yang tergantikan	2,4–3,0 kg LPG/hari
Tabung LPG 3 kg yang tergantikan	72–90 kg/bulan
	24–30 tabung/bulan

Berdasarkan Tabel 2 di atas, jika produksi biogas dimanfaatkan secara keseluruhan, maka dapat menggantikan kebutuhan LPG 3 kg hingga sebanyak 49 tabung. Namun, karena baru 4 rumah tangga yang memanfaatkannya, hanya setara 30 tabung saja yang terpakai. Ini artinya pemanfaatan biogas masih belum maksimal. Dengan konsumsi biogas rata-rata per rumah untuk memasak selama 3 jam, hasil biogas di Desa Rek Kerrek ini masih bisa dimaksimalkan hingga dapat mensuplai 7 rumah tangga.

2. Alat Purifikasi Low-Cost Berbasis Karbon Aktif dan Zeolit

Alat purifikasi biogas yang dikembangkan merupakan sistem pemurnian berbasis *low-cost materials* yang dirancang untuk meningkatkan kualitas biogas dengan biaya pembuatan yang terjangkau sehingga mudah direplikasi oleh masyarakat. Sistem ini terdiri atas dua tabung PVC yang disusun secara seri pada sebuah rangka besi. Tabung pertama diisi dengan karbon aktif sebagai media adsorben. Karbon aktif yang digunakan berasal dari tempurung kelapa yang dikenal dengan coconut commercial activated carbon (CAC) dengan ukuran 8x30 mesh. Karbon aktif ini bermanfaat untuk mengurangi kandungan hidrogen sulfida (H_2S), uap air, dan sebagian senyawa pengotor lainnya. Sedangkan tabung kedua diisi dengan zeolit berukuran 8x30 mesh yang berfungsi menyerap karbon dioksida (CO_2) sehingga meningkatkan fraksi metana (CH_4) dalam biogas. Biogas dari digester dialirkan secara berurutan melalui tabung karbon aktif dan tabung zeolit menggunakan selang fleksibel bertekanan rendah, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Komponen utama alat purifikasi biogas

Seluruh komponen alat menggunakan material yang mudah diperoleh di pasaran, seperti pipa PVC, sambungan pipa standar, karbon aktif tempurung kelapa, zeolit alam, dan rangka besi, sehingga biaya investasi relatif rendah namun tetap memberikan kinerja purifikasi yang memadai untuk skala rumah tangga dan kelompok peternak. Gambar 3 menunjukkan alat purifikasi yang dibuat.



Gambar 3. Alat purifikasi biogas berbasis *low-cost materials*

Pada program pengabdian masyarakat di Desa Rek Kerrek ini, jumlah karbon aktif dan zeolit untuk proses purifikasi masing-masing sebanyak 1 kg dimasukkan ke dalam tabung PVC, karbon aktif pada tabung pertama (kiri) dan zeolit pada tabung kedua (kanan). Kedua material ini perlu diganti ketika mencapai titik jenuh (saturasi), yaitu kondisi dimana material sudah tidak dapat menyerap gas pengotor secara optimal. Berdasarkan hasil pengambilan data, kadar CO₂ awal dalam biogas sebelum purifikasi rata-rata sebesar 47% dan kadar H₂S sebesar 700 ppm. Kedua material adsorben mampu mengurangi rata-rata kadar H₂S dari 700 ppm menjadi nol dan kadar CO₂ dari 47% menjadi 21%. Performa penyerapan gas pengotor semakin menurun seiring volume gas yang dialirkan. Berdasarkan kondisi operasi sistem, laju alir biogas sebesar 13,51 L/min selama 12 jam/hari menghasilkan volume biogas yang diproses sekitar 9,73 m³/hari. Dengan konsentrasi H₂S umpan sebesar 700 ppm, beban H₂S yang diterima oleh 1 kg karbon aktif diperkirakan sekitar 9,5 g/hari atau sekitar 285 g selama 30 hari. Oleh karena itu, interval penggantian awal media karbon aktif dapat ditetapkan secara preventif setiap 30 hari. Sedangkan untuk zeolit, dengan debit aliran yang sama, agar tetap efektif dalam mengurangi kadar CO₂ hingga 21%, diperlukan penggantian material zeolit setiap 15 hari.

Hasil program menunjukkan bahwa teknologi sederhana berbasis material murah dapat memberikan dampak nyata bagi masyarakat desa. Dibandingkan dengan teknologi purifikasi modern seperti water scrubber atau membran (Ryckebosch dkk., 2011), sistem karbon aktif-zeolit lebih terjangkau dan mudah dioperasikan. Hal ini penting karena kunci keberlanjutan teknologi di desa bukan hanya efektivitas teknis, tetapi juga kesesuaian dengan kemampuan pengguna.

3. Pelatihan dan pendampingan

Teknologi yang baik tidak akan berkelanjutan tanpa peningkatan kapasitas manusia. Oleh karena itu, program melaksanakan pelatihan dan pendampingan intensif kepada anggota kelompok. Tujuannya adalah memastikan mitra mampu mengoperasikan, merawat, dan memanfaatkan teknologi secara mandiri. Pelatihan dilakukan dengan metode praktik langsung di lokasi instalasi. Materi mencakup pengumpulan kotoran sapi, pencampuran dengan air, pengisian ke digester, serta pengoperasian kompor biogas. Selain itu, peserta juga dilatih memelihara alat purifikasi, termasuk mengatur aliran gas, mengecek kebocoran, dan mengganti media karbon aktif-zeolit bila jenuh. Tidak hanya aspek teknis, pelatihan juga menyentuh aspek manajerial. Mitra dilatih melakukan pencatatan sederhana tentang volume biogas yang dihasilkan, jumlah LPG yang digantikan, serta penggunaan bio-slurry. Pencatatan ini penting untuk menumbuhkan kesadaran akan nilai ekonomi teknologi yang diterapkan.

Pendampingan dilakukan oleh asisten teknis selama tiga bulan pertama. Kehadiran asisten membantu mitra dalam menyelesaikan kendala teknis sehari-hari, seperti mengatasi kebocoran pipa atau mengatur tekanan gas. Evaluasi kuesioner pra-pelatihan dan pasca-pelatihan menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam hal pengetahuan dan keterampilan anggota kelompok, baik pada aspek produksi maupun aspek manajemen.



Gambar 4. Pelatihan penggunaan dan perawatan alat purifikasi

Setelah semua rangkaian kegiatan pada program pengabdian ini selesai, maka dilakukan serah terima teknologi dari penyelenggara UTM kepada mitra Kelompok Ternak Jaya Abadi melalui pemerintah desa Rek Kerrek (Gambar 5).



Gambar 5. Serah terima digester Sistema.bio dan alat purifikasi di balai desa

4. Dampak pada peningkatan keberdayaan mitra

Dampak program dapat dibagi menjadi dua aspek utama, yaitu produksi dan manajemen. Keduanya menunjukkan peningkatan yang signifikan setelah teknologi diterapkan dan pelatihan dilakukan.

a. Aspek Produksi

Dari sisi produksi, dampak utama adalah tersedianya dua produk baru, yaitu energi alternatif dalam bentuk biogas dan pupuk organik dari bioslurry. Aspek produksi juga memiliki dampak langsung pada sisi ekonomi dan lingkungan. Diantaranya, pengguna dapat memasak menggunakan biogas dan mengurangi ketergantungan pada LPG, sehingga pengeluaran rumah tangga dapat menurun. Selain itu, bio-slurry yang dihasilkan mulai digunakan untuk menyuburkan lahan pertanian. Penggunaan pupuk organik ini mengurangi pembelian pupuk kimia sekaligus meningkatkan kesuburan tanah. Dampak aspek produksi secara kuantitatif dapat dilihat pada Tabel 3. Selanjutnya, kualitas biogas juga meningkat dengan penerapan teknologi purifikasi. Nyala api biru yang stabil menandakan kadar metana lebih tinggi dan pembakaran lebih efisien. Hal ini membuat biogas lebih aman digunakan, tidak menimbulkan bau, dan tidak merusak peralatan. Perbandingan karakteristik biogas sebelum dan setelah purifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Peningkatan aspek produksi sebelum dan setelah program

Dampak	Indikator	Sebelum Program	Setelah Program
1. Produksi	Biogas	Belum tersedia	±13,5 m ³ /hari
	Biogas per bulan	Belum tersedia	±405 m ³ /bulan
	Bioslurry	Belum tersedia	±1,02 m ³ /hari
	Bioslurry per bulan	Belum tersedia	±30,6 m ³ /bulan
	Penambahan teknologi purifikasi	Kandungan rata-rata CO ₂ 47% dan H ₂ S 700 ppm	Kandungan rata-rata CO ₂ 21% dan H ₂ S 0 ppm
2. Ekonomi	Penghematan LPG	0 kg/hari	±4,92 kg/hari
	Penggantian LPG per bulan	0 tabung/bulan	±49 tabung/bulan
	Potensi penghematan biaya LPG dalam rupiah (@Rp 20.000 per tabung)	Rp 0 per bulan	Rp 920.000 per bulan
	Penggantian pupuk kimia dengan bioslurry	0 kg/bulan	±153 kg pupuk urea per bulan
	Potensi penghematan biaya pupuk dalam rupiah	Rp 0 per bulan	Rp 275.400 per bulan
3. Lingkungan	Kotoran sapi yang dimanfaatkan	0 kg/hari	±340 kg/hari
	Akses energi terbarukan	Tidak ada	Ada

Tabel 4. Perbandingan karakteristik biogas sebelum dan setelah purifikasi

Parameter	Sebelum Purifikasi	Setelah Purifikasi
Kadar CO ₂	47%	21%
Kadar H ₂ S	700 ppm	0 ppm
Warna Api	Biru kemerahan	Biru
Stabilitas Api	Kurang stabil	Stabil
Bau Sulfur (H ₂ S)	Tercium sedang	Tidak terdeteksi
Pendidihan Air 1 Liter	12 menit	9 menit

b. Aspek Manajemen

Keberdayaan mitra dalam aspek manajemen merupakan salah satu indikator penting dalam keberhasilan program pengabdian kepada masyarakat karena keberlanjutan teknologi biogas tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan instalasi, tetapi juga oleh kemampuan kelompok dalam mengoperasikan, memelihara, dan mengelola hasil teknologi secara mandiri. Oleh karena itu, evaluasi keberdayaan mitra dilakukan dengan membandingkan kemampuan sebelum dan sesudah pelaksanaan program melalui pre-test dan post-test, yang dilengkapi dengan observasi terhadap kemampuan mitra selama praktik dan pendampingan.

Instrumen pre-test dan post-test disusun untuk mengukur perubahan pengetahuan dan kapasitas mitra sebelum dan setelah program pengabdian. Soal diberikan dengan materi yang sama pada kedua tahap agar perubahan skor dapat digunakan sebagai indikator peningkatan keberdayaan. Instrumen terdiri atas 20 butir soal, yang terbagi ke dalam empat indikator utama, yaitu: (1) pemahaman pengoperasian dan feeding digester, meliputi prinsip kerja digester, bahan baku, prosedur pengumpanan, dan pengoperasian biogas; (2) pemeliharaan digester dan penggantian media purifikasi, meliputi pemeriksaan instalasi, perawatan rutin, fungsi karbon aktif dan zeolit, serta tanda-tanda media perlu diganti; (3) pengolahan dan aplikasi bioslurry, meliputi penanganan bioslurry, penyimpanan, pengolahan, serta pemanfaatannya sebagai pupuk organik; dan (4) pembukuan dan manajemen kelompok, meliputi pencatatan produksi biogas dan bioslurry, pencatatan penggunaan dan pemeliharaan alat, pengelolaan biaya, serta administrasi kelompok. Setiap indikator terdiri atas 5 butir soal, sehingga skor akhir dinyatakan dalam persentase untuk kemudian dibandingkan antara hasil pre-test dan post-test guna menentukan peningkatan kapasitas mitra. Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan kapasitas mitra pada seluruh indikator yang dinilai, sebagaimana disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Peningkatan keberdayaan mitra dalam aspek manajemen

No	Indikator Keberdayaan Mitra	Sebelum Program (Pre-test)	Setelah Program (Post-test)
1.	Pemahaman pengoperasian dan <i>feeding</i> digester	15%	90%
2.	Pemeliharaan digester dan penggantian media purifikasi	10%	85%
3.	Pengolahan dan aplikasi bioslurry	5%	85%
4.	Pembukuan (administrasi) dan manajemen kelompok	25%	90%
	Rata-rata	13,75%	87,5%

Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan keberdayaan mitra yang sangat signifikan setelah pelaksanaan pelatihan dan pendampingan. Rata-rata skor kemampuan mitra meningkat dari 13,75% pada pre-test menjadi 87,5% pada post-test, atau meningkat sebesar 73,75%. Pada kondisi awal, pengetahuan mitra mengenai pengoperasian digester, pemeliharaan dan purifikasi, serta pemanfaatan bioslurry masih sangat terbatas karena teknologi tersebut belum dikenal sebelumnya. Sebaliknya, kemampuan dasar dalam manajemen kelompok telah dimiliki mitra, sehingga skor awal pada indikator pembukuan dan manajemen mencapai 25%. Setelah program, kemampuan tersebut meningkat menjadi 90% karena diperkuat dengan pencatatan produksi, pemeliharaan, pemanfaatan hasil, dan pengelolaan kegiatan biogas secara lebih terstruktur. Peningkatan terbesar terjadi pada aspek pengolahan dan aplikasi bioslurry, yaitu 80%, sedangkan pengoperasian digester serta pemeliharaan dan penggantian media purifikasi masing-masing meningkat 75%. Hasil ini menunjukkan bahwa program berhasil meningkatkan kapasitas teknis sekaligus memperkuat kemampuan manajerial mitra untuk mengelola teknologi dan hasilnya secara mandiri.

D. PENUTUP

Simpulan

Program pengabdian kepada masyarakat di Desa Rek Kerrek, Kecamatan Palengaan, Kabupaten Pamekasan, berhasil meningkatkan pemanfaatan limbah peternakan melalui penerapan biodigester Sistema.bio dan sistem purifikasi biogas berbasis material karbon aktif dan zeolit. Penerapan teknologi tersebut mengubah limbah peternakan menjadi dua produk yang bernilai guna, yaitu biogas sebagai sumber energi alternatif dan bioslurry sebagai pupuk organik, sehingga mendukung pemanfaatan sumber daya secara lebih terpadu menuju ekonomi sirkular. Dari rata-rata jumlah sapi 26 ekor, potensi kotoran yang dihasilkan adalah 340 kg/hari. Limbah yang sebelumnya belum dimanfaatkan secara optimal dapat diolah menjadi sekitar 13,5 m³ biogas/hari dan 1,02 m³ bioslurry/hari.

Dari aspek produksi, peningkatan keberdayaan mitra ditunjukkan oleh kemampuan kelompok dalam mengolah kotoran sapi menjadi biogas dan bioslurry serta meningkatkan kualitas biogas melalui proses purifikasi. Biogas yang dihasilkan mencapai ... atau setara dengan sekitar 49 tabung LPG per bulan dengan potensi nilai penghematan biaya pembelian LPG mencapai Rp 980.000,- per bulan. Sementara ini, biogas telah tersalurkan ke 4 rumah di sekitar kandang dengan rata-rata pemakaian 3 jam per rumah per hari. Sementara itu, sekitar 30,6 m³ bioslurry/bulan dimanfaatkan sebagai pupuk organik, dengan potensi substitusi sekitar 153 kg urea/bulan dan nilai ekonomi potensial sekitar Rp275.400/bulan. Dengan demikian, peningkatan aspek produksi memberikan manfaat ekonomi melalui pengurangan penggunaan LPG dan potensi substitusi pupuk kimia, sekaligus memberikan manfaat lingkungan melalui pemanfaatan limbah ternak dan pengurangan potensi pencemaran. Dengan penerapan teknologi purifikasi, kandungan CO₂ menurun dari 47% menjadi 21%, sedangkan H₂S menurun dari 700 ppm menjadi 0 ppm. Peningkatan kualitas biogas tersebut ditunjukkan oleh nyala api yang lebih biru dan stabil serta berkurangnya bau khas H₂S.

Dari aspek manajemen, program berhasil meningkatkan kapasitas mitra dalam mengoperasikan, memelihara, dan mengelola teknologi serta hasil produksinya. Hasil evaluasi pre-test dan post-test menunjukkan bahwa rata-rata kemampuan mitra meningkat sebesar 73,75%. Kemampuan pengoperasian dan feeding digester meningkat dari 15% menjadi 90%, kemampuan pemeliharaan digester dan penggantian media purifikasi dari 10% menjadi 85%, kemampuan pengolahan dan aplikasi bioslurry dari 5% menjadi 85%, sedangkan kemampuan pembukuan dan manajemen kelompok meningkat dari 25% menjadi 90%. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa mitra yang pada awalnya belum mengenal teknologi biodigester, sistem purifikasi, dan pemanfaatan bioslurry telah memiliki kapasitas untuk mengoperasikan dan memelihara teknologi, mengelola hasil biogas dan bioslurry, serta melakukan pencatatan dan koordinasi kegiatan kelompok secara lebih mandiri. Kapasitas manajerial ini menjadi dasar penting bagi keberlanjutan pemanfaatan teknologi sekaligus mendukung keberlanjutan manfaat ekonomi dan lingkungan yang dihasilkan program. Secara keseluruhan, program telah meningkatkan keberdayaan mitra dalam dua aspek utama, yaitu produksi dan manajemen, yang secara simultan menghasilkan dampak ekonomi dan lingkungan.

Saran

Keberlanjutan program perlu diarahkan pada optimalisasi pemanfaatan biogas dan bioslurry secara berkelanjutan melalui penambahan penerima manfaat dengan memperluas jaringan sambungan biogas ke rumah warga, replikasi instalasi biodigester pada kelompok peternak lainnya, serta pengembangan pemanfaatan biogas tidak hanya untuk kebutuhan memasak tetapi juga sebagai sumber energi untuk pembangkitan listrik skala kecil. Selain itu, pemanfaatan bioslurry sebagai pupuk organik perlu terus dioptimalkan melalui pengelolaan dan aplikasi yang tepat agar memberikan nilai tambah bagi kegiatan pertanian. Upaya tersebut diharapkan dapat memperluas manfaat ekonomi dan lingkungan sekaligus mendorong terbentuknya sistem ekonomi sirkular berbasis peternakan yang mandiri dan berkelanjutan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM) Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi (Kemendikristek) Republik Indonesia serta Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Trunojoyo Madura yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui hibah Program Pengabdian kepada Masyarakat dengan nomor kontrak B/072/UN46.1/PT.01.03/BIMA/PM/2025. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada PT Biru Karbon Nusantara dan Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kabupaten Pamekasan atas dukungan, sinergi, dan fasilitasi yang diberikan dalam pelaksanaan program, sehingga kegiatan pemberdayaan masyarakat melalui penerapan teknologi biogas dapat terlaksana dengan baik.

E. DAFTAR PUSTAKA

- Artanti, D., Saputro, R. R., & Budiyono. (2012). Biogas production from cow manure. *International Journal of Renewable Energy Development*, 1(2), 61–64. <https://doi.org/10.14710/ijred.1.2.61-64>
- BPS Badan Pusat Statistik. (2023). Statistik peternakan dan kesehatan hewan 2023. Badan Pusat Statistik.
- Baum, H. S. (2003). Participatory action research. *Journal of Planning Education and Research*, 22(4), 459–470.

- Chevalier, J. M., & Buckles, D. J. (2019). *Participatory action research: Theory and methods for engaged inquiry*. Routledge.
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: An introduction*. Wiley-VCH.
- Fourqoniah, F., Kalsum, L., & Yulianti, S. (2023). Biogas purification by adsorption method using activated carbon and zeolite adsorbents. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 2(1), 45–53. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v7i2.77835>
- IEA-International Energy Agency. (2023). *World energy outlook 2023*. International Energy Agency.
- Jepleting, A., Moraa, D., Cheptoo, D., & Mecha, A. C. (2024). Enhanced biogas purification using low-cost adsorption and absorption techniques. *Sustainable Chemical Engineering*, 588-603. <https://doi.org/10.37256/sce.5220245307>
- Jepleting, A., Mecha, A. C., Sombei, D., Moraa, D., & Chollom, M. N. (2025). Potential of low-cost materials for biogas purification: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 114378. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115152>
- Kemmis, S., McTaggart, R., & Nixon, R. (2014). *The action research planner: Doing critical participatory action research*. Springer.
- Molino, G., Gandiglio, M., Fiorilli, S., Lanzini, A., Drago, D., & Papurello, D. (2022). Design and performance of an adsorption bed with activated carbons for biogas purification. *Molecules*, 27(22), 7882. <https://doi.org/10.3390/molecules27227882>
- Nurtanti, I., Wianto, A. O., Wijayanti, D. A., & Septiyanti, N. D. (2026). Sosialisasi Teknologi Biogas di Desa Gentungan, Mojogedang sebagai Pendukung Integrated Farming System. *ABDIKAN: Jurnal Pengabdian Masyarakat Bidang Sains dan Teknologi*, 5(2), 142-151. <https://doi.org/10.55123/abdikan.v5i2.7758>
- Rifai, F. Y. A., Siswanto, S., Purwanto, P., & Putri, S. O. D. (2025). Capacity Building dalam Pencatatan Laporan Keuangan Sederhana Bagi Pelaku Usaha Mikro. *KOMUNITA: Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, 4(2), 125-134. <https://doi.org/10.60004/komunita.v4i2.162>
- Ryckebosch, S., Drouillon, M., & Vervaeren, H. (2011). Techniques for transformation of biogas to biomethane. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1633–1645. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.033>
- Soeprijanto, S., Warmadewanthi, I. D. A. A., Muntini, M. S., & Anzip, A. (2021). The utilization of water hyacinth for biogas production in a plug flow anaerobic digester. *International Journal of Renewable Energy Development*, 10(1), 27. <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.21843>
- Werkneh, A. A., et al. (2022). Biogas impurities: Environmental and health implications. *Environmental Health Insights*, 16, 1–10. <https://doi.org/10.1177/11786302221126044>