

Pengembangan Energi Alternatif Biogas dari Sampah Organik di Desa Wonorejo Polokarto Sukoharjo

Kusumandari Kusumandari*, Risa Suryana, Yofentina Iriani, Fahru Nurosyid, Hendri Widiyandari, Khairuddin Khairuddin, Mohtar Yuniarto, Mokhamad Sahid Praptomo

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36A Kentingan Jebres Surakarta, 57126si;

*Email : kusumandari@staff.uns.ac.id

Abstrak

Permasalahan sampah di Indonesia menjadi perhatian serius pemerintah. Berbagai usaha pengelolaan sampah dilakukan untuk mengurangi penumpukan sampah. Salah satunya dengan pengelolaan sampah jenis organik menjadi sumber energi alternatif yaitu biogas. Dalam rangka kegiatan pengabdian kepada masyarakat, dilakukan pengolahan sampah organik menjadi energi alternatif Biogas. Kegiatan pengabdian dilakukan di Desa Wonorejo Polokarto Sukoharjo. Desa Wonorejo terdiri atas beberapa dukuh dengan total penduduk berjumlah 5783 orang. Selain rumah penduduk, di desa Wonorejo juga terdapat beberapa institusi Pendidikan mulai dari SD sampai SMA dan juga pondok pesantren dibawah Muhammadiyah. Oleh karenanya wilayah desa Wonorejo termasuk wilayah yang padat penduduk dengan beban sampah yang dihasilkan per hari yang cukup banyak. Sampah tersebut terdiri atas sampah organik dan non organik. Untuk sampah non organik warga dapat mengumpulkannya dan menjual ke pengepul sampah non organik. Tetapi untuk sampah organik, penduduk masih menghadapi kendala karena belum dapat mengolahnya menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat. Oleh karenanya pengolahan limbah organik menjadi biogas menjadi salah satu alternatif untuk mengatasi masalah tersebut. Pengolahan dimulai dengan pembuatan biodigester sebagai reaktor tempat terbentuknya gas, kemudian pengisian dengan starter dan uji fungsional. Dari pengabdian ini diharapkan masyarakat mendapatkan kemanfaatan teknologi tepat guna untuk menunjang kehidupan dalam usaha pengelolaan sampah khususnya sampah organik.

Kata kunci : *Pengabdian kepada Masyarakat, Sampah Organik, Biogas*

Abstract

The issue of waste in Indonesia has become a serious concern for the government. Various waste management efforts have been undertaken to reduce waste accumulation. One of these solutions is the processing of organic waste into an alternative energy source, namely biogas. As part of a community service initiative, a project was carried out to convert organic waste into biogas as an alternative energy source. This initiative took place in Wonorejo Village, Polokarto, Sukoharjo. Wonorejo Village consists of several hamlets and has a total population of 5,783 people. In addition to residential houses, the village is also home to several educational institutions, ranging from elementary to high schools, as well as an Islamic boarding school under the Muhammadiyah organization. Due to its relatively high population density, the village generates a considerable amount of daily waste. The waste produced in Wonorejo Village is categorized into organic and non-organic waste. Non-organic waste can be collected and sold to recycling collectors. However, the community still faces challenges in processing organic waste, as they have not yet found a way to turn it into something more useful. Therefore, converting organic waste into biogas presents a viable alternative to address this issue. The biogas production process begins with the construction of a biodigester, which serves as the reactor where gas formation occurs. This is followed by the addition of a starter and functional testing.

Through this community service initiative, it is expected that the local community will benefit from appropriate technology to support their daily lives, particularly in managing organic waste efficiently.

Keywords: *Community Service, Organic Waste, Biogas*

Cite this as: Kusumandari. K, Suryana R, Iriani Y, Nurosyid F, Widiyandari H, Khairuddin K, Yunianto M, Praptomo M. S, 2025. Pengembangan Energi Alternatif Biogas dari Sampah Organik di Desa Wonorejo Polokarto Sukoharjo. *Jurnal SEMAR (Jurnal Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Seni bagi Masyarakat)*, 14(1). 186-192. doi: <https://doi.org/10.20961/semar.v14i1.94019>

Pendahuluan

Krisis energi menjadi tantangan serius bagi banyak negara karena ketersediaan minyak bumi, sebagai sumber energi utama, semakin berkurang dan tidak dapat diperbarui. Oleh karena itu, energi terbarukan menjadi kebutuhan yang mendesak untuk mengatasi masalah ini. Di Indonesia, pengembangan sumber energi alternatif terus didorong. Indonesia memiliki setidaknya enam jenis sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT), yaitu energi air, matahari, angin, arus laut, bioenergi, dan panas bumi. Potensi keseluruhan dari keenam sumber ini diperkirakan mencapai 441,7 GW, namun kapasitas yang terealisasi baru sekitar 8,89 GW atau 2% dari total potensinya. Pemerintah menargetkan bauran energi dari EBT mencapai 23% atau sekitar 92,2 juta ton setara minyak (mtoe) pada tahun 2025, sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Untuk mencapai target ini, pemerintah berkomitmen untuk memaksimalkan pemanfaatan EBT yang ekonomis [surjandari, 2009].

Sebagai negara agraris, Indonesia memiliki sumber daya pertanian dan peternakan yang melimpah. Limbah organik dari sektor ini tidak hanya dapat dimanfaatkan sebagai pupuk, tetapi juga sebagai sumber energi alternatif berupa biogas. Pengembangan biogas menjadi bagian dari program pemerintah dalam menyediakan akses energi bagi masyarakat melalui pemanfaatan bioenergi. Dalam target bauran energi 23% tersebut, bioenergi diharapkan berkontribusi sebesar 9,7% atau 23 MTOE, yang terdiri atas 13,8 juta kiloliter biofuel, 8,4 juta ton biomassa, dan 489,8 juta m³ biogas [ebtke.esdm.go.id, 2017].

Biogas adalah gas yang mudah terbakar yang dihasilkan melalui proses anaerobik (tanpa oksigen) dalam digester dari bahan organik seperti kotoran ternak, limbah rumah tangga, dan limbah pertanian. Gas ini merupakan campuran dari beberapa gas yang terbentuk melalui fermentasi bahan organik oleh bakteri dalam kondisi bebas oksigen. Komposisi biogas umumnya terdiri dari metana (CH₄) sekitar 55-75%, karbon dioksida (CO₂) sekitar 25-45%, serta sejumlah kecil gas lainnya [A.D Burke, 2001].

Metana (CH₄) sebagai komponen utama biogas memiliki nilai kalor tinggi, berkisar antara 4800 hingga 6700 kkal/m³, sedangkan metana murni mengandung energi sebesar 8900 kkal/m³ [A.D Burke, 2001]. Karena karakteristik ini, biogas dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti penerangan, memasak, dan menggerakkan mesin. Sejak lama, gas metana telah dimanfaatkan oleh masyarakat Mesir, China, dan Romawi kuno sebagai sumber panas. Proses fermentasi untuk menghasilkan metana pertama kali ditemukan oleh Alessandro Volta pada tahun 1776. Identifikasi gas yang mudah terbakar ini dilakukan oleh William Henry pada 1806 dan dilanjutkan oleh Becham pada 1868. Kemudian, Louis Pasteur dan Tappeiner berhasil menjelaskan asal mikrobiologis dari metana pada 1882. Digester biogas pertama dibangun pada tahun 1900. Riset mengenai penggunaan gas metana sebagai biogas berkembang di Jerman dan Prancis pada akhir abad ke-19, dan selama Perang Dunia II, banyak petani di Inggris dan Eropa yang membangun digester kecil untuk menggerakkan traktor [FAO, 1981]. Namun, penggunaan biogas mulai menurun pada 1950-an seiring mudahnya akses bahan bakar fosil yang lebih murah.

Biogas memberikan banyak manfaat ekonomi dan sosial dari limbah organik. Dalam sektor pertanian, pengolahan anaerobik dari limbah ternak dan sisa makanan organik memberi keuntungan seperti diversifikasi pendapatan melalui penjualan energi, dukungan untuk pengolahan produk pertanian lokal, serta pengurangan kebutuhan dan biaya pupuk kimia. Dari segi ekonomi hijau, biogas memiliki potensi besar dalam penciptaan lapangan kerja di bidang teknis, manufaktur, dan konstruksi, pembangunan ekonomi di pedesaan, serta produksi produk sampingan yang bermanfaat dari limbah [Sadema, 2025].



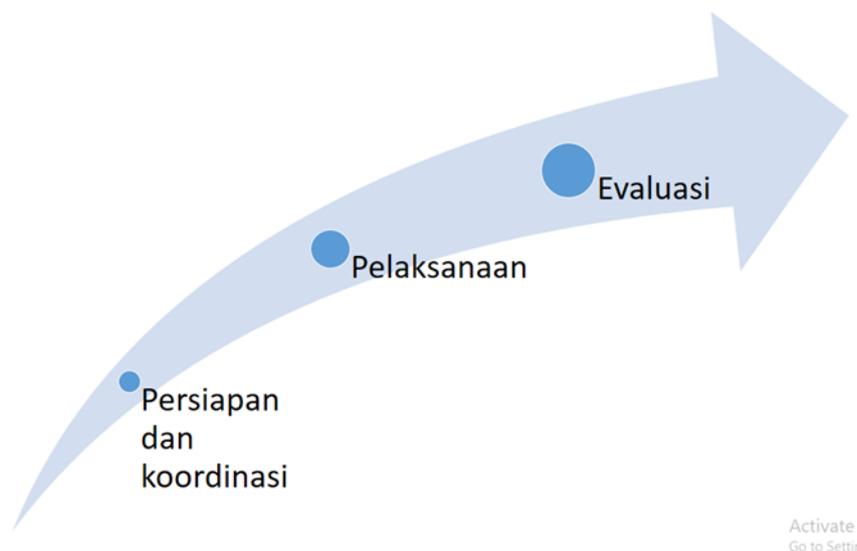
Sebagai energi terbarukan, biogas memiliki karakteristik unik yang memungkinkan pembangkitan daya fleksibel dan andal, pengelolaan energi terbarukan yang terputus-putus, peningkatan gas alam terbarukan (RNG) untuk jaringan gas alam, dan penggunaan sebagai bahan bakar transportasi. Biogas juga berfungsi sebagai pengganti langsung gas alam fosil dalam pemanasan rumah tangga serta proses industri, komersial, dan kelembagaan. Dampak lingkungan biogas juga positif, di antaranya mengurangi bau, mengubah limbah energi tinggi menjadi bahan bakar, dan mengurangi pembuangan limbah ke TPA.

Desa Wonorejo merupakan satuan wilayah pemerintah yang berada di Kecamatan Polokarto. Desa Wonorejo berdasarkan struktur pemerintahannya merupakan desa/kelurahan yang dipimpin seorang Kepala Desa / Lurah Desa. Ada 2 Kebayanan yang merupakan pembagian wilayah administrasi. Di bawah kebayanan terbagi lagi dalam satuan wilayah administrasi RW yang jumlah keseluruhannya ada 6 RW. Di bawah RW terbagi lagi dalam satuan wilayah administrasi RT yang jumlah keseluruhan ada 30 RT. Jumlah penduduk desa Wonorejo adalah 5783 orang. Jumlah tersebut merupakan penduduk tetap atau yang ber-KTP di desa Wonorejo. Sedangkan, di desa Wonorejo juga terdapat beberapa institusi Pendidikan mulai dari SD sampai SMA dan juga pondok pesantren dibawah Muhammadiyah. Oleh karenanya wilayah desa Wonorejo termasuk wilayah yang padat penduduk dengan beban sampah yang dihasilkan per hari yang cukup banyak. Sampah merupakan sisa kegiatan manusia yang terkadang menimbulkan masalah. Penelitian terhadap fraksi aktif sampah menunjukkan bahwa 73% sampah berasal dari rumah tangga (household waste), 14% dari hotel (hotel waste), 5% dari pasar (market waste) dan 8% dari terminal, rumah sakit, restoran dan perkantoran [Rahmawati, 2021; Sukrorini, 2014].

Berdasarkan permasalahan sampah yang dihadapi mitra yaitu produksi sampah organik yang melimpah di desa Wonorejo. maka pada Program Kemitraan Masyarakat ini, Tim kami melakukan pelatihan dan rancang bangun reaktor biogas untuk pengolahan sampah organik di lingkungan desa Wonorejo kabupaten Sukoharjo. Program ini diharapkan mampu mengatasi permasalahan dari mitra dan dapat menjadi *pilot project* energi alternatif biogas dari sampah rumah tangga.

Metode Pelaksanaan

Berdasarkan permasalahan yang ada di desa Wonorejo, maka dilakukan pengabdian mengenai edukasi pengelolaan sampah. Gambar 1 menunjukkan tahapan kegiatan pengabdian. Kegiatan diawali dengan persiapan dan koordinasi meliputi survey dan wawancara dengan pihak Desa Wonorejo dan analisis penyelesaian yang mungkin, kemudian pelaksanaan, dan evaluasi melalui pendampingan pengelolaan sampah.



Gambar 1. Tahapan pelaksanaan pengabdian

Pada tahapan pelaksanaan dimulai dengan pembuatan reaktor biogas dan pengisian kotoran hewan (kohe) sapi sebagai starter. Tahapan selanjutnya adalah pengisian dengan sampah organik dan pemantauan jumlah gas yang terbentuk. Setelah jumlah gas yang terbentuk cukup banyak maka dilakukan uji fungsi untuk menyalakan kompor gas. Evaluasi dan monitoring terus dilakukan terkait dengan kontinuitas pemberian sampah organik.

Hasil Dan Pembahasan

Kegiatan pengabdian dimulai dengan koordinasi dengan kepala desa beserta perangkatnya (gambar 2) dan survey lokasi untuk pemasangan reaktor biogas (Gambar 3(a)). Dari kegiatan tersebut diputuskan untuk instalasi reaktor biogas di lakukan di kebun Kelompok Wanita Tani (KWT) desa Wonorejo. Pemilihan tempat tersebut atas beberapa pertimbangan diantaranya integrasi dengan program pemerintah desa, karena nantinya di tempat tersebut akan berdiri kafe balita (gambar 3.b) sehingga biogas yang dihasilkan dapat digunakan secara optimal. Selain itu, di tempat tersebut juga banyak sumber sampah organik juga seperti daun-daun dari kebun dan sampah organik dari pemukiman warga sekitar.



Gambar 2. Koordinasi dengan kepala desa dan para perangkat



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Lokasi untuk pemasangan reaktor biogas dan (b) kafe balita

Setelah lokasi pemasangan reaktor ditentukan, kemudian mulai dilakukan rancang bangun reaktor oleh teknisi. Reaktor biogas dibuat dari bahan fiber yang ringan tetapi lebih kuat dan awet jika dibandingkan dengan bahan plastik. Selain itu bentuk reaktornya yang portable juga memudahkan dalam pemasangan dan fleksibilitas tempat. Reaktor biogas atau lebih dikenal dengan biodigester merupakan tempat material organik diurai bakteri secara anaerob (tanpa udara) menjadi gas CH_4 dan CO_2 .

Secara umum, biodigester terdiri dari empat komponen utama sebagai berikut [Mahyudin dkk, 2016]:

1. Saluran Masuk Kotoran Segar (Inlet)
Saluran ini berfungsi untuk memasukkan campuran slurry yang terdiri dari kotoran ternak dan air ke dalam reaktor utama. Campuran ini mempermudah aliran bahan baku dan mencegah terjadinya endapan di saluran masuk sehingga produksi biogas dapat berjalan optimal.
2. Ruang Digestion (Ruang Fermentasi)
Ruang ini merupakan tempat proses fermentasi atau digesti yang dibuat kedap udara. Kadang juga dilengkapi dengan wadah penampung biogas untuk menampung gas yang dihasilkan selama proses berlangsung.
3. Saluran Keluar Residu (Outlet)
Setelah proses digesti oleh bakteri selesai, kotoran yang tersisa (sludge) akan dikeluarkan melalui saluran ini. Proses ini bekerja berdasarkan prinsip keseimbangan tekanan hidrostatik, di mana slurry yang masuk pertama kali akan keluar pertama kali setelah retensi waktu, menghasilkan residu kaya nutrisi yang cocok sebagai pupuk.
4. Tangki Penyimpanan
Tangki ini digunakan untuk menyimpan biogas yang dihasilkan. Dalam jenis reaktor fixed dome, tangki penyimpanan menyatu dengan unit reaktor.

Selain empat komponen utama ini, ada beberapa komponen pendukung yang berfungsi meningkatkan produksi biogas dan menjaga keamanan biodigester:

1. Katup Pengaman Tekanan (*Control Valve*)
Katup ini berfungsi untuk melindungi biodigester dari tekanan gas yang berlebihan. Jika tekanan biogas dalam tangki penampung melebihi batas yang diizinkan, biogas akan dibuang, dan tekanan di dalam biodigester akan berkurang. Katup ini penting pada reaktor biogas berukuran besar dengan sistem berkelanjutan, dan pengukuran tekanan dapat dilakukan dengan manometer.
2. Saluran Biogas
Saluran ini digunakan untuk mengalirkan biogas yang dihasilkan. Saluran gas umumnya terbuat dari bahan polimer yang fleksibel dan tahan korosi untuk mencegah kebocoran yang berpotensi menyebabkan kebakaran. Pada kompor, saluran bisa dibuat dari pipa logam tahan panas yang disambungkan di ujung saluran gas.

Pada reaktor yang kami rancang ruang digestion dan tangki penyimpanan menjadi satu kesatuan (badan reaktor) dan dipisahkan oleh rongga dengan tujuan ketika terbentuk gas maka bagian tutup (*capping*) akan naik karena tekanan gas. Ini juga digunakan sebagai indikator sudah terbentuknya gas di dalam reaktor. Gambar 4 menunjukkan bagian-bagian dari reaktor biogas, yang terdiri dari ruang *capping*, *inlet*, *outlet*, dan *control valve*.



Gambar 4. Bagian-bagian reaktor biogas

Biodigester harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi anaerob dapat berjalan baik..Tahapan selanjutnya adalah pengisian reaktor dengan starter kotoran hewan (kohe) sapi yang dicampur air dengan perbandingan 1:1. Sebelum dimasukkan, campuran di aduk agar homogen seperti yang ditunjukkan oleh gambar 5.(a). Pada umumnya,biogas dapat terbentuk pada 4 – 5 hari setelah reaktor diisi dan umumnya mencapai maksimum pada 20 – 25 hari dan kemudian produksinya turun jika biodigester tidak diisi kembali



Gambar 5. Tahap awal pengisian reaktor biogas dengan kohe (a) pengadukan kohe dengan air dan (b) pengisian ke dalam reaktor melalui *inlet*

TAHAPAN PEMBENTUKAN BIOGAS

Proses pembentukan biogas melibatkan serangkaian tahapan di mana bahan organik dipecah secara bertahap menjadi unit-unit yang lebih kecil, dengan setiap tahapan memerlukan keterlibatan mikroorganisme tertentu. Mikroorganisme ini secara berurutan menguraikan produk dari tahapan sebelumnya. Tahapan utama pembentukan biogas meliputi hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis [Iriani, P dan Heryadi, A, 2014; Ritongal dkk, 2017; Nurdin dkk, 2019]. Semua tahapan ini terjadi secara paralel dalam tangki digester. Hidrolisis menghasilkan jumlah biogas yang relatif kecil, sedangkan produksi biogas mencapai puncaknya selama metanogenesis.

A. Hidrolisis

Tahap awal ini melibatkan pemecahan bahan organik kompleks (polimer) menjadi unit yang lebih kecil (mono dan oligomer). Pada tahap ini, polimer seperti karbohidrat, lipid, asam nukleat, dan protein diuraikan menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti glukosa, gliserol, purin, dan piridin. Mikroorganisme hidrolitik mengeluarkan enzim hidrolitik untuk mengubah biopolimer menjadi senyawa yang larut. Hidrolisis melibatkan berbagai mikroorganisme dan eksoenzim yang dihasilkan untuk menguraikan partikel yang tidak terlarut, yang hasilnya kemudian digunakan oleh mikroorganisme lainnya dalam proses metabolisme mereka.

B. Asidogenesis

Pada tahap ini, produk hidrolisis dikonversi oleh bakteri asidogenik (fermentatif) menjadi substrat metanogenik. Gula sederhana, asam amino, dan asam lemak diubah menjadi asetat, karbon dioksida, dan hidrogen (70%) serta asam lemak volatil (VFA) dan alkohol (30%).

C. Asetogenesis

Selama asetogenesis, produk dari asidogenesis yang belum bisa langsung diubah menjadi metana oleh bakteri metanogenik, dioksidasi menjadi substrat metanogenik seperti asetat, hidrogen, dan karbon dioksida. VFA dengan rantai karbon lebih dari dua dan alkohol dengan rantai karbon lebih dari satu dioksidasi menjadi asetat dan hidrogen. Hidrogen yang dihasilkan meningkatkan tekanan parsial hidrogen, yang berfungsi sebagai "produk limbah" asetogenesis dan dapat menghambat metabolisme bakteri asetogenik. Pada tahap metanogenesis, hidrogen diubah menjadi metana. Asetogenesis dan metanogenesis berjalan paralel, dengan kedua kelompok organisme bekerja dalam simbiosis.

D. Metanogenesis

Produksi metana dan karbon dioksida dilakukan oleh bakteri metanogenik. Sebanyak 70% metana terbentuk dari asetat, sementara 30% sisanya berasal dari konversi hidrogen (H) dan karbon dioksida (CO₂). Metanogenesis adalah tahap kritis dalam proses pencernaan anaerobik, karena merupakan reaksi biokimia yang paling lambat. Kondisi operasi seperti komposisi bahan baku, laju pengumpanan, suhu, dan pH sangat mempengaruhi metanogenesis. Beban berlebih pada digester, perubahan suhu yang mendadak, atau masuknya oksigen dalam jumlah besar dapat menyebabkan berhentinya produksi metana.

Gambar 6(a) menunjukkan posisi capping reaktor biogas pada hari ke 1 (sesaat setelah diisi dengan kohe), hari ke 3, dan hari ke 5. Terlihat bahwa capping semakin naik karena adanya tekanan gas yang terbentuk. Pengisian dengan sampah organik terus dilakukan sehingga gas yang terbentuk juga semakin banyak, seperti yang terlihat pada gambar 6(b) pada hari ke 21.



Gambar 6. Perubahan ketinggian capping karena tekanan gas yang terbentuk pada hari ke (a) 1, 3, 5 dan (b) 21.

Selanjutnya dilakukan uji fungsi biogas untuk menyalakan kompor. Api yang terbentuk cukup stabil dengan warna biru yang menunjukkan bahwa biogas yang dihasilkan cukup bagus seperti yang ditunjukkan pada gambar 7(a). Begitupun ketika di coba untuk memasak air, api dari biogas mampu mendidihkan satu 1,5 liter air dalam waktu kurang lebih 10 menit, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7(b). Dari uji fungsi ini dapat disimpulkan bahwa pembuatan biogas dari sampah organik sudah berhasil.



Gambar 7. Uji fungsi (a) api biru hasil dari biogas dan (b) kemampuan api dari biogas untuk memasak

Kemudian dilanjutkan dengan sosialisasi penggunaan dan perawatan reaktor biodigester kepada para penggerak PKK di lingkungan desa Wonorejo seperti yang ditunjukkan gambar 8. Kegiatan ini dilakukan bekerjasama dengan Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFIS) yang menjadikan desa Wonorejo sebagai desa binaan. Terlihat antusiasme dari para peserta melalui pertanyaan pertanyaan terkait pengolahan sampah menjadi biogas.



Gambar 8. Sosialisasi penggunaan dan perawatan biogas

Dari kegiatan ini diharapkan menjadi platform bagi para pemangku kepentingan di desa Wonorejo untuk berbagi pengetahuan, pengalaman, dan wawasan tentang pengolahan sampah organik. Kemudian untuk selanjutnya biogas yang dihasilkan dapat di manfaatkan secara optimal untuk Masyarakat.

Kesimpulan

Dari hasil pelaksanaan pengabdian pengolahan sampah organik sebagai sumber di Desa Wonorejo dapat disimpulkan bahwa sampah organik dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi alternatif biogas. Masyarakat sekitar mendapatkan pencerahan mengenai pengelolaan sampah organik dan siap mendukung penggunaan biodigester sebagai solusi efektif permasalahan sampah menuju Desa yang berwawasan mandiri energi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sebelas Maret yang telah memberi dukungan dana terhadap program pengabdian masyarakat ini melalui program Pengabdian Kepada Masyarakat Hibah Grup Riset (pkm Hgr-uns) dengan no. kontrak 195.1/UN27.22/PT.01.03/2024.

Daftar Pustaka

1. Surjandari, I., Hidayatno, A., Supriatna, A. 2009, Model dinamis pengelolaan sampah untuk mengurangi beban penumpukan, *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 11 No. 2 134-147.
1. ebtke.esdm.go.id, <http://ebtke.esdm.go.id/post/2017/09/28/1754/pemanfaatan.energi.terbarukan.is.a.must>
2. A.D Burke. 2001. Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook. Environmental Energi Company : Olympia.

3. Yadava, L. S. dan Hesse, P. R., 1981, The Development and Use of Biogas Technology in Rural Areas of Asia, A Status Report
4. Sandi Sadema, 2025, <https://sinauternak.com/biogas/>
5. Rahmawati, A.F, Rasmint, A, Syamsu, F.D., 2021, Analisis Pengelolaan Sampah Berkelanjutan Pada Wilayah Perkotaan di Indonesia, *Bina Gogik*, Vol. 8 No. 1, 1-12.
6. Sukrorini, T., Budiastuti, S., Ramelan, A.H., dan Kafiar, F.P., 2014, Kajian dampak timbunan sampah terhadap lingkungan di tempat pembuangan akhir (TPA) putri cempo Surakarta, *J. Ekosains*, Vol 6. No. 3.
7. Mahyudin, R.P., 2014, Strategi Pengelolaan Sampah Berkelanjutan, *EnviroScienteeae* Vol. 10 No.1 (2014), 33-40.
8. Iriani, P. dan Heryadi, A., 2014, Pemurnian Biogas Melalui Kolom Beradsorben Karbon Aktif, *Sigma-Mu*, Vol.6 No. 2
9. Ritonga, A.M., dan Masrukhi, 2017, Optimasi Kandungan Metana (CH₄) Biogas Kotoran Sapi Menggunakan Berbagai Jenis Adsorben, *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, Vol .10 No. 2.
10. Nurdin, A., Finalis, E.R, Arfiana, Fausiah, Tjahjono, E.W., 2019, Desain Sistem Proses Pemurnian Biogas Berbasis Palm Oil Mill Effluent (POME), *M.I.P.I.* Vol.13, No 2, 103-110.