



Pemanfaatan Limbah Organik Sebagai Sumber Energi Biogas (Studi Kasus: Pasar Karombasan, Kecamatan Wanea Kota Manado)

Murniati Waruwu^{#a}, Steeva G. Rondonuwu^{#b}, Teddy Takaendengan^{#c}

[#]Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^amurniatiwaruwu19@gmail.com, ^bsteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id, ^cteddy.takaendengan@sipil.polimdo.ac.id

Abstrak

Pasar tradisional merupakan salah satu penyumbang utama limbah organik yang belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi pemanfaatan limbah organik dari Pasar Karombasan sebagai sumber energi alternatif dalam bentuk biogas. Menggunakan metode eksperimen, limbah fermentasi dalam *anaerobik digester* dengan komposisi utama: sawi putih (65%), kol (18,67%), kangkung (13,33%), dan pakcoy (3%). Fermentasi menghasilkan tekanan biogas mulai hari ke-7 dan mencapai puncak 7,5 Psi pada hari ke-17 sebelum menurun. Dari 30 kg limbah organik yang diolah (perbandingan 1:1 dengan air, dan EM4 10%), dihasilkan biogas yang mewakili 1,5% dari total limbah ± 4 m³. Hasil menunjukkan bahwa limbah organik pasar memiliki potensi sebagai bahan baku biogas, yang dapat menjadi alternatif energi terbarukan sekaligus solusi pengurangan pencemaran lingkungan.

Kata kunci: biogas, limbah organik, pasar Karombasan, anaerobik digester, EM4

1. Pendahuluan

Pasar tradisional memiliki peranan penting dalam sistem distribusi barang kebutuhan pokok masyarakat Indonesia. Namun, aktivitas pasar juga menjadi sumber utama timbulan limbah organik, khususnya dari sisa sayur-mayur dan buah-buahan yang tidak terjual. Limbah ini, jika tidak dikelola secara tepat, dapat menimbulkan permasalahan lingkungan seperti pencemaran air dan udara, bau tidak sedap, serta menjadi sumber penyakit.

Menurut data Dinas Lingkungan Hidup Kota Manado (2018), volume sampah yang dihasilkan mencapai 409,7 ton per hari, dengan komposisi 65% berupa sampah organik. Sekitar 8,12% atau 33,27 ton berasal dari pasar tradisional, termasuk Pasar Karombasan. Limbah pasar umumnya bersifat mudah membosuk karena kadar air yang tinggi, sehingga cepat mencemari lingkungan dan mempercepat peningkatan emisi gas rumah kaca. Di sisi lain, limbah organik memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan dalam bentuk biogas. Biogas adalah gas yang dihasilkan melalui proses fermentasi anaerobik oleh mikroorganisme, dan dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil. Pemanfaatan biogas tidak hanya berkontribusi dalam penyediaan energi ramah lingkungan, tetapi juga merupakan upaya pengurangan volume limbah yang sesuai dengan amanat UU No. 18 Tahun 2008 tentang pengelolaan sampah.

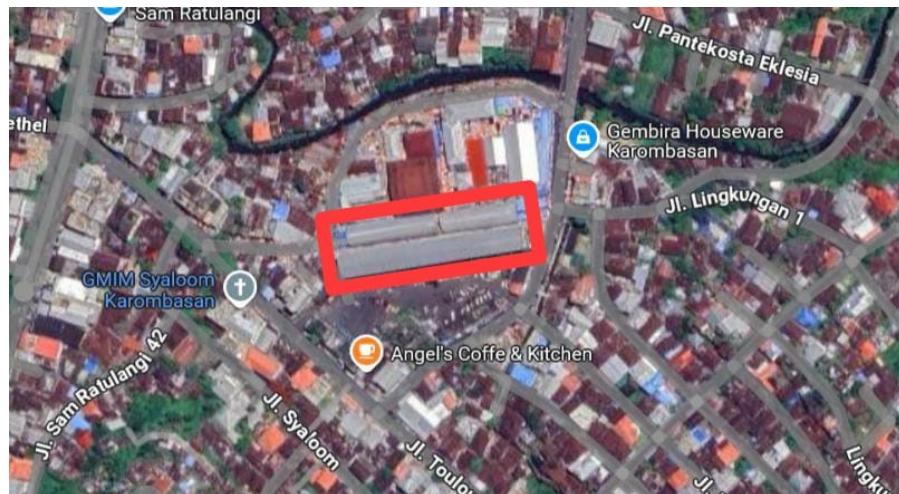
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi pemanfaatan limbah organik dari Pasar Karombasan sebagai bahan baku produksi biogas. Fokus penelitian terbatas pada skala laboratorium, menggunakan proses anaerobik dengan starter EM4 (Effective Microorganism-4) berwarna kuning, dan tidak membahas analisis kuantitatif volume gas yang dihasilkan. Penelitian ini menjawab rumusan masalah: Bagaimana pengelolaan limbah organik dapat menghasilkan produksi biogas.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah limbah organik sayuran dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar biogas, memberikan informasi kepada masyarakat tentang pemanfaatan limbah organik sebagai energi alternatif, serta berkontribusi

dalam pengembangan solusi ramah lingkungan terhadap permasalahan sampah di kawasan pasar tradisional.

2. Metode

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di pasar pinasungkulan karombasan utara, kecamatan Wanea Kota Manado. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai dengan Mei 2025. Rentang waktu ini mencakup seluruh tahapan penelitian, mulai dari persiapan, pengumpulan data, pelaksanaan eksperimen, hingga analisis hasil.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

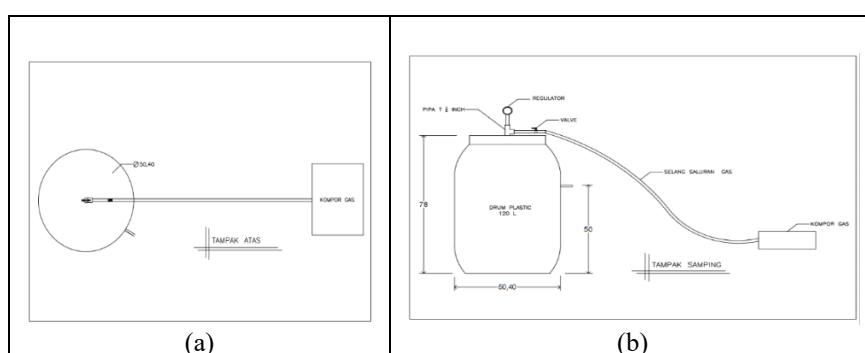
Penelitian ini menggunakan pendekatan melalui pengamatan dan pengukuran langsung terhadap proses fermentasi limbah organik dalam produksi biogas.

Alat dan Bahan

Untuk melakukan eksperimen diperlukan alat Reaktor Biogas sebagai tempat fermentasi *anaerobic* dan bahan yang digunakan adalah sampah sayuran, stater EM4 dan Air.

Perancangan Alat

Dalam penelitian ini, perancangan alat dilakukan untuk mendukung proses pengolahan limbah organik menjadi biogas. Alat yang dirancang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu reaktor biodigester, sistem pengadukan, pipa dan selang penyalur gas, serta alat pengukur tekanan gas yang dihasilkan.



Gambar 2. a) Rancangan Alat Tampak Atas; b) Rancangan Alat Tampak Samping.

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor biogas sederhana yang dibuat dari drum plastik berkapasitas 120 l dengan diameter 50,40 cm. Prosedur pembuatan alat

dilakukan melalui tahapan berikut: 1) Persiapan Drum Plastik, Drum plastik berkapasitas 120 liter dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran dan sisa bahan kimia, jika ada. Pembersihan dilakukan menggunakan air dan sabun untuk memastikan drum steril sebelum digunakan; 2) Pembuatan Lubang bagian samping drum pada ketinggian 50 cm; 3) Pembuatan lubang bagian tengah atas; 4) Pemasangan Pipa T pada bagian atas tengah yang sudah dilubangi; 5) Pemasangan Pressure gauge pada bagian pipa T yang mengarah keatas menggunakan sambungan-sambungan drat kuningan $\frac{1}{2}$ inci dan drat kuningan $\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$ inci; 6) Pemasangan Kran gas dibagian samping pipa T; 7) Pemasangan Selang, dengan menyambungkan selang dari kran gas ke kompor gas.

Metode Pengumpulan Data

Tahapan Pengumpulan data dalam pembuatan biogas sebagai berikut: 1) Sampah sayur dikumpulkan dan dibersihkan dari sampah anorganik, agar dapat mempercepat proses pembentukan gas bio; 2) Timbang sampah sayuran tersebut guna menentukan berat yang ditentukan dalam proses pencampuran sampah sayur dengan air; 3) Kemudian sampah sayuran tersebut dilakukan pencacahan untuk mendapatkan ukuran sampah sayuran lebih halus, agar mempermudah proses pencernaan dalam fermentasi pembentukan gas bio; 4) Dimasukkan kedalam Reaktor dan ditambahkan air sehingga diperoleh bahan isian 1:1 air; 5) Setelah bahan isian tercampur, maka tambahkan stater EM4 bakteri fermentasi pada sampah sayur; 6) Tutup lubang corong dengan rapat dan kedap, dengan tujuan agar tidak kemasukkan benda asing dari luar, yang dapat mempengaruhi proses dan hasil dari gas bio tersebut; 7) Pengukuran tekanan biogas yang dihasilkan dilakukan setiap sore selama 24 hari.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Rancangan Reaktor Biogas

Prototipe reaktor biogas ini dirancang untuk memanfaatkan sampah organik menjadi biogas dengan menggunakan teknologi fermentasi bakteri yang sederhana dan mudah dalam pengaplikasiannya.



Gambar 3. Hasil Rancangan Reaktor Biogas

Komposisi Limbah Organik

Limbah Organik yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari berbagai jenis sampah yang dihasilkan di pasar karombasan, diantaranya sisa sayuran. Berikut Jumlah dan jenis limbah yang sudah dikumpulkan.

Tabel 1. Komposisi Limbah Organik

Jenis Sayur	Berat Sayur	Percentase
Sawi putih	19,5 Kg	65%
kol	5,6 Kg	18,67%
pakcoy	0,9 Kg	3%
Kangkung	4 Kg	13,33%
Total	30 Kg	100%

Limbah sayuran tersebut dikumpulkan selama 3 hari dari beberapa penjual sayuran di pasar karombasan.

Perkembangan Tekanan Biogas

Pada uji kinerja reaktor biogas diketahui perkembangan tekanan biogas selama proses fermentasi terhadap biogas yang dihasilkan dari sampah organik. Parameter yang diamati untuk melihat peningkatan pembentukan biogas ini adalah tekanan yang terbaca pada pressure gauge. Tekanan tersebut diamati setiap hari pukul 10.00 selama 24 hari.

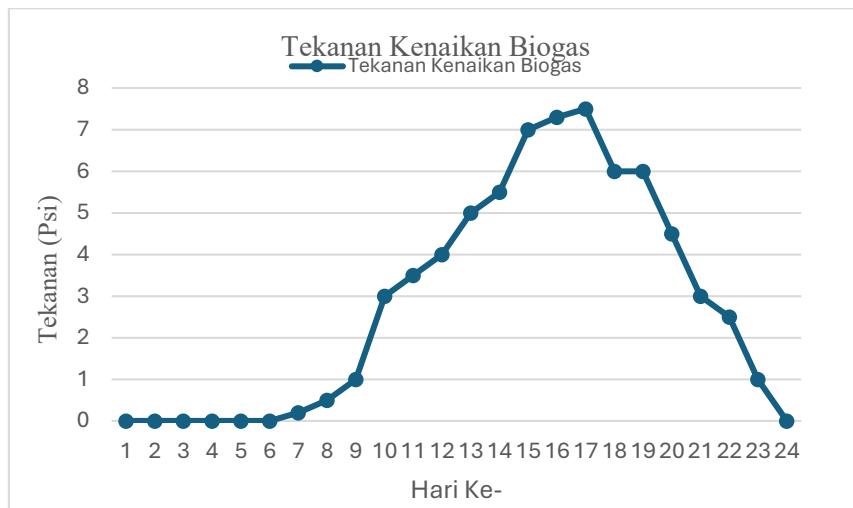
Tabel 2. Data Pengamatan Tekanan Biogas

Hari Ke	Tekanan (Psi)	Hari Ke	Tekanan (Psi)	Hari ke	Tekanan (Psi)
1	0	9	1	17	7,5
2	0	10	3	18	6
3	0	11	3,5	19	6
4	0	12	4	20	4,5
5	0	1	5	21	3
6	0	14	5,5	22	2,5
7	0,2	15	7	23	1
8	0,5	16	7,3	24	0

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa perkembangan tekanan biogas dihasilkan selama 24 hari. Pada hari pertama hingga hari keenam, tekanan biogas masih berada pada angka 0 Psi, yang mengindikasikan bahwa proses fermentasi awal belum menghasilkan gas dalam jumlah signifikan. Mulai hari ketujuh, tekanan mulai meningkat secara bertahap, dengan nilai 0,2 Psi, kemudian terus naik hingga mencapai puncaknya pada hari ke-17 dengan tekanan 7,5 Psi. Kenaikan tekanan ini menunjukkan bahwa proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme telah mencapai tahap optimal dalam menghasilkan biogas. Setelah hari ke-17, tekanan mulai mengalami penurunan bertahap, hingga akhirnya kembali ke 0 Psi pada hari ke-24. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh berkurangnya substrat yang tersedia bagi mikroorganisme, sehingga produksi gas menurun. Hasil ini menggambarkan bahwa produksi biogas memiliki pola tertentu, dengan fase akumulasi tekanan, puncak produksi, dan fase penurunan akibat konsumsi substrat yang semakin sedikit.

Uji Nyala Api

Nyala api yang dihasilkan dari biogas yang memiliki kandungan metana (CH₄) tinggi umumnya menghasilkan nyala api berwarna biru, yang menandakan pembakaran yang lebih sempurna dan efisien. Sebaliknya, jika nyala api cenderung berwarna kuning atau merah, hal ini dapat mengindikasikan adanya kandungan karbon dioksida (CO₂) atau gas pengotor lainnya yang lebih tinggi dalam biogas. Proses uji nyala api dilakukan dengan mengalirkan biogas ke kompor gas sederhana, kemudian diamati perubahan karakteristik nyala yang muncul.



Gambar 4. Grafik Kenaikan Tekanan Biogas



Gambar 5. Uji Nyala Api

Proses Produksi Biogas

Proses produksi biogas diawali dengan pengumpulan dan pembersihan limbah organik, khususnya sampah sayuran untuk memastikan tidak ada kontaminasi dari sampah anorganik yang dapat menghambat proses fermentasi. Pengumpulan sampah sayuran dilakukan selama 3 hari berurutan yaitu senin, selasa dan rabu. Sampah sayuran dikumpulkan dari beberapa penjual sayuran dipasar karombasan. Berikut adalah gambar pengumpulan limbah organik di Pasar Karombasan.

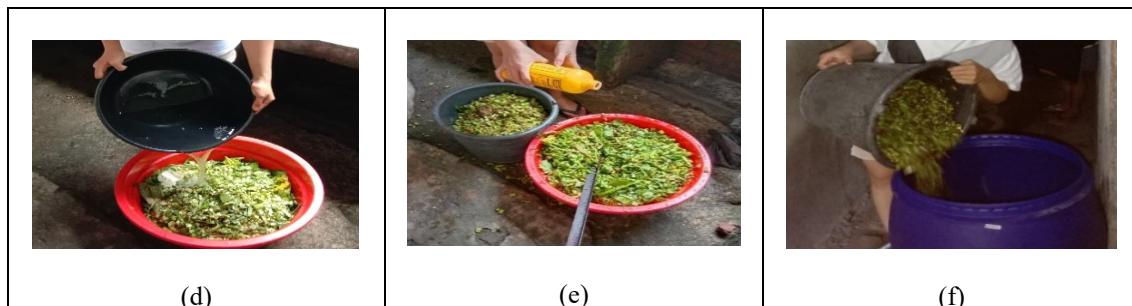


Gambar 6. a). Pengumpulan Limbah Organik di pasar karombasan, b). Pencacahan sisa sayuran, c). Penimbangan limbah sayuran.

Sampah organik yang sudah dikumpulkan sebanyak 30 Kg dengan keadaan masih tercampur dengan jenis limbah sayuran lainnya. Kemudian sampah sayuran yang sudah dikumpulkan dicacah menjadi ukuran lebih kecil kurang lebih 2-3 cm, dicacah dan dipisahkan sesuai jenis sayuran yang sudah ditentukan. Ukuran sampah sampel yang lebih kecil dapat mempercepat proses dekomposisi oleh mikroorganisme dalam digester.

Selanjutnya sampah sayuran yang sudah di potong-potong ditimbang sesuai dengan jenis sayuran. Selain untuk mengetahui berat sayuran, penimbangan sampah dilakukan untuk menentukan rasio pencampuran dengan air agar proses fermentasi berlangsung optimal.

Sampah sayuran yang sudah ditimbang kemudian dimanfaatkan sebagai bahan isian dalam reaktor biogas dengan mencampur semua jenis sayuran di wadah yang cukup. Lalu menambahkan air dengan perbandingan terhadap sampah organik sebesar 1:1, dimana berat limbah sayuran sebanyak 30 kg maka air juga sebanyak 30 liter.



Gambar 7. d). Pencampuran Air dengan limbah sayur; e). Penambahan Stater EM4; f). Pemasukan Bahan Fermentasi.

Setelah sampah sayuran dicampur dengan air lalu diikuti penambahan stater EM4 sebanyak 10% dari banyaknya sayuran 30 Kg yaitu 3 liter. Hal ini berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Aan Adeputra, 2015 dengan judul prototipe reaktor biogas pengaruh waktu fermentasi terhadap biogas yang dihasilkan dari sampah organik yaitu kapasitas dan kualitas produksi biogas untuk variasi perlakuan dengan menggunakan variasi 10% stater EM4 lebih tinggi jika dibandingkan dengan variasi 5% stater EM4. Penambahan EM4 juga merujuk pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Dwi Irawan, 2016 dengan judul penelitian pengaruh EM4 (Effective Microorganism) terhadap produksi biogas menggunakan bahan baku kotoran sapi yaitu dengan penambahan EM4 10% lebih efektif untuk menghasilkan biogas dan terlihat kenaikan tekanan cukup stabil dengan tekanan biogas tertinggi pada hari ke 20 dibanding penambahan 8% dan 9%.

Setelah sampah sayuran dicampur dengan air dalam perbandingan 1:1 dan ditambahkan starter EM4, langkah selanjutnya adalah pengadukan bahan dalam digester. Pengadukan dilakukan untuk memastikan bahwa campuran bahan organik, air, dan mikroorganisme tersebar secara merata, sehingga proses fermentasi dapat berlangsung dengan optimal.

Efektivitas Solusi dalam mengurangi limbah organik

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dari total limbah organik yang terkumpul, sejumlah 30 kg dapat diolah menjadi bahan baku pembuatan biogas. Dengan konversi ini, sekitar 1,5 % dari total limbah organik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara optimal. Limbah organik yang dihasilkan pasar karombasan mencapai $\pm 4 \text{ m}^3$ dengan asumsi massa jenis limbah organik pasar $\pm 500 \text{ kg/m}^3$. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi biogas dapat secara signifikan mengurangi beban limbah organik di pasar tersebut.

Pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar

Biogas memiliki potensi sebagai pengganti LPG untuk keperluan rumah tangga atau kegiatan usaha berskala kecil. Energi yang dihasilkan dari proses fermentasi limbah organik ini tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga mampu menghasilkan daya bakarnya cukup stabil dan aman digunakan dengan peralatan yang sesuai, seperti kompor biogas. Dengan pemanfaatan yang tepat, biogas dapat menjadi solusi energi terbarukan yang berkelanjutan serta membantu

mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang semakin terbatas. Keuntungan pemanfaatan biogas juga sebagai sumber bahan baku (limbah organik) yang tersedia setiap hari dipasar, sehingga menjamin pasokan gas.

Durasi Penggunaan Biogas pada Kompor Rumah Tangga berdasarkan Tekanan Operasional

Tabel 3. Asumsi Komponen Biogas Berdasarkan Literatur

Komponen	Nilai Umum	Sumber Literasi
Konsumsi kompor biogas rumah tangga	0,25 m ³ per jam	FAO (1996), GTZ (2007)
Tekanan operasi ideal	5 – 10 psi	SNV (2012), FAO (1996)
Volume biogas dalam simulasi	0,5 m ³ dan 1 m ³ (umum dalam biodigester skala kecil)	Disesuaikan dari praktik lapangan

Tabel 4. Simulasi Lama Penggunaan Gas

Volume Gas	Tekanan (psi)	Estimasi Lama Penggunaan Kompor	Penjelasan
0,5 m ³	6 psi	± 2 jam	Tekanan cukup stabil, api normal, efisiensi maksimal jika tidak bocor
1,0 m ³	6 psi	± 4 jam	Cocok untuk memasak 2–3 kali aktivitas rumah tangga
0,5 m ³	7,5 psi	± 1,5–1,7 jam	Tekanan lebih tinggi → aliran gas lebih deras → gas lebih cepat habis
1,0 m ³	7,5 psi	± 3–3,5 jam	Meskipun tekanan naik, kehilangan waktu tidak signifikan jika burner efisien

Dengan menggunakan asumsi tersebut, dapat disimulasikan bahwa jika volume gas yang tersedia adalah 0,5 m³ dan tekanan berada pada 6 psi, maka durasi penggunaan kompor dapat mencapai ±2 jam. Namun, apabila tekanan dinaikkan menjadi 7,5 psi, durasi penggunaan berkurang menjadi ±1,5–1,7 jam. Begitu pula untuk volume gas sebesar 1,0 m³, durasi penggunaan pada tekanan 6 psi dapat mencapai ±4 jam, sedangkan pada tekanan 7,5 psi hanya bertahan ±3–3,5 jam. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya laju aliran gas ke burner seiring dengan bertambahnya tekanan, sehingga gas lebih cepat habis.

Berdasarkan hasil observasi dan didukung oleh literatur, tekanan gas berpengaruh terhadap lama penggunaan biogas untuk keperluan memasak. Dengan asumsi volume gas sebesar 0,5–1 m³, tekanan 6 psi mampu menyalaikan kompor selama ±2 hingga 4 jam. Sementara pada tekanan 7,5 psi, waktu penggunaan menurun menjadi ±1,5 hingga 3,5 jam tergantung pada efisiensi burner. Tekanan yang stabil dan sesuai rekomendasi berperan penting dalam optimalisasi pemanfaatan energi biogas di rumah tangga.

Residu Hasil Fermentasi Biogas

Setelah fermentasi selesai, diperoleh residu berupa lumpur kental berwarna coklat kehitaman. Berdasarkan observasi visual, volume residu padat yang terbentuk diperkirakan mencapai sekitar 40–50% dari total bahan awal, yaitu sekitar 25–30 liter. Sisa dari bahan awal mengalami proses penguraian dan berubah menjadi gas (biogas) serta cairan hasil fermentasi.



Gambar 8. Residu Hasil Fermentasi

Salah satu manfaat utama dari residu ini adalah sebagai pupuk organik padat. Kandungan unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang umumnya masih tersisa dalam residu hasil fermentasi sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Selain sebagai pupuk, residu fermentasi juga berpotensi digunakan sebagai bahan dasar kompos. Dengan proses pengeringan dan pencampuran tambahan bahan organik seperti sekam atau dedak, residu ini dapat ditingkatkan kualitasnya menjadi kompos matang yang ramah lingkungan dan bernilai ekonomi.

Pemanfaatan Biogas tanpa sistem Penampungan

Dalam eksperimen ini, sistem penampungan gas tidak digunakan karena penelitian difokuskan pada pengamatan langsung terhadap proses pembentukan dan pemanfaatan biogas secara sederhana dan terbuka. Tujuan utama adalah untuk mengetahui potensi produksi gas dari limbah organik serta menganalisis efektivitas penggunaannya terhadap kompor dalam kondisi real-time.

Metode ini juga dipilih untuk merepresentasikan kondisi lapangan pada skala kecil atau rumah tangga yang mungkin belum memiliki fasilitas penampungan, serta untuk menunjukkan bahwa biogas tetap dapat dimanfaatkan secara langsung tanpa sistem penyimpanan yang kompleks, selama tekanan dapat dikendalikan dengan baik.

Penurunan tekanan atau habisnya biogas secara cepat dalam eksperimen ini disebabkan oleh tidak digunakannya sistem penampungan gas, terbatasnya volume produksi, dan penggunaan gas secara langsung ke kompor. Hal ini merupakan konsekuensi dari desain sistem yang bersifat terbuka dan tanpa cadangan gas, yang justru menjadi bagian penting dari pengamatan terhadap dinamika tekanan dalam sistem biogas sederhana. “Tekanan biogas dapat turun dengan cepat jika tidak terdapat sistem penyimpanan atau laju produksi gas lebih lambat dibanding laju pemanfaatan” (FAO, 1996; SNV, 2012)

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pemanfaatan limbah organik dari Pasar Karombasan sebagai sumber energi biogas, dapat disimpulkan bahwa Tekanan biogas mulai terbentuk pada hari ke-7, meningkat secara bertahap, dan mencapai puncaknya 7,5 Psi pada hari ke-17, sebelum mengalami penurunan hingga hari ke-24. Hasil ini menunjukkan bahwa proses fermentasi memerlukan waktu sekitar 7-17 hari untuk mencapai produksi optimal, setelah itu produksi biogas mulai menurun. Komposisi limbah yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sawi putih (65%), kol (18,67%), pakcoy (3%), dan kangkung (13,33%).

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dari total limbah organik yang terkumpul, sejumlah 30 kg dapat diolah menjadi bahan baku pembuatan biogas. Dengan konversi ini, sekitar 1,5 % dari total limbah organik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara optimal. Limbah organik yang dihasilkan pasar karombasan mencapai ± 4 m³ dengan asumsi massa jenis limbah organik pasar ± 500 kg/m³. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi biogas dapat secara signifikan mengurangi beban limbah organik di pasar karombasan Kota Manado.

Biogas memiliki potensi sebagai pengganti LPG untuk keperluan rumah tangga atau kegiatan usaha berskala kecil. Energi yang dihasilkan dari proses fermentasi limbah organik ini tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga mampu menghasilkan daya bakarnya dan aman digunakan dengan peralatan yang sesuai, seperti kompor biogas.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berarti dalam penyusunan jurnal penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak terkait yang telah membantu dalam pengumpulan data dan pelaksanaan penelitian.

Referensi

- Damayanti, A. A., Fuadina, Z. N., Azizah, N. N., Karinta, Y., & Mahardika, I. K. (2021). Pemanfaatan sampah organik dalam pembuatan biogas sebagai sumber energi kebutuhan hidup sehari-hari. *Eksbergi: Jurnal Teknik Energi*, 17(3), 182-190.
- Wardana, L. A., Lukman, N., Mukmin, M., Sahbandi, M., Bakti, M. S., Amalia, D. W., ... & Nababan, C. S. (2021). Pemanfaatan Limbah Organik (Kotoran Sapi) Menjadi Biogas dan Pupuk Kompos. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 4(1).
- Lontoh, J. H., Rumbayan, M., & Mangindaan, G. M. C. (2017). Analisa Ekonomis Pemanfaatan Limbah Organik Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Pada Pasar Tradisional. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 6(1), 48-56.
- Paramitha, S. B. U., & Ikhwan, D. (2012). Pembuatan biogas dari sampah sayuran. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 1(1), 103-108.
- Sutrisno, J. (2010). Pembuatan biogas dari bahan sampah sayuran (kubis, kangkung dan bayam). *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 8(1), 100-112.
- Purnomo, V., Hidayatullah, A. S., Inam, A., Prastuti, O. P., Septiani, E. L., & Herwoto, R. P. (2020). Biodiesel dari minyak jarak pagar dengan transesterifikasi metanol subkritis. *Jurnal Teknik Kimia*, 14(2), 73-79.
- Mustadzy dkk., 2009 Limbah pasar merupakan bahan-bahan hasil sampingan dari kegiatan manusia yang berada di pasar dan banyak mengandung bahan organik.
- Nurcahya, K., Moelyaningrum, A. D., & Ningrum, P. T. (2014). Identifikasi Sanitasi Pasar di Kabupaten Jember (Studi di Pasar Tanjung Jember) (Identification of Market Sanitation In Jember (Studies in Tanjung Market Jember). *Pustaka Kesehatan*, 2(2), 285-292.
- Rahmat, F. N. (2023). Analisis pemanfaatan sampah organik menjadi energi alternatif biogas. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 4(2), 118-122.
- Muharja, M., Darmayanti, R. F., Putri, D. K. Y., & Rahmawati, A. (2023). Pemanfaatan Sampah Organik untuk Produksi Biogas di Lembaga Pemasyarakatan Klas II A Jember dengan Melibatkan Narapidana. *Sewagati*, 7(1), 98-105.
- Apriandi, N. (2021). Analisa biodigester polyethilene skala rumah tangga dengan memanfaatkan limbah organik sebagai sumber penghasil biogas. *Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial*, 17(1), 23-29.
- Basriyanta. (2007). *Memanen Sampah*. Yogyakarta: Kanisius.
- Medynda, M., Sucipto, T., & Hakim, L. (2012). Pengembangan perekat likuida dari limbah kulit buah kakao (*Theobroma cacao L.*). *Peronema Forestry Science Journal*, 1(1), 156199.
- Latifah, O., Ahmed, O. H., & Majid, N. M. A. (2018). Soil pH buffering capacity and nitrogen availability following compost application in a tropical acid soil. *Compost Science & Utilization*, 26(1), 1-15.
- Kristanto, B. A. (2006). Perubahan karakter tanaman jagung (*Zea mays L.*) akibat alelopati dan persaingan teki (*Cyperus rotundus L.*) [The changing of corn (*Zea mays L.*) character caused by allelopathy and competition with purple nutsedge (*Cyperus rotundus L.*)]. *Jurnal Pengembangan Peternakan Tropis*, 3(31), 189-194.
- Hammad, M., Badarneh, D., & Tahboub, K. (1999). Evaluating variable organic waste to produce methane. *Energy Conversion and Management*, 40(13), 1463-1475.
- Hadiwiyoto, S. (1983). *Penanganan dan pemanfaatan sampah*. Yayasan Idayu.
- FAO. (2021). Food composition table for use in East Asia. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gunawan, R., Yulianto, D., & Wulandari, R. (2017). Kajian pemanfaatan limbah sayuran sebagai bahan baku biogas pada skala rumah tangga. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), A103–A107.
- Praptiwi, N. L. (2019). Pengaruh campuran limbah sayuran terhadap produksi biogas pada reaktor anaerob. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Industri*, 7(2), 87–95.
- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, 99(17), 7928–7940.
- Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., & Rana, V. (2004). Enhancement of biogas

- production from solid substrates using different techniques – A review. *Bioresource Technology*, 95(1), 1–10.
- Megawati, (2014). Pengaruh penambahan EM4 (Mikroorganisme Efektif-4) pada pembuatan biogas dari eceng gondok dan rumen sapi.