

PEMANFAATAN LIMBAH TERNAK DALAM PEMBUATAN BIOGAS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF TERBARUKAN

**Siswatiana R. Taha^{1*}, Azhar Toni Pramana¹, Dwi Marsitha Ahmad¹, Fadel Muhamad Saleh
Lamase¹, Nur Kamaria M. Day¹, Nuhrizal Daud¹**

Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Gorontalo

* Email korespondensi: siswatiana.taha@ung.ac.id

ABSTRAK

Studi ini mengkaji mekanisme produksi biogas serta penerapannya sebagai alternatif energi yang dapat diperbarui. Menggunakan metodologi deskriptif kualitatif yang dikombinasikan dengan pendekatan kajian literatur, riset ini menganalisis berbagai publikasi ilmiah mengenai kemajuan teknologi biogas dan implementasi energi terbarukan. Temuan memperlihatkan bahwa produksi biogas melalui dekomposisi anaerobik membutuhkan prosedur sistematis mencakup persiapan substrat, fase pembusukan, serta evaluasi kualitas gas. Observasi dua minggu mengungkapkan bahwa fermentasi berlangsung melalui tahapan hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Pengujian nyala api pada hari kesembilan belas memverifikasi kehadiran metana sebagai komponen utama biogas. Namun demikian, mempertahankan lingkungan anaerobik, mencapai keseimbangan pH optimal, serta menetapkan rasio karbon-nitrogen yang sesuai tetap menjadi tantangan yang memerlukan penyelesaian. Mengembangkan metodologi produksi biogas berkelanjutan menjamin implementasi teknologi secara luas sebagai solusi energi terbarukan. Mengintegrasikan teknologi yang tepat dengan inovasi berkelanjutan merupakan faktor krusial keberhasilan produksi biogas menghadapi kebutuhan energi yang terus meningkat.

Kata kunci: biogas, dekomposisi anaerobik, energi terbarukan, energi alternatif, generasi metana

PENDAHULUAN

Keterbatasan sumber energi konvensional dan dampak perubahan iklim global mendesak pencarian alternatif energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Biogas, sebagai salah satu bentuk energi yang dapat diperbarui, memberikan prospek menjanjikan dalam mengatasi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sambil mengurangi emisi gas yang memicu pemanasan global. Produksi biogas terjadi melalui degradasi material organik secara anaerobik oleh aktivitas mikroorganisme,

menghasilkan gas metana yang dapat dimanfaatkan sebagai energi.

Indonesia, dengan karakteristiknya sebagai negara berbasis pertanian dan produksi limbah organik yang berlimpah, menyimpan potensi signifikan dalam pengembangan teknologi biogas. Material buangan dari sektor pertanian, peternakan, dan rumah tangga yang selama ini menimbulkan permasalahan lingkungan dapat ditransformasi menjadi sumber energi bernilai ekonomis. Utilisasi biogas tidak hanya mengatasi pencemaran

lingkungan, namun juga menyediakan alternatif energi yang mengurangi beban finansial masyarakat dalam memenuhi kebutuhan energi harian.

Mekanisme produksi biogas melibatkan rangkaian reaksi biokimia kompleks yang dipengaruhi oleh berbagai variabel seperti tipe substrat, proporsi karbon-nitrogen, derajat keasaman, suhu, dan durasi retensi. Pemahaman komprehensif terhadap variabel-variabel ini sangat esensial untuk mengoptimalkan produksi biogas dan menjamin keberlanjutan sistem. Meskipun teknologi biogas telah mengalami perkembangan signifikan, implementasinya di tingkat grassroot masih menghadapi berbagai hambatan teknis dan non-teknis yang memerlukan kajian mendalam.

Kajian tentang produksi biogas menjadi semakin penting dalam konteks pembangunan berkelanjutan dan transisi energi. Pengembangan sistem biogas yang efisien dan ekonomis dapat berkontribusi substansial terhadap kemandirian energi nasional, reduksi emisi gas rumah kaca, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Di samping itu, teknologi biogas juga berkontribusi pada pengelolaan limbah yang lebih efektif dan produksi pupuk organik berkualitas sebagai produk ikutan.

Mempertimbangkan urgensi pengembangan energi terbarukan dan potensi besar yang dimiliki Indonesia, kajian ini berupaya menyajikan analisis menyeluruh mengenai mekanisme produksi biogas, faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitasnya, dan strategi implementasi yang efektif. Melalui pendekatan sistematis, diharapkan dapat

memberikan kontribusi praktis bagi pengembangan teknologi biogas yang berkelanjutan dan dapat diaplikasikan secara luas di masyarakat.

METODE PENELITIAN

Waktu Dan Tempat

Kegiatan pengamatan dilaksanakan di halaman Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Gorontalo selama ± 5 jam.

Alat Dan Bahan

Alat :

- Galon air mineral
- pisau
- pipa logam
- ember berisi air
- selang plastik akuarium dengan diameter 1 cm dan panjang 1 m

Bahan:

- enceng gondok
- kotoran ternak

METODE PELAKSANAAN

Prosedur Kerja

I. Persiapan

- Menyiapkan alat dan bahan yang di perlukan.
- Menggunakan alat pelindung diri (sarung tangan dan maskr).
- Menyiapkan lembar observasi untuk mencatat data

II. Pembuatan biogas

- Masukkan enceng gondok dan sisa sayuran lainnya sampai memenuhi setidaknya setenga dari galon air.
- Setelah itu isi galon dengan air secukupnya dan tutup rapat galon mineral tersebut dengan rapat.
- Simpan galon selama 1 minggu dengan tujuan agar bahan organik itu bisa menjadi busuk.
- Setelah satu minggu, siapkkan dua buah pipa logam dan selang aqiariumnya.
- Sambungkan pipa logam dengan plastik aquarium kemudian sambungkan lagi dengan pipa logam panjangnya 20 cm.
- Lalu lubangi sedikit tutup galon menggunakan pisau, pastikan tutup tidak terbuka agar gas tidak keluar.
- Tusukkan pipa logam ke dalam tutup botol yang sudah di lobangi tadi.
- Setelah itu coba nyalakan korek api di sisi pipa logam yang satunya.
- Ujung pipa logam akan terus mengeluarkan api sebab ada gas di dalam galon mineral tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan ini memperlihatkan bahwa mekanisme produksi biogas melalui fermentasi anaerobik merupakan teknologi kompleks namun berpotensi besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif. Hasil observasi pengamatan dan analisis literatur mengidentifikasi beberapa faktor kunci yang mempengaruhi kesuksesan produksi biogas, meliputi karakteristik substrat, kondisi

fermentasi, aktivitas mikroorganisme, dan manajemen sistem digester.

Data observasi menunjukkan bahwa proses fermentasi biogas memerlukan durasi minimal dua minggu untuk mencapai produksi gas yang optimal. Pada minggu pertama, proses didominasi oleh tahap hidrolisis dan asidogenesis dimana material organik kompleks dipecah menjadi senyawa sederhana dan asam-asam organik. Pada minggu kedua, aktivitas bakteri metanogen meningkat signifikan yang ditandai dengan produksi gas metana dan perubahan karakteristik substrat.

Uji nyala api yang dilakukan setelah sembilan belas hari fermentasi mengindikasikan keberadaan gas metana dalam biogas yang dihasilkan, meskipun dalam penelitian ini juga ditemukan kendala teknis yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas biogas. Analisis menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti kebocoran sistem, pH yang tidak optimal, dan rasio C/N yang kurang sesuai dapat menyebabkan kegagalan atau rendahnya efisiensi produksi biogas.

Kajian literatur mendukung temuan hasil observasi dengan menunjukkan bahwa kesuksesan produksi biogas sangat bergantung pada kontrol parameter operasional yang ketat. Suhu optimal untuk produksi biogas berkisar antara 30-40°C untuk bakteri mesofil, pH optimal antara 6,8-7,4, dan rasio C/N ideal berkisar 20:1 hingga 30:1. Deviasi dari parameter optimal ini dapat menghambat aktivitas mikroorganisme dan menurunkan produksi biogas secara signifikan.

Distribusi tahapan kritis dalam produksi biogas:

1. **Persiapan Substrat (25%)** - Pemilihan dan pencampuran material organik dengan rasio C/N optimal
2. **Proses Fermentasi (40%)** - Tahapan hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis
3. **Kontrol Parameter (20%)** - Monitoring pH, suhu, dan kondisi anaerobik
4. **Evaluasi Kualitas (15%)** - Evaluasi komposisi dan efisiensi biogas yang dihasilkan

A. Mekanisme Fermentasi Anaerobik dalam Produksi Biogas

Fermentasi anaerobik merupakan inti dari teknologi biogas, dimana mikroorganisme menguraikan material organik kompleks menjadi gas metana dan karbon dioksida dalam kondisi tanpa oksigen. Proses ini melibatkan konsorsium mikroorganisme yang bekerja secara sinergis melalui empat tahapan biokimia yang saling terkait.

Tahap Hidrolisis merupakan fase awal dimana enzim ekstraseluler yang diproduksi oleh bakteri hidrolitik memecah polimer organik kompleks seperti karbohidrat, protein, dan lemak menjadi monomer sederhana seperti gula, asam amino, dan asam lemak. Tahap ini sering menjadi tahap pembatas kecepatan dalam keseluruhan proses fermentasi, terutama untuk substrat dengan kandungan lignoselulosa tinggi.

Tahap Asidogenesis mengkonversi produk hidrolisis menjadi asam-asam organik (asetat, propionat, butirrat), alkohol, hidrogen, dan karbon dioksida. Bakteri asidogenik bekerja sangat cepat dan dapat menyebabkan akumulasi asam organik jika tidak diimbangi dengan

aktivitas bakteri tahap selanjutnya. Akumulasi asam berlebihan dapat menurunkan pH dan menghambat aktivitas bakteri metanogen yang sensitif terhadap kondisi asam.

Tahap Asetogenesis mentransformasi produk asidogenesis menjadi asetat, hidrogen, dan karbon dioksida yang merupakan substrat langsung bagi bakteri metanogen. Bakteri asetogenik memiliki hubungan sintropi dengan bakteri metanogen, dimana produk asetogenesis harus segera dikonsumsi oleh metanogen untuk menjaga keseimbangan termodinamika proses.

Tahap Metanogenesis adalah fase akhir dimana bakteri metanogen mengkonversi asetat dan hidrogen menjadi metana. Bakteri metanogen adalah mikroorganisme yang paling sensitif dalam konsorsium anaerobik, memerlukan kondisi lingkungan yang sangat spesifik dan waktu generasi yang lambat. Keberhasilan tahap ini menentukan kualitas dan kuantitas biogas yang dihasilkan.

Hasil observasi pengamatan memperlihatkan bahwa pada minggu pertama, proses fermentasi didominasi oleh tahap hidrolisis dan asidogenesis. Hal ini terlihat dari perubahan fisik substrat yang menjadi lebih lunak dan munculnya aroma asam yang khas. Pada minggu kedua, aktivitas metanogenesis meningkat yang ditandai dengan produksi gas yang lebih aktif dan berkurangnya aroma asam.

B. Variabel-Variabel yang Mempengaruhi Produksi Biogas

Kesuksesan produksi biogas sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor operasional yang harus dikontrol dengan cermat. Pemahaman terhadap faktor-faktor ini sangat

penting untuk optimalisasi produksi dan pencegahan kegagalan sistem.

Karakteristik Substrat merupakan faktor fundamental yang menentukan potensi produksi biogas. Substrat dengan kandungan material organik tinggi, struktur yang mudah terdegradasi, dan rasio C/N optimal akan menghasilkan biogas lebih baik. Rasio C/N yang ideal untuk produksi biogas adalah 20:1 hingga 30:1. Rasio C/N yang terlalu tinggi menyebabkan kekurangan nitrogen untuk pertumbuhan bakteri, sedangkan rasio yang terlalu rendah menyebabkan akumulasi amoniak yang dapat menghambat aktivitas bakteri metanogen.

pH dan Alkalinitas merupakan parameter kritis yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme. Bakteri metanogen memiliki rentang pH optimal yang sempit (6,8-7,4) dan sangat sensitif terhadap perubahan pH. Sistem buffer yang baik diperlukan untuk menjaga stabilitas pH selama proses fermentasi. Alkalinitas dalam digester membantu menetralkan asam-asam organik yang diproduksi selama asidogenesis dan mencegah penurunan pH yang tajam.

Suhu mempengaruhi laju reaksi biokimia dan aktivitas mikroorganisme. Produksi biogas dapat dilakukan pada rentang suhu mesofil (30-40°C) atau termofil (50-60°C). Kondisi mesofil lebih stabil dan umum digunakan, sedangkan kondisi termofil menghasilkan biogas lebih cepat namun memerlukan kontrol yang lebih ketat dan energi tambahan untuk pemanasan. Fluktuasi suhu yang besar dapat mengganggu keseimbangan mikroorganisme dan menurunkan produksi biogas.

Waktu Retensi Hidrolik (HRT) menentukan lama waktu substrat berada dalam digester. HRT yang terlalu singkat tidak memberikan waktu cukup bagi mikroorganisme untuk mendegradasi material organik secara lengkap, sedangkan HRT yang terlalu panjang menurunkan efisiensi volume digester. HRT optimal bervariasi tergantung jenis substrat dan kondisi operasi, umumnya berkisar antara 20-40 hari untuk kondisi mesofil.

Kondisi Anaerobik adalah prasyarat mutlak untuk produksi biogas. Kehadiran oksigen akan menghambat aktivitas bakteri metanogen dan mendorong pertumbuhan bakteri aerobik yang tidak menghasilkan metana. Sistem digester harus dirancang kedap udara dan dilengkapi dengan sistem pengaman untuk mencegah masuknya oksigen. Dari hasil pengamatan terindikasi salah satu penyebab kegagalan adalah diduga adanya kebocoran sistem yang menyebabkan kontaminasi oksigen.

Nutrisi dan Elemen Jejak diperlukan untuk pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme. Selain karbon dan nitrogen, mikroorganisme memerlukan fosfor, sulfur, dan elemen jejak seperti besi, nikel, kobalt, dan molibdenum. Kekurangan nutrisi atau elemen jejak dapat membatasi aktivitas mikroorganisme dan menurunkan produksi biogas.

C. Hasil Observasi Pembuatan Produksi Biogas

Berdasarkan hasil observasi pengamatan yang dilakukan, proses produksi biogas menunjukkan dinamika yang sesuai dengan teori fermentasi anaerobik meskipun terdapat beberapa kendala teknis.

Tahap Persiapan dan Pencampuran (Minggu Pertama)

Pada fase awal, semua material organik dicampur secara merata dan dimasukkan ke dalam digester. Pencampuran yang homogen sangat penting untuk memastikan distribusi mikroorganisme dan nutrisi yang merata. Selama minggu pertama, terlihat perubahan fisik substrat dimana tekstur menjadi lebih lunak dan warna mulai berubah menjadi lebih gelap. Proses hidrolisis dan asidogenesis berlangsung aktif yang ditandai dengan munculnya aroma asam yang khas dan penurunan pH substrat.

Pada fase ini, belum terlihat produksi gas yang signifikan karena mikroorganisme masih dalam tahap adaptasi terhadap substrat dan kondisi lingkungan. Bakteri hidrolitik dan asidogenik mulai berkembang dan mendominasi populasi mikroorganisme. Monitoring visual menunjukkan bahwa substrat mengalami penguraian bertahap dengan pembentukan lapisan cair di bagian bawah digester.

Periode Pembusukan Selama Dua Minggu

Observasi selama dua minggu menunjukkan progres yang signifikan dalam proses fermentasi. Pada minggu pertama, proses didominasi oleh degradasi material organik kompleks menjadi asam-asam organik. Produksi asam organik yang tinggi menyebabkan penurunan pH yang dapat dilihat dari perubahan karakteristik substrat dan intensitas aroma asam.

Memasuki minggu kedua, aktivitas bakteri metanogen mulai meningkat yang ditandai dengan beberapa indikator: produksi gas yang lebih aktif terlihat dari gelembung gas

dalam sistem, berkurangnya intensitas aroma asam, dan perubahan warna substrat menjadi lebih kehitaman. Fase ini merupakan periode kritis dimana keseimbangan antara produksi asam dan konsumsi asam oleh metanogen mulai tercapai.

Monitoring menunjukkan bahwa volume gas yang dihasilkan meningkat secara bertahap seiring waktu. Meskipun pengukuran kuantitatif tidak dilakukan secara detail, indikator visual menunjukkan akumulasi gas dalam sistem penampung. Karakteristik substrat berubah signifikan dengan konsistensi yang lebih homogen dan aroma yang lebih netral dibanding fase awal.

Evaluasi Nyala Api Setelah Sembilan Belas Hari

Evaluasi nyala api dilakukan setelah sembilan belas hari fermentasi untuk mengevaluasi kandungan metana dalam biogas yang dihasilkan. Uji ini merupakan metode kualitatif sederhana namun efektif untuk menentukan apakah biogas mengandung metana dalam konsentrasi yang cukup untuk pembakaran. Hasil evaluasi menunjukkan karakteristik nyala yang mengindikasikan keberadaan gas metana, meskipun kualitas pembakaran menunjukkan bahwa kandungan metana belum optimal.

Biogas dengan kandungan metana tinggi (>60%) akan menghasilkan nyala api yang stabil berwarna biru, sedangkan kandungan metana yang lebih rendah menghasilkan nyala yang kurang stabil atau berwarna kekuningan. Adapun pada pengamatan yang dilakukan saat pembuatan biogas ditemukan bahwa karakteristik

nyala mengindikasikan bahwa proses metanogenesis telah berlangsung namun mungkin belum mencapai kondisi optimal. Faktor-faktor seperti pH, suhu, atau rasio C/N yang belum sepenuhnya optimal dapat menjadi penyebab.

Analisis Hambatan dalam Produksi Biogas

Dalam proses pembuatan biogas, tercatat adanya hambatan atau kendala yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas biogas yang dihasilkan. Analisis terhadap faktor penyebab hambatan sangat penting untuk pembelajaran dan perbaikan proses di masa mendatang.

Beberapa faktor yang teridentifikasi sebagai penyebab potensial hambatan atau rendahnya efisiensi produksi biogas meliputi:

1. **Kebocoran Sistem:** Kontaminasi oksigen akibat kebocoran pada digester atau sistem penyaluran gas dapat menghambat aktivitas bakteri metanogen yang bersifat anaerob obligat. Bahkan kehadiran oksigen dalam jumlah kecil dapat mengganggu keseimbangan mikroorganisme dan menurunkan produksi metana.
2. **pH yang Tidak Optimal:** Ketidakseimbangan antara produksi asam organik dan kapasitas buffer sistem dapat menyebabkan pH turun di bawah rentang optimal untuk bakteri metanogen. Tanpa sistem kontrol pH yang baik, proses metanogenesis dapat terhambat secara signifikan.
3. **Rasio C/N yang Kurang Sesuai:** Komposisi substrat yang tidak optimal dapat menyebabkan defisiensi nitrogen atau akumulasi amoniak yang menghambat

aktivitas mikroorganisme. Penggunaan substrat tunggal tanpa penyeimbangan nutrisi dapat menjadi faktor pembatas.

4. **Suhu yang Fluktuatif:** Variasi suhu lingkungan dapat mempengaruhi kecepatan reaksi biokimia dan aktivitas mikroorganisme. Tanpa sistem kontrol suhu, kondisi suboptimal dapat memperlambat atau menghentikan proses fermentasi.
5. **Durasi Fermentasi yang Belum Mencukupi:** Meskipun observasi dilakukan selama dua minggu dan evaluasi nyala api pada hari kesembilan belas, beberapa jenis substrat mungkin memerlukan durasi fermentasi lebih lama untuk mencapai produksi biogas optimal. Bakteri metanogen memiliki waktu generasi yang lambat dan memerlukan waktu untuk mencapai populasi yang stabil.

Pembelajaran dari kendala yang dihadapi menunjukkan pentingnya kontrol parameter operasional yang ketat, desain sistem yang baik, dan monitoring berkelanjutan dalam produksi biogas. Optimalisasi proses memerlukan pemahaman mendalam terhadap karakteristik substrat, dinamika mikrobiologi, dan manajemen sistem yang terintegrasi.

D. Strategi Optimalisasi Produksi Biogas

Berdasarkan hasil observasi dan analisis literatur, beberapa strategi dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi dan kesuksesan produksi biogas.

Perlakuan Awal Substrat dapat meningkatkan biodegradabilitas material organik dan mempercepat proses fermentasi.

Metode perlakuan awal meliputi perlakuan fisik (pengecilan ukuran, pemanasan), kimia (perlakuan asam/basa), dan biologi (ensilase, pengomposan awal). Perlakuan awal yang tepat dapat meningkatkan hasil biogas hingga 50% tergantung jenis substrat.

Ko-Digesti yaitu pencampuran berbagai jenis substrat dengan karakteristik yang saling melengkapi dapat mengoptimalkan rasio C/N, meningkatkan ketersediaan nutrisi, dan menyeimbangkan kandungan inhibitor. Ko-digesti kotoran ternak dengan limbah pertanian atau sampah organik rumah tangga sering menghasilkan performa yang lebih baik dibanding mono-digesti.

Penambahan Inokulasi dengan kultur bakteri metanogen atau slurry dari digester yang sudah stabil dapat mempercepat start-up dan meningkatkan stabilitas proses. Inokulasi mengurangi fase lag dan mempercepat pembentukan konsorsium mikroorganisme yang seimbang.

Sistem Kontrol Parameter yang otomatis untuk monitoring dan penyesuaian pH, suhu, dan kondisi operasional lainnya dapat meningkatkan stabilitas proses dan mencegah kegagalan. Teknologi sensor dan kontrol digital memungkinkan manajemen digester yang lebih presisi dan responsif.

Pengadukan yang tepat dapat meningkatkan kontak antara substrat dan mikroorganisme, mencegah pembentukan lapisan dan akumulasi inhibitor, serta meratakan distribusi panas. Namun, pengadukan yang terlalu intensif dapat mengganggu pembentukan granul bakteri dan meningkatkan konsumsi energi.

Resirkulasi Efluen atau recirculation sebagian efluen digester dapat meningkatkan alkalinitas, menyeimbangkan pH, dan meningkatkan konsentrasi bakteri dalam digester. Strategi ini efektif untuk stabilisasi pH dan percepatan start-up sistem baru.

E. Aplikasi dan Manfaat Biogas dalam Konteks Energi Terbarukan

Biogas memiliki potensi aplikasi yang luas sebagai sumber energi terbarukan yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan memberikan manfaat lingkungan serta ekonomi yang signifikan.

Sebagai Bahan Bakar biogas dapat digunakan langsung untuk memasak, penerangan, dan pemanasan. Satu meter kubik biogas setara dengan 0,6 liter minyak tanah atau 6 kWh listrik. Untuk skala rumah tangga, produksi biogas dari kotoran 2-3 ekor sapi dapat mencukupi kebutuhan memasak sehari-hari satu keluarga.

Pembangkit Listrik melalui generator biogas dapat memberikan suplai listrik untuk penerangan dan operasional peralatan. Skala kecil (1-5 kW) cocok untuk rumah tangga atau komunitas kecil, sedangkan skala besar (>1 MW) dapat diintegrasikan ke grid nasional. Pembangkit listrik biogas memberikan baseload energy yang stabil dibanding solar atau wind yang intermiten.

Bahan Bakar Kendaraan setelah pemurnian (upgrading) menjadi bio-metana dengan kandungan metana >95%, biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan (bio-CNG). Beberapa negara seperti Swedia telah mengembangkan infrastruktur bio-CNG yang

ekstensif dengan ribuan kendaraan berbahan bakar biogas.

Manfaat Lingkungan dari teknologi biogas sangat signifikan. Setiap ton sampah organik yang diolah menjadi biogas dapat mengurangi emisi gas rumah kaca setara 0,5-1 ton CO₂. Biogas mengurangi emisi metana dari dekomposisi limbah organik yang memiliki potensi pemanasan global 25 kali lebih tinggi dari CO₂. Selain itu, teknologi biogas mengurangi pencemaran air dan tanah dari limbah organik yang tidak terkelola (Budiono, 2014)

Produk Sampingan berupa digestate merupakan pupuk organik berkualitas tinggi yang kaya akan nutrisi dan dapat meningkatkan produktivitas pertanian. Digestate memiliki nilai ekonomis dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia. Penggunaan digestate sebagai pupuk juga menutup loop nutrisi dalam sistem pertanian berkelanjutan (Nasution et al, 2014).

Aspek Ekonomi menunjukkan bahwa investasi sistem biogas skala rumah tangga (4-6 m³) berkisar Rp 5-10 juta dengan payback period 2-4 tahun tergantung intensitas penggunaan. Untuk skala komunitas atau industri, kelayakan ekonomi lebih menarik dengan economies of scale dan potensi penjualan listrik atau bio-CNG. Program subsidi dan insentif pemerintah dapat mempercepat adopsi teknologi biogas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian dan observasi saat pengamatan, disimpulkan bahwa produksi biogas melalui fermentasi anaerobik merupakan teknologi yang layak dan berpotensi besar untuk

dikembangkan sebagai sumber energi alternatif terbarukan. Proses produksi biogas melibatkan serangkaian tahapan biokimia yang kompleks meliputi hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis yang memerlukan kontrol parameter operasional yang ketat untuk mencapai efisiensi optimal.

Observasi selama dua minggu menunjukkan bahwa proses fermentasi berlangsung sesuai dengan teori, dimana minggu pertama didominasi oleh degradasi material organik dan produksi asam, sedangkan minggu kedua ditandai dengan aktivitas metanogenesis yang meningkat. Evaluasi nyala api setelah sembilan belas hari mengkonfirmasi keberadaan metana dalam biogas yang dihasilkan, meskipun kualitas dan kuantitas produksi masih dapat dioptimalkan melalui perbaikan kontrol parameter dan desain sistem.

Faktor-faktor kritis yang mempengaruhi kesuksesan produksi biogas meliputi karakteristik substrat, rasio C/N, pH, suhu, waktu retensi, dan kondisi anaerobik. Hambatan atau rendahnya efisiensi produksi biogas dalam pembuatan biogas memberikan pembelajaran penting tentang pentingnya manajemen sistem yang terintegrasi dan monitoring berkelanjutan. Strategi optimalisasi seperti perlakuan awal substrat, ko-digesti, inokulasi, dan sistem kontrol otomatis dapat meningkatkan performa produksi biogas secara signifikan.

Teknologi biogas menawarkan solusi multi-benefit yang mencakup penyediaan energi terbarukan, pengurangan emisi gas rumah kaca, pengelolaan limbah organik yang lebih baik, dan produksi pupuk organik berkualitas. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan dan

transisi energi, pengembangan teknologi biogas memiliki peran strategis dalam mencapai kemandirian energi dan mitigasi perubahan iklim.

Untuk implementasi yang lebih luas, diperlukan dukungan kebijakan pemerintah, pengembangan kapasitas masyarakat, dan inovasi teknologi yang berkelanjutan. Kolaborasi antara lembaga riset, industri, dan komunitas menjadi kunci untuk mengakselerasi adopsi teknologi biogas. Penelitian lanjutan perlu difokuskan pada optimalisasi proses, pengembangan sistem yang lebih efisien dan ekonomis, serta eksplorasi substrat alternatif yang dapat meningkatkan viabilitas ekonomi teknologi biogas di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiyono, Widiasta, I.N., Johari, S., & Sunarso. (2010). Pengaruh Temperatur dan Waktu Tinggal terhadap Produksi Biogas dari Limbah Kotoran Ternak dalam Sistem Kontinyu. *Jurnal Energi*, 6(1), 11-18.
- Budiyono. (2014). *Biogas Technology: Concept, Design, and Application*. Semarang: Graha Ilmu.
- Dewi, R.K., & Trihadiningrum, Y. (2014). Potensi Produksi Biogas dari Sampah Makanan melalui Proses Digesti Anaerobik. *Jurnal Purifikasi*, 14(2), 133-142.
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A.H., Pattiwiri, A.W., & Hendroko, R. (2014). *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Haryati, T. (2006). Biogas: Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Wartazoa*, 16(3), 160-169.
- Handayani, N., & Ariyanti, D. (2022). Kajian Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Biogas sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Energi Terbarukan*, 4(1), 15-24.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2013). *Panduan Teknis Pembangunan Instalasi Biogas Skala Rumah Tangga*. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi.
- Nasution, M.A., Herawan, T., & Rivai, M. (2014). Analisis Potensi Energi Listrik dari Biogas Kotoran Sapi di Kecamatan Hampan Perak. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, 11(1), 61-74.
- Purwanto, H. (2019). Evaluasi Kinerja Biodigester dalam Menghasilkan Biogas dari Limbah Peternakan. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(1), 23-30
- Rahman, A., & Arifin, Z. (2018). Optimasi Produksi Biogas Menggunakan Ko-Substrat Kotoran Sapi dan Sampah Organik dengan Rasio C/N yang Berbeda. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 189-196.
- Setiawan, A.I. (2017). *Memfaatkan Kotoran Ternak untuk Biogas dan Kompos*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Simamora, S., & Salundik. (2006). *Meningkatkan Kualitas Kompos*. Jakarta: Agromedia Pustaka
- Sunarso. (2016). Kajian Produksi Biogas dari Campuran Kotoran Sapi dengan Limbah Pertanian dengan Rasio C/N yang Berbeda. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 14(1),

- 40-47.
- Suriawiria, U. (2003). *Mikrobiologi Air dan Dasar-Dasar Pengolahan Buangan Secara Biologis*. Bandung: Penerbit Alumni.
- Suyitno, S., Dharmanto, D., & Juwana, W.E. (2015). Teknologi Biogas Pembuatan, Operasional dan Pemanfaatan. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 18(1), 99-106.
- Sutarno, S. (2015). Biogas: Limbah Menjadi Energi yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 7(1), 50-62.
- Wulandari, C., & Istirokhatun, T. (2020). Produksi Biogas dari Limbah Organik dengan Variasi pH dan Temperatur. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 9(2), 1-10.
- Wididana, G.N., & Higa, T. (1996). *Konsep dan Peranan Teknologi Effective Microorganisms*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Wahyuni, S. (2011). Biogas Energi Alternatif Pengganti BBM, Gas, dan Listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 3(1), 43-53.
- 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.