

ANALISIS UJI NYALA BIOGAS DARI VARIASI KOMPOSISI SAMPAH ORGANIK SAYURAN BASAH

Adrina Putri Nada Alicia; M. Mujiburohman

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Peningkatan sampah organik di Indonesia mendorong perlunya solusi pengelolaan berkelanjutan, salah satunya melalui teknologi biogas. Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi komposisi sampah sayuran basah—kubis hijau, kangkung, dan sawi hijau — terhadap kualitas nyala api biogas. Fermentasi dilakukan secara anaerob selama 7 hingga 15 hari dalam digester berkapasitas 5 liter pada suhu ruang (27–30°C), dengan masing-masing substrat terdiri dari ±2 kg sayuran, 2 liter aquades, dan 100 mL EM4. Hasil menunjukkan bahwa sawi hijau menghasilkan nyala api biru terang dan stabil dalam waktu fermentasi 7 hari, menandakan kandungan metana yang tinggi. Kangkung menghasilkan nyala sedang, sedangkan kubis hijau menghasilkan nyala kekuningan dengan waktu fermentasi terlama, yaitu 15 hari. Seluruh substrat mengalami penurunan pH dari 7,1–7,3 menjadi 6,2–6,4, namun masih dalam kisaran optimal bagi aktivitas mikroorganisme. Dengan karakteristiknya yang mudah terurai, sawi hijau dinilai sebagai substrat paling optimal untuk produksi biogas berkualitas, dan berpotensi diaplikasikan dalam skala rumah tangga sebagai sumber energi terbarukan berbasis limbah organik.

Kata kunci: biogas, sampah organik, sayuran basah, uji nyala api, fermentasi anaerob.

Abstract

The increase in organic waste in Indonesia has prompted the need for sustainable management solutions, one of which is through biogas technology. This study examines the effect of variations in the composition of wet vegetable waste—green cabbage, kale, and green mustard greens—on the quality of the biogas flame. Fermentation was carried out anaerobically for 7 to 15 days in a 5-liter digester at room temperature (27–30°C), with each substrate consisting of ±2 kg of vegetables, 2 liters of distilled water, and 100 mL of EM4. The results showed that green mustard greens produced a bright and stable blue flame within a fermentation time of 7 days, indicating a high methane content. Water spinach produced a medium flame, while green cabbage produced a yellowish flame with the longest fermentation time, which was 15 days. All substrates experienced a decrease in pH from 7.1–7.3 to 6.2–6.4, but were still within the optimal range for microorganism activity. With its easily decomposable characteristics, green mustard greens are considered the most optimal substrate for the production of quality biogas, and have the potential to be applied on a household scale as a renewable energy source based on organic waste.

Keywords: biogas, organic waste, wet vegetables, flame test, anaerobic fermentation.

1. PENDAHULUAN

Lonjakan sampah organik di Indonesia menimbulkan tantangan lingkungan yang memerlukan solusi menyeluruh. Berdasarkan laporan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2023), sekitar 60% limbah nasional berasal dari bahan organik, namun sebagian

besar belum dimanfaatkan secara maksimal. Jenis sampah ini umumnya berasal dari sisa makhluk hidup serta aktivitas rumah tangga, pasar, dan industri makanan. Padahal, limbah organik berpotensi diolah menjadi produk bermanfaat seperti kompos, pakan, atau sumber energi terbarukan melalui biogas. Dengan pengelolaan yang tepat, sampah organik dapat dikonversi menjadi nilai tambah sekaligus mengurangi beban tempat pembuangan akhir.

Biogas adalah salah satu jenis energi terbarukan yang dihasilkan melalui proses fermentasi anaerob dari bahan-bahan organik. Komponen utama biogas terdiri dari gas metana (CH_4) sebesar 54-70%, karbondioksida (CO_2) antara 27-35%, karbon monoksida (CO) 0,1%, oksigen (O_2) 0,1%, serta nitrogen (N), hidrogen (H_2), dan hidrogen sulfida (H_2S) (Irawan dan Ridhuan, 2017). Terdapat berbagai alasan mengapa energi terbarukan menjadi pilihan yang menarik, antara lain; harganya yang relatif terjangkau, sifatnya yang netral terhadap karbon, minimnya polusi yang dihasilkan, serta semakin banyaknya dukungan dari berbagai LSM untuk menggantikan sumber energi tidak terbarukan yang berbasis bahan bakar minyak. Selain itu, penggunaan energi terbarukan juga berperan dalam menggantikan energi berbasis minyak dan gas, serta membantu mengurangi emisi gas yang berkontribusi terhadap pemanasan global (Caturwati dkk, 2015).

Menurut Marcelino, Viktor dan Anggorowati (2023) komponen dalam biogas memiliki komposisi yang berbeda-beda sebagaimana tercantum pada table dibawah ini:

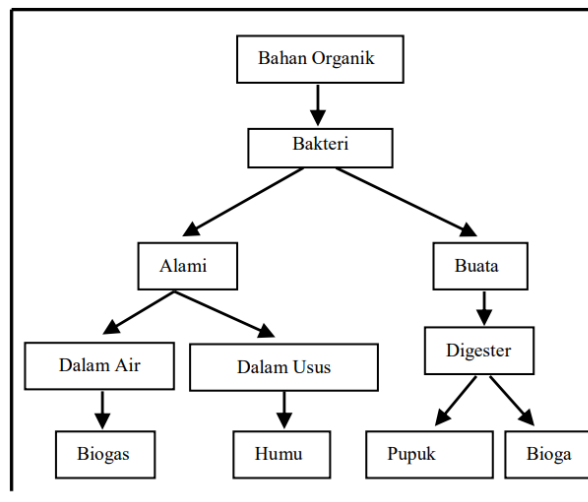
Tabel 1. Komposisi Biogas.

Kandungan Gas	Rumus Kimia	Jumlah (%)
Metana	CH_4	60-70
Karbondioksida	CO_2	30-40
Nitrogen	N_2	3
Hidrogen	H_2	01-10
Oksigen	O_2	3
Hidrogen Sulfida	H_2S	5

Biogas berasal dari pencernaan anaerobik (AD) biomassa dan bahan limbah organik dan dapat dibakar secara langsung, digunakan dalam unit gabungan panas dan daya untuk menghasilkan listrik, dibersihkan untuk membuat bio-metana untuk digunakan dalam jaringan listrik nasional atau sebagai bahan bakar transportasi. Biogas juga diakui memiliki nilai yang signifikan untuk mengelola limbah, sedangkan digestate yang dihasilkan sebagai produk sampingan AD sangat dihargai di masyarakat pertanian karena potensinya untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia. Upaya untuk mengurangi emisi gas rumah

kaca dari sektor energi dan pertanian global, biogas telah menerima perhatian signifikan baru-baru ini sebagai bagian dari strategi global untuk meningkatkan ketergantungan pada bahan bakar terbarukan, mendekarbonisasi pasokan energi, mengurangi perubahan iklim dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil (Hewitt dkk., 2022)

Perombakan anaerob adalah proses penguraian material organik yang dilakukan oleh bakteri anaerobik dalam kondisi tanpa oksigen, yang menghasilkan biogas dan limbah cair. Secara umum, terdapat dua jenis perombakan anaerobik, yaitu perombakan alami dan perombakan buatan, yang dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini: (Irawan and Khudori, 2015)



Gambar 1. Proses Pencernaan Anaerobik

Mikroorganisme anaerob menggunakan energi dengan cara memetabolisme bahan organik yang ada dalam material di dalam digester, yang kemudian menghasilkan biogas. Penguraian secara anaerob, terdapat tahapan transformasi bahan organi. Tahapan tersebut diantaranya: (Irawan and Khudori, 2015).

1. Tahap *hidrolisis*

Pada tahap hidrolisis, mikroba hidrolitik menguraikan senyawa organik kompleks yang berbentuk polimer menjadi monomer yang merupakan senyawa tidak larut dengan berat molekul yang lebih rendah.

2. Tahap *asidogenesis*

Monomer-monomer yang dihasilkan dari proses hidrolisis diubah menjadi senyawa organik sederhana, seperti asam lemak volatil, alkohol, asam laktat, serta senyawa mineral seperti karbondioksida, hidrogen, amonia, dan gas hidrogen sulfida.

3. *Asetogenesis*

Hasil dari proses asidogenesis diubah menjadi produk akhir untuk produksi metana, yang terdiri dari asetat, hidrogen, dan karbondioksida. Sekitar 70% dari COD awal diubah menjadi asam asetat.

4. *Metanogenesis*

Pada fase metanogenesis, terjadi pembentukan metana dan karbondioksida. Metana dihasilkan dari asetat atau melalui reduksi karbondioksida oleh bakteri asetotropik dan hidrogenotropik dengan memanfaatkan hidrogen.

Sampah organik merupakan jenis limbah yang dapat terurai dengan mudah, memiliki kadar air yang tinggi, dan cepat membusuk karena berasal dari bahan-bahan hayati. Hal ini membuat mikroorganisme dapat dengan mudah menguraikannya. Contoh sampah organik meliputi kotoran hewan, sisa makanan, kotoran manusia, daun-daunan, dan sejenisnya. Jika dibiarkan menumpuk di lahan kosong, sampah organik dapat menghasilkan bau tidak sedap akibat senyawa amonia yang terkandung di dalamnya, sehingga mengganggu pernapasan. Selain itu, cairan yang dihasilkan sampah organik dapat menyebabkan pencemaran air tanah, merusak struktur tanah, dan mengurangi kandungan unsur hara. Secara umum, karakteristik sampah meliputi sifat fisik, kimia, dan biologis (Badriyah and Sudarti, 2024).

2. METODE

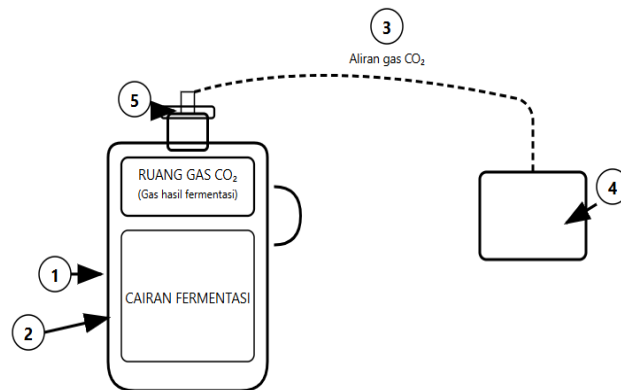
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari seperangkat alat digester, pisau pencacah, baskom, timbangan analitik, pembakar bunsen (alat pembakar), batang pengaduk, thermometer, *urine bag* (sebagai kantong gas), dan alat pengukur PH.

Bahan yang digunakan berupa sayur kubis hijau, kangkung, sawi hijau, larutan EM4 (peternakan), dan aquades.

Untuk mengoptimalkan produksi biogas, sampah sayuran perlu dikelola dengan tepat. Pertama-tama, dilakukan pemilahan sampah sayur berdasarkan jenisnya. Setelah itu, setiap jenis sampah sayur dibersihkan dengan teliti untuk memastikan tidak ada sampah anorganik yang tercampur. Pembersihan dari bahan anorganik ini sangat penting karena akan membantu mempercepat proses pembentukan biogas.

Setiap jenis sampah sayuran ditimbang sebanyak ± 2 kg sayuran untuk menentukan volume yang tepat dalam proses pencampuran dengan air. Sampah sayuran tersebut kemudian dicacah hingga halus untuk memudahkan proses pencernaan dalam fermentasi pembentukan biogas. Setelah itu, sampah yang telah dicacah dimasukkan ke dalam gallon (alat digester) dan dicampurkan dengan air dalam rasio 1:1.

Untuk memulai proses fermentasi, tambahkan 150 ml starter EM4 (bakteri fermentasi) pada masing-masing jenis sampah sayur yang telah dicampur. Selanjutnya, lakukan penusukan pada pipa pemasukan untuk memastikan aliran bahan berjalan lancar. Pastikan lubang corong ditutup dengan rapat dan kedap untuk mencegah masuknya benda asing yang dapat mempengaruhi proses dan hasil biogas. Pengukuran tekanan biogas dilakukan dua kali sehari (pagi dan siang) selama 7-15 hari untuk setiap jenis sampah sayuran.



Gambar 2. Skema Alat Digester Biogas

Keterangan:

1. Galon fermentasi (wadah kedap udara untuk fermentasi anaerob)
2. Substrat (kubis hijau, kangkung, dan sawi hijau) yang difermentasi oleh mikroba
3. Selang penghubung (mengalirkan gas CO₂ keluar dari galon)
4. Kantong gas (menampung CO₂ dan mencegah tekanan berlebih)
5. Tutup galon (tempat keluarnya selang untuk mengalirkan gas CO₂)

Untuk menguji uji nyala biogas yang dihasilkan, sambungkan pipa gas dari digester ke pembakar bunsen (alat pembakar). Setelah terhubung, nyalakan gas menggunakan korek api atau pemantik, lalu lakukan pengamatan terhadap karakteristik nyala api yang meliputi warna, tingkat kecerahan, dan kestabilannya pada setiap sampel. Bandingkan warna api yang dihasilkan dari masing-masing sampel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian mengenai uji nyala biogas yang dihasilkan dari variasi komposisi sampah organik sayuran basah. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh variasi jenis dan komposisi sayuran terhadap kualitas biogas, khususnya melalui pengamatan karakteristik nyala api sebagai indikator kandungan gas metana.

Sampah organik sayuran basah seperti kubis, kangkung, dan sawi dipilih karena merupakan limbah rumah tangga dan pasar yang melimpah, mudah terurai, serta memiliki kandungan organik yang tinggi. Penggunaan limbah ini diharapkan tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga menjadi solusi alternatif dalam menghasilkan energi terbarukan. Pembahasan dalam bab ini mencakup pengaruh variasi komposisi bahan terhadap proses fermentasi, volume, dan karakteristik gas yang dihasilkan, serta hasil uji nyala yang diamati.

Tabel berikut menyajikan data mengenai jenis sampel sayuran, lama fermentasi, suhu ruangan selama proses fermentasi, serta volume substrat awal yang digunakan dalam proses produksi biogas. Data ini menjadi dasar dalam mengevaluasi pengaruh variasi jenis sampah organik sayuran terhadap hasil fermentasi dan karakteristik biogas yang dihasilkan.

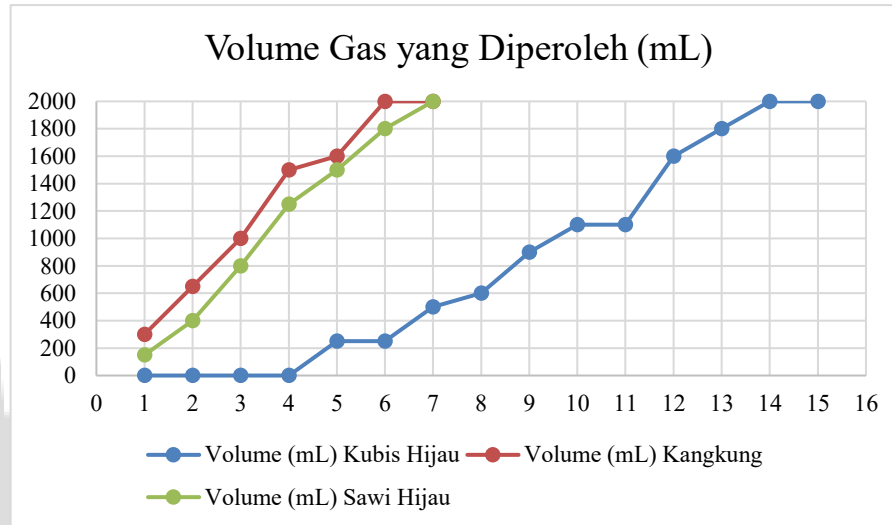
Tabel 2. Data Hasil Penelitian Fermentasi Biogas.

No.	Sampel Sayuran	Lama Fermentasi (hari)	Suhu (°C)	Volume Substrat Awal
1	Kubis Hijau	15	27–30	±2 kg sayur + 2 L aquades + 100 mL EM4
2	Kangkung	7	27–30	±2 kg sayur + 2 L aquades + 100 mL EM4
3	Sawi Hijau	7	27–30	±2 kg sayur + 2 L aquades + 100 mL EM4

Rentang suhu 27–30°C yang tercatat selama proses fermentasi berada dalam kategori suhu mesofilik, yaitu suhu optimal bagi mikroorganisme anaerob, khususnya bakteri metanogen, untuk berkembang dan memproduksi gas metana secara maksimal. Menurut (Ode, Barata dan Delly, 2024) bahan baku biogas difermentasi dalam kondisi lingkungan standar yang mendekati karakteristik mesofilik, yaitu dengan suhu rata-rata sekitar 29°C dan kelembaban udara sekitar 78%. Kondisi mesofilik ini merupakan lingkungan yang paling optimal untuk pertumbuhan bakteri penghasil biogas.

Perbedaan volume biogas yang dihasilkan oleh masing-masing jenis sayuran dipengaruhi oleh kandungan nutrisi serta struktur fisik dari substrat organik yang digunakan. Dalam proses fermentasi anaerob, bahan organik akan mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme

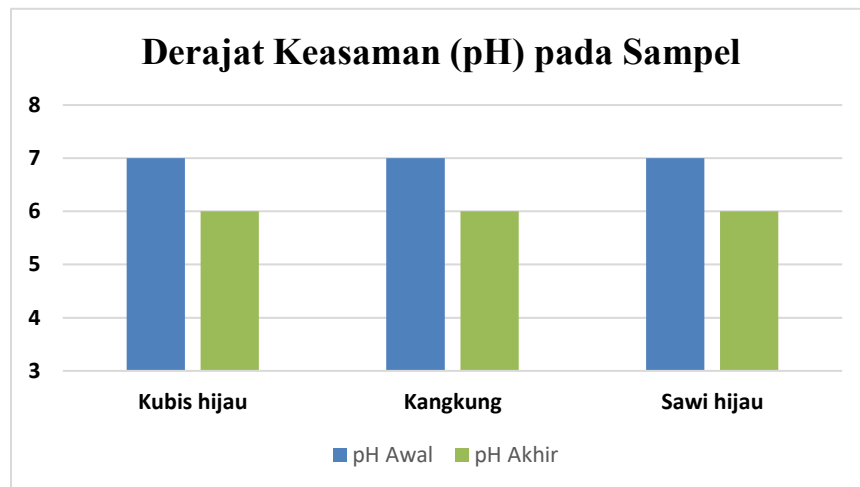
menjadi senyawa-senyawa sederhana, seperti asam-asam organik dan alkohol, yang kemudian dikonversi menjadi gas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂). Efisiensi dan kecepatan proses ini sangat ditentukan oleh seberapa mudah substrat dapat diuraikan, serta seberapa optimal kondisi lingkungan mendukung aktivitas mikroba anaerob.



Gambar 3. Volume Gas yang Diperoleh dari *Urine Bag*.

Berdasarkan Gambar 3 volume gas biogas yang dihasilkan dari tiga jenis substrat, yaitu kubis hijau, kangkung, dan sawi hijau, menunjukkan pola produksi yang berbeda selama 15 hari fermentasi. Substrat kangkung dan sawi hijau menghasilkan volume gas yang relatif tinggi sejak awal fermentasi, dengan peningkatan signifikan mulai hari ke-1 hingga hari ke-7 dan mencapai puncak produksi mendekati kapasitas maksimal kantong urine bag 2000 mL. Sebaliknya, substrat kubis hijau menunjukkan produksi gas yang rendah pada minggu pertama dan baru mengalami peningkatan signifikan setelah hari ke-7, hingga akhirnya mendekati 2000 mL pada hari ke-15. Produksi gas yang lebih lambat ini menunjukkan bahwa kubis memerlukan waktu adaptasi dan degradasi lebih lama. Penggunaan kantong *urine bag* berkapasitas 2000 mL terbukti efektif dalam mengukur akumulasi volume gas selama proses fermentasi berlangsung. Menurut (Umam, 2019) sampah sayur memiliki karakteristik yang mudah membusuk, bersifat lembap, dan mengandung sedikit air.

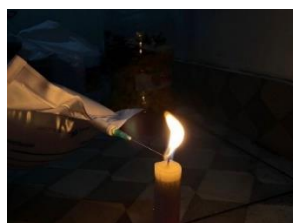
Tingkat keasaman (pH) adalah salah satu parameter yang krusial dalam proses produksi biogas, karena sangat memengaruhi aktivitas mikroorganisme selama fermentasi anaerob. Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran nilai pH awal dan pH akhir dari masing-masing jenis substrat sayuran basah, yaitu kubis hijau, kangkung, dan sawi hijau, untuk memantau dinamika keasaman selama proses fermentasi berlangsung. Setiap sampel difermentasi dalam galon volume 5 liter, dengan komposisi bahan yang relatif sama: ±2 kg sampel sayuran, 2 liter aquades, dan 100 mL larutan EM4 sebagai inokulan mikroorganisme.



Gambar 4. Hubungan antara sampel dengan Derajat Keasaman (pH).

Berdasarkan hasil pengamatan yang disajikan pada Gambar 4, terlihat bahwa semua sampel mengalami penurunan pH dari kondisi awal ke akhir fermentasi. Nilai pH awal untuk semua sampel berkisar antara 7,1 hingga 7,3, sedangkan pH akhir menurun ke kisaran 6,2 hingga 6,4. Penurunan ini mencerminkan aktivitas mikroorganisme fermentatif yang menghasilkan asam-asam organik seperti asam asetat, butirat, dan propionat selama tahap awal proses fermentasi. Meskipun terdapat penurunan, nilai pH akhir seluruh sampel tetap berada dalam kisaran yang aman dan mendukung untuk pertumbuhan bakteri metanogen, yang artinya proses fermentasi berjalan dengan stabil. Hal ini diperkuat dengan penelitian (Styana, Widodo dan Cahyono, 2022) yang menunjukkan bahwa pH netral dapat mendukung pertumbuhan bakteri metana (metanogen), sehingga pada tingkat pH ini, bakteri pengurai asam asetat dapat tumbuh dan berkembang dengan baik, yang pada gilirannya akan mempengaruhi jumlah gas yang dihasilkan.

Uji nyala api dilakukan untuk memastikan bahwa gas yang dihasilkan dari proses fermentasi merupakan gas yang dapat terbakar, yang menandakan adanya kandungan metana. Hasil uji ini memberikan indikasi terhadap kualitas biogas yang dihasilkan. Gambar berikut menunjukkan hasil dari uji nyala api yang telah dilakukan:



Gambar 5. Hasil Uji Nyala Api pada Kubis Hijau.



Gambar 6. Hasil Uji Nyala Api pada Kangkung.



Gambar 7. Hasil Uji Nyala Api pada Sawi Hijau.

Uji nyala api dilakukan sebagai langkah verifikasi untuk mengetahui sejauh mana gas hasil fermentasi memiliki sifat mudah terbakar, yang menjadi indikator utama keberadaan gas metana dalam biogas. Metana merupakan komponen utama dalam biogas yang memberikan nilai kalor, sehingga keberadaannya dapat dikenali melalui karakteristik nyala api yang dihasilkan. Warna, kestabilan, dan intensitas nyala api memberikan gambaran mengenai tingkat kemurnian gas yang dihasilkan dari proses fermentasi masing-masing substrat sayuran. Warna nyala api biru dapat diidentifikasi sebagai indikasi kandungan gas metana yang tinggi, yang menunjukkan bahwa proses fermentasi berlangsung secara optimal. Warna biru pada nyala api menandakan pembakaran yang sempurna, sehingga biogas tersebut memiliki kualitas energi yang baik (Praptiwi dan Mirwan, 2021). Oleh karena itu, pengamatan terhadap nyala api menjadi metode sederhana namun informatif dalam menilai kualitas biogas yang terbentuk.

Dari ketiga jenis substrat yang digunakan, sawi hijau menghasilkan biogas dengan kualitas terbaik, ditunjukkan dari warna api yang biru dan pembakaran yang stabil. Kangkung menghasilkan kualitas menengah, dengan nyala yang cukup baik namun belum seoptimal sawi. Kubis hijau menghasilkan kualitas biogas terendah, yang ditunjukkan dari nyala api kekuningan dan redup, akibat proses fermentasi yang belum sempurna serta adanya senyawa penghambat. Perbedaan hasil uji nyala biogas terutama disebabkan oleh variasi sifat fisik bahan isian, yang dipengaruhi oleh tingkat kelembaban dan keasaman (pH) masing-masing bahan campuran. Kedua faktor ini memengaruhi proses fermentasi dan kualitas gas yang dihasilkan (Styana, Widodo dan Cahyono, 2022).

Hasil ini memperkuat pentingnya pemilihan jenis bahan organik dalam fermentasi biogas, karena komposisi kimia dan struktur fisik substrat sangat memengaruhi efektivitas produksi metana.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi jenis sampah sayuran basah berpengaruh signifikan terhadap kualitas biogas yang dihasilkan.
2. Sawi hijau menghasilkan biogas terbaik dengan nyala api biru terang dan stabil dalam waktu fermentasi 7 hari.
3. Kangkung memberikan hasil sedang dengan nyala cukup baik, namun tidak seoptimal sawi hijau.
4. Kubis hijau memerlukan fermentasi 15 hari dan menghasilkan nyala kekuningan, menandakan kualitas biogas rendah.
5. Seluruh sampel mengalami penurunan pH dari 7,1–7,3 menjadi 6,2–6,4, namun masih dalam rentang optimal bagi mikroorganisme.
6. Sawi hijau dinilai sebagai substrat paling efektif untuk produksi biogas berkualitas karena mudah terurai dan cepat berfermentasi.
7. Hasil penelitian menunjukkan potensi penerapan biogas dari limbah sayuran sebagai energi terbarukan skala rumah tangga

DAFTAR PUSTAKA

- Caturwati, N. K., Pinem, M. P., & Angga, A. (2015). Studi Awal Pengolahan Sampah kota Sebagai Energi Baru Terbarukan Dengan Anaerobic Biodigester. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 11(1), 1-10.
- Hewitt, J., Holden, M., Robinson, B. L., Jewitt, S., & Clifford, M. J. (2022). Not quite cooking on gas: Understanding biogas plant failure and abandonment in Northern Tanzania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165, 112600.
- Anggorowati, D. A. (2022). Karakteristik Produk Biogas Dari Berbagai Jenis Limbah Sayur Sawi. *jurnal ATMOSPHERE*, 3(2), 30-36.
- Badriyah, B., & Sudarti, S. (2023). Penggunaan Energi Alternatif Sampah Organik Sebagai Biogas Untuk Mengurangi Penggunaan Gas Elpiji. *Journal of Health, Education, Economics, Science, and Technology (J-HEST)*, 6(1), 79-84.
- Irawan, D., & Khudori, A. (2015). Pengaruh suhu anaerobik terhadap hasil biogas menggunakan bahan baku limbah kolam ikan gurame. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 4(1).
- Styana, U. I. F., Widodo, G. N., & Cahyono, M. S. (2022). Potensi Campuran Kotoran Sapi dan Limbah Cair Rumah Pemotongan Ayam Sebagai Sumber Energi Penghasil Biogas. *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, 6(1), 29-38.
- Praptiwi, R. D., & Mirwan, M. (2021). Pemanfaatan Sampah Organik Pasar Tradisional Dengan Penambahan Kotoran Sapi Dan Kotoran Ayam Sebagai Bahan Energi Alternatif Biogas. *EnviroUS*, 1(2), 26-31.
- Delly, J. (2024). Studi Karakteristik Biogas dari Kotoran Sapi dengan Penambahan Jerami. *Piston: Jurnal Teknologi*, 9(2), 65-71.