

Produksi Biogas *Co-digestion* dari Kotoran Sapi, Limbah Buah Sayuran, dan Serasah Daun di Universitas Padjadjaran

Biogas Co-Digestion Production from Cow Manure, Fruit Vegetable Waste, and Leaf Litter at Universitas Padjadjaran

Efri Mardawati^{1,2,*),} Muhammad Zaim Al Faruqy¹, dan Muhammad Fatah Wiyatna³

¹ Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jl. Ir. Soekarno km. 21 Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat 45363, Indonesia.

² Research Collaboration Center for Biomass and Biorefinery between BRIN and Universitas Padjadjaran, Jl. Ir. Soekarno km. 21 Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat 45363, Indonesia.

³ Departemen Produksi Ternak, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jl. Ir. Soekarno km. 21 Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat 45363, Indonesia.

^{*)} Alamat E-mail Korespondensi: efri.mardawati@unpad.ac.id

Informasi Artikel

Diterima: 02-02-2024

Disetujui: 02-08-2024

Terbit : 14-08-2024

Kata Kunci:

Biogas; Pencernaan bersama; Energi; Limbah Organik;

Abstrak. Biogas merupakan solusi dari permasalahan krisis energi dan limbah organik saat ini. Beberapa limbah organik potensial untuk dikonversi menjadi energi dalam bentuk biogas yaitu kotoran sapi, limbah buah sayuran, serasah daun, molases, dan bioslurry. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil produksi biogas anaerobic co-digestion dari kotoran sapi, limbah buah sayuran, yang diperoleh dari limbah di Universitas Padjadjaran serta karakteristiknya. Metode yang digunakan yaitu pengolahan data deskriptif dengan mencampurkan seluruh bahan ke dalam biodigester (anaerobic co-digestion) dengan rasio C/N 26. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi biogas selalu ada penambahan biogas setiap hari dengan volume biogas akhir total yaitu 6.261 ml dan rata-rata produksi biogas harian yaitu 209 ml. Lalu volume produksi biogas tertinggi terdapat pada 10 hari ke-1 yaitu 2.929 ml dan terendah di 10 hari ke-3 yaitu 1.493 ml. Sedangkan pada 10 hari ke-2 yaitu 1.839 ml. Kemudian dari segi suhu, suhu lingkungan tidak terlalu berpengaruh pada produksi biogas dan perbedaan antara suhu pagi-siang dengan siang-pagi sedikit berpengaruh pada produksi biogas. Untuk komposisi biogas kandungan metana yang didapat yaitu 79% lel. Terakhir untuk nyala api, biogas sudah menghasilkan api yang ideal sejak hari ke-7 baik dari segi positif nyala api maupun lama nyala api. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya yaitu melakukan pengujian karakteristik substrat dan inokulum, melakukan pengujian komposisi berkala dari awal penelitian dan menggunakan alat *gas chromatography* dan memproduksi biogas secara mono-digestion pada substrat kotoran sapi, limbah buah sayuran, dan serasah daun serta inokulum molases dan bioslurry agar bisa dibandingkan dengan produksi biogas secara co-digestion.

Keywords:

Biogas; Co-digestion; Energy; Organic waste

Abstract. Biogas is a solution to the current problems of the energy crisis and organic waste. Some organic waste has the potential to be converted into energy in the form of biogas, namely cow dung, fruit vegetable waste, leaf litter, molasses and bioslurry. The aim of this research is to determine the results of anaerobic co-digestion biogas production from cow dung, fruit vegetable waste, obtained from waste at Padjadjaran University and its characteristics. The method used is descriptive data processing by mixing all the ingredients into a biodigester (anaerobic co-digestion) with a C/N ratio of 26). The research results show that biogas production always includes additional biogas every day with a total final biogas volume of 6,261 ml and average daily biogas production of 209 ml. Then the highest volume of biogas production was in the 1st 10 days, namely 2,929 ml and the lowest was in the 3rd 10 days, namely 1,493 ml. Meanwhile on the second 10 days it was 1,839 ml. Then in terms of temperature, environmental temperature does not have much influence on biogas production and the difference between morning and afternoon temperatures has little effect on biogas production. For the biogas composition, the methane content obtained was 79% lel. Finally, for the flame, biogas has produced an ideal flame since the 7th day, both in terms of positive flame and flame duration.

Recommendations for further research are to test the characteristics of the substrate and inoculum, carry out periodic composition tests from the start of the research and use a gas chromatography tool and produce biogas by mono-digestion on a substrate of cow dung, fruit vegetable waste and leaf litter as well as molasses and bioslurry inoculum so that it can compared to biogas production by co-digestion.

PENDAHULUAN

Kondisi energi sebagai penggerak utama kehidupan manusia sudah sampai pada tahap krisis di era modern hari ini. Kebutuhan energi tersebut akan terus meningkat jauh lebih besar lagi di masa yang akan mendatang. Menurut *International Energy Agency* (IEA) tentang pasokan energi total dunia berdasarkan sumbernya, sebanyak 87,9% sumber energi berasal dari energi tidak terbarukan atau bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, gas bumi, dan nuklir [1]. Apabila bahan bakar fosil tersebut terus mendominasi, tidak dibatasi dan tidak diutamakan bahan bakar dengan sumber energi terbarukan, maka suatu saat akan habis dan dunia mengalami kepunahan bahan bakar selagi permintaan energi dunia terus meningkat.

Sumber energi terbarukan yang dapat menggantikan bahan bakar fosil yaitu dari biomassa. Biomassa merupakan bahan atau senyawa organik yang berasal dari pertanian, limbah – limbah, mikroba, hewan, dan lain-lain. Jika potensi energi dari biomassa ini disambut dengan baik maka kita tidak perlu lagi menggunakan sumber energi dari energi fosil yang tidak terbarukan sehingga tidak habis begitu saja.

Teknologi yang sudah semakin berkembang saat ini sudah memungkinkan adanya solusi atas permasalahan tersebut dengan mengkonversikan biomassa menjadi bioenergi. Salah satu teknologinya yaitu teknologi *anaerobic digestion* (*AD*) yang menghasilkan biogas untuk digunakan sebagai pembuat energi, seperti listrik, panas, dan bahan bakar dengan tambahan manfaat ekonomi, lingkungan, dan iklim. Proses produksi secara *co-digestion* atau penggunaan substrat lebih dari satu jenis pada *AD* dapat meningkatkan hasil produksi, mengefisiensikan energi, dan meningkatkan keuntungan ekonomi dibandingkan produksi secara *mono-digestion*.

Bahan atau substrat untuk produksi biogas bisa berasal dari berbagai macam biomassa bahkan dari limbah. Limbah-limbah yang cocok menjadi substrat untuk produksi biogas salah tiganya adalah kotoran sapi, limbah buah sayuran, dan serasah

daun ini. Limbah-limbah ini merupakan substrat yang sering kita jumpai di sekitar kita dan kerap kali menjadi permasalahan untuk lingkungan kesehatan, dan ekonomi. Ketiga substrat ini cocok untuk dikombinasikan karena memiliki memiliki komponen biomassa aktif yang semakin kaya untuk menghasilkan biogas atau metana yang tinggi dibandingkan dengan produksi biogas yang biasanya hanya berasal dari kotoran sapi. Ketiga substrat ini nantinya akan disesuaikan berdasarkan rasio C/N dan massa tiap bahannya.

Sedangkan inokulum sebagai starter pada biogas berasal dari molase. Molase merupakan limbah hasil samping industri gula yang memiliki potensi meningkatkan hasil produksi biogas karena memiliki kandungan yang sangat baik untuk menjadi inokulum. Di samping itu, molase juga memiliki harga yang murah, berlimpah dan masih sedikit sekali dimanfaatkan menjadi produk yang memiliki nilai tambah. Kemudian bioslurry yang merupakan produk limbah akhir dari biogas biasanya sangat bermanfaat untuk digunakan sebagai sumber makanan tumbuhan sebagai pupuk. Akan tetapi, apabila digunakan kembali pada biodigester maka akan mempercepat juga pembentukan biogas karena bioslurry masih mengandung banyak sekali bakteri metanogen akan mempercepat juga pembentukan biogas.

Berbagai macam penelitian tentang produksi biogas telah banyak dilakukan guna mendapatkan hasil biogas yang terbaik. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al (2013) membuktikan bahwa produksi biogas co-digestion (544,3 mL/g-VS) dengan berbagai variasi massa kotoran sapi rata2 meningkat 308% gas yang dihasilkan dibandingkan dengan produksi biogas mono-digestion (176,5 mL/g-VS)[2].

Oleh karena itu, perlu adanya percobaan penelitian pembuatan biogas dari kotoran hewan, limbah buah sayuran dan serasah daun secara dengan teknologi *anaerobic co-digestion* dengan harapan biogas yang dihasilkan ini dapat memecahkan permasalahan krisis energi serta permasalahan lingkungan. Tujuan dari penelitian

ini adalah mengetahui hasil produksi biogas *anaerobic co-digestion* dari kotoran sapi, limbah buah sayuran, dan serasah daun yang diperoleh dari limbah di Universitas Padjadjaran serta karakteristiknya

METODE

Bahan Penelitian

Kotoran sapi yang berasal dari Tanjung Sari, limbah buah sayuran yang didapat dari rumah makan warung Ceu Ipa, Serasah daun dari sekitar Fakultas Teknologi Industri Pertanian Unpad, molases dan *bioslurry* dari rumah edukasi Biomethagreen.

Pengamatan Karakteristik Substrat dan Inokulum

Pengamatan karakteristik substrat dilakukan dengan metode *literature review* pada referensi-referensi seperti buku dan jurnal tentang biogas dan penelitian terdahulu. Data yang didapat dari literature review ini akan digunakan untuk mengetahui karakter awal dari tiap substrat sebelum difermentasi secara biologi dalam reaktor batch anaerob dan mengidentifikasi sifat substrat yang baik untuk penelitian selanjutnya karena substrat belum mendapat perlakuan.

Persiapan Pembuatan Biogas

Pembuatan biogas dilakukan sistem *batch* dan *co-digestion* atau gabungan beberapa substrat dengan biodigester yang memiliki volume yaitu 1000 liter yang terbagi menjadi 30% volume kerja (300 liter) dan 70% volume udara (700 liter) yang sudah disesuaikan dengan desain biodigester dengan waktu selama 30 hari pada suhu lingkungan. Sebelum substrat dari kotoran sapi, limbah buah sayuran, dan serasah daun serta inokulum dari molase dan *bioslurry* dicampur, limbah buah sayuran dan serasah daun dicacah dengan mesin pencacah untuk mendapatkan limbah/sampah dengan ukuran lebih halus

Penentuan C/N rasio dan perbandingan massa antar substrat

Persentase perbandingan massa antar substrat ditentukan dengan perhitungan dari C/N ratio tiap

substrat berdasarkan C/N ratio gabungan yang optimal pada biogas. Formulasi persentase perbandingan massa untuk menghitung nilai C/N ratio adalah :

$$\frac{C}{N_{total}} = \frac{\%C \times Bobot_{KS} + \%C \times Bobot_{LBS} + \%C \times Bobot_{SD}}{\%N \times Bobot_{KS} + \%N \times Bobot_{LBS} + \%N \times Bobot_{SD}}$$

[3]

Pada penelitian ini nilai C/N awal ditetapkan sebesar 25 [4], maka perhitungan rumus dihitung sebagai berikut :

Diketahui :

- C/N rasio kotoran sapi (A) = 25 [5]
- C/N rasio limbah buah sayuran (B) = 15,6 [6]
- C/N rasio serasah daun (C) = 50 [7]
- C/N total yang diinginkan = 25

Untuk mencapai C/N rasio 25, maka dilakukan kustomisasi massa antar substrat dengan :

- Massa kotoran sapi : 40%
- Massa limbah buah sayuran : 40%
- Massa serasah daun : 20%

Jika dimasukkan kedalam rumus maka :

$$\frac{C}{N_{total}} = \frac{25 \times 0,4 + 15,6 \times 0,4 + 50 \times 0,2}{1 \times 0,4 + 1 \times 0,4 + 1 \times 0,2}$$

$$\frac{C}{N_{total}} = \frac{10 + 6 + 10}{1}$$

$$\frac{C}{N_{total}} = 2$$

Dengan perbandingan kustomisasi kotoran sapi : limbah buah sayuran : serasah daun yaitu 4 : 4 : 2 didapat C/N ratio total yaitu 26. Meskipun C/N ratio total yang diinginkan awalnya adalah 25, akan tetapi jika memang C/N ratio total yang didapat adalah 26 maka masih dapat ditolerir. Sehingga dapat diasumsikan produksi biogas pada penelitian ini sesuai dengan tujuan.

Penentuan massa tiap substrat berdasarkan C/N ratio total yang didapat sebelumnya dihitung dengan perhitungan sebagai berikut :

Persentase substrat x total substrat = massa substrat

- Kotoran sapi = 40% x 150 = 60 kg
- Limbah buah sayuran = 40% x 150 = 60 kg
- Serasah daun = 20% x 150 = 30 kg
- Total massa = 60 kg + 60 kg + 30 kg = 150 kg

Selain air dan substrat, massa yang digunakan untuk starter berupa molases pada penelitian ini yaitu 2 liter dan *bioslurry* cair sebanyak 19 liter yang termasuk dari 150 liter dari air keseluruhan. Kedua starter ditambahkan pada produksi biogas

berdasarkan kustomisasi guna memaksimalkan hasil produksi biogas yang didapat.

Pengamatan Karakteristik Biogas yang dihasilkan

Pengamatan karakteristik biogas yang dihasilkan berupa volume, suhu, komposisi, dan nyala api. Pengukuran volume gas yang dihasilkan dilakukan dengan alat meteran gas. Pengukuran volume dilakukan setiap hari selama 30 hari pada waktu pagi jam 8 pagi dan jam 1 siang untuk mengetahui perbedaan jumlah volume yang dihasilkan dari pagi hingga siang dan jumlah volume yang dihasilkan dari siang hingga pagi dimana ada perbedaan suhu antara yang lebih tinggi dibandingkan dengan malam. Kemudian, pengukuran suhu substrat di dalam biodigester dilakukan dengan alat termometer kabel digital. Pengukuran suhu dilakukan setiap hari selama 30 hari pada pagi setiap jam 8 dan siang setiap jam 1 siang. Tujuannya untuk mengetahui apakah ada pengaruh suhu di dalam biodigester yang berdasarkan suhu lingkungan dengan volume yang dihasilkan.

Selanjutnya pengukuran komposisi gas dilakukan dengan menggunakan alat gas detektor. Pengukuran dilakukan pada hari ke-30 dengan tujuan mengetahui pengaruh komposisi biogas pada nyala api yang dihasilkan. Pengujian nyala api terbagi menjadi dua bagian yaitu uji positif nyala api yang ditandai dengan nyala semakin besar dan tidak padam selama mungkin dan uji lama nyala api dengan melihat ketahanan api selama 1 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Substrat dan Inokulum

Karakterisasi substrat dan inokulum yang dilakukan sebelum penelitian ini dengan metode *literature review* berupa beberapa sifat fisik, kimia, dan biologi dari limbah seperti TS, VS, BOD, dan COD. Berdasarkan data pada tabel 1 diketahui bahwa inokulum dari molase memiliki nilai BOD dan COD lebih besar dibandingkan dengan substrat kotoran sapi, limbah buah sayuran, dan serasah daun. Ini menandakan bahwa molase menjadi bahan tambahan beban organik pada pembuatan biogas. Begitu juga dengan serasah daun yang memiliki nilai TS dan VS yang lebih besar dibandingkan dengan substrat kotoran sapi, limbah buah sayuran dan inokulum molase. Sehingga serasah daun juga memiliki pengaruh tambahan beban organik pada pembuatan biogas. Sedangkan untuk bioslurry dikarenakan kebanyakan referensi masih

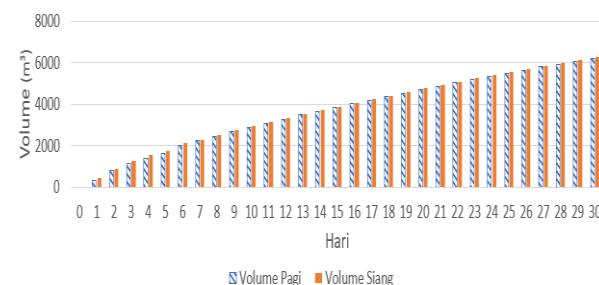
memanfaatkannya sebagai pupuk bukan biogas, maka peran bioslurry yaitu sebagai pemercepat pengkondisionan bahan-bahan di dalam biodigester agar semakin cepat pembentukan biogas.

Tabel 1. Karakteristik kotoran sapi, limbah buah sayuran, serasah daun, dan molase

Karakteristik	Substrat	Kotoran Sapi	Limbah Buah Sayuran	Serasah Daun	Molase
TS	20%	7,4%	90%	60-70%	
	[5]	[6]	[8]	[9]	
VS	16%	6,5%	± 75 wt	52,11 wt	
	[5]	[6]	% [10]	% [11]	
BOD	7,12 g/l	13,49	22-26	46.100-	
	[12]	g/l [12]	mg/l	96.000	
COD	41,76	60,44	173-	104.000-	
	g/l [12]	g/l [12]	189	134.400	
			mg/l	mg/l [14]	
			[13]	[13]	

Karakteristik Biogas yang Dihasilkan

Biogas terbentuk karena adanya proses perombakan material organik kompleks yang tersedia pada suatu bahan oleh aktivitas bakteri pada kondisi tanpa adanya oksigen. Volume produksi biogas yang dihasilkan dengan waktu fermentasi selama 30 hari dapat terlihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

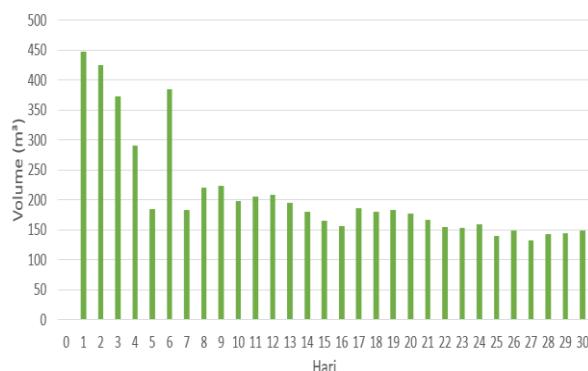


Gambar. 1 Grafik jumlah produksi kumulatif biogas selama 30 hari.

Pada hasil produksi biogas selama 30 hari, berdasarkan grafik dapat terlihat bahwa biogas yang dihasilkan selalu meningkat setiap harinya baik di pagi hari maupun siang hari dengan volume biogas akhir total yaitu 6.261 ml dan rata-rata produksi biogas harian yaitu 209 ml. Sedangkan pada hasil produksi biogas harian, berdasarkan grafik (Gambar 5) dapat terlihat bahwa jumlah gas yang dihasilkan fluktuatif atau naik-turun.

Hasil pengujian volume biogas pada hari ke-1 sampai hari ke-4 menunjukkan volume yang sangat tinggi dari biodigester. Hal tersebut terjadi karena

pada retensi hari tersebut adalah proses hidrolisis dan juga proses pengasaman. Pada hari ke 5, biogas yang dihasilkan sudah mulai menurun dan berfluktuasi pada hari selanjutnya hingga hari ke-30. Akan tetapi jika diukur dengan dibagi menjadi fase 10 harian, maka volume dan rata-rata produksi biogas sudah menurun dari fase 10 hari ke-2 hingga fase 10 hari ke-3.



Gambar 2. Grafik jumlah produksi biogas harian selama 30 hari.

Berdasarkan data rata-rata produksi biogas per 10 hari yang diperoleh, diketahui bahwa rata-rata tertinggi ada pada 10 hari ke-1 dengan jumlah rata-rata 293 ml. Sedangkan rata-rata terendah ada pada 10 hari ke-3 dengan jumlah rata-rata 149 ml. Kemudian berdasarkan volume produksi biogas per 10 hari yang diperoleh, diketahui bahwa jumlah tertinggi ada pada 10 hari ke-1 dengan jumlah volume 2.929 ml. Sedangkan jumlah terendah ada pada 10 hari ke-3 dengan jumlah volume 1.493 ml.

Tabel 2. Volume produksi biogas per 10 hari

Waktu	Volume produksi biogas (ml)
10 hari ke-1	2.929
10 hari ke-2	1.839
10 hari ke-3	1.493

Banyak atau sedikitnya biogas yang terbentuk ditentukan oleh populasi bakteri yang ada di dalam biodigester. Ketika perlakuan yang diberikan sudah tepat dan menciptakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan populasi bakteri maka akan meningkat. Perlakuan tersebut mencakup ketersediaan nutrisi, pH dan suhu. Maka dengan populasi bakteri yang tinggi, proses perombakan material organik akan semakin tinggi pula. Apabila perombakan material tinggi, maka akan diikuti dengan produksi biogas yang tinggi. Jumlah bakteri

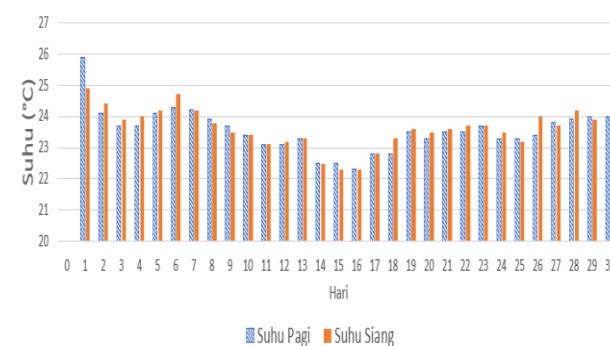
(khususnya bakteri metanogen) pada media lebih banyak maka jumlah biogas yang dihasilkan lebih besar dengan dukungan nutrisi yang tepat [15]. Kotoran hewan merupakan sumber mikroorganisme, karena mengandung substrat yang digunakan mikroorganisme untuk produksi methan. Bakteri dalam kotoran sapi berasal dari bakteri yang hidup dalam usus disebut juga golongan Enterobacter [16].

Tabel 3. Rata-rata produksi biogas per 10 hari

Waktu	Rata-rata produksi biogas (ml)
10 hari ke-1	293
10 hari ke-2	184
10 hari ke-3	149

Pada hari ke 30 gas bio masih tetap berproduksi. Hal ini dimungkinkan karena proses pembangkitan biogas masih memiliki substrat yang tersedia. Hasilnya, fermentasi terus berlanjut. Kemudian, banyak sedikitnya jumlah biogas yang dihasilkan tidak dapat menentukan nyala tidaknya biogas yang dihasilkan. Yang nantinya akan dibahas di sub bab nyala api

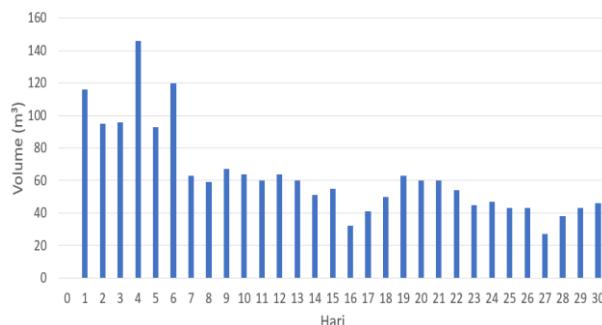
Suhu juga dapat mempengaruhi jumlah produksi biogas. Pada penelitian ini kondisi suhu produksi biogas mengikuti suhu lingkungan di luar biodigester. Faktor lingkungan ini mempengaruhi aktivitas metabolisme bakteri yang bekerja di dalam digester. Bakteri hanya dapat melakukan metabolisme secara maksimal saat berada pada suhu lingkungan yang optimum untuk pertumbuhannya.



Gambar 3. Grafik pengukuran suhu biodigester pagi dan siang selama 30 hari

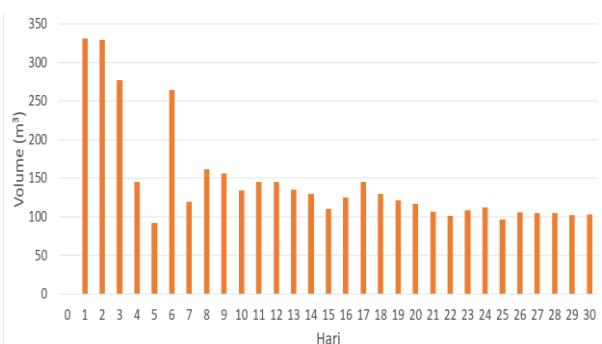
Suhu lingkungan dapat dibedakan menjadi dua waktu yaitu waktu pertama dari pagi hari hingga siang hari dimana diasumsikan suhu pada waktu tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan waktu

kedua dari siang hari hingga pagi hari dimana diasumsikan suhu pada waktu tersebut lebih rendah.



Gambar 4. Data hasil pengukuran suhu biodigester pagi – siang.

Berdasarkan data yang diperoleh, suhu rata-rata produksi selama 30 hari adalah 23,6°C. Pengujian dilakukan pada pagi hari pukul 08.00 dengan rentang suhu 22,3°C-25,9°C dan pada siang hari pukul 13.00 dengan rentang suhu 22,3°C-24,9°C. Secara rinci, pada pagi hari diperoleh suhu rata-rata produksi adalah 23,6°C dan pada siang hari diperoleh suhu rata-rata produksi adalah 23,6°C pula. Suhu rata-rata tertinggi yaitu pada 10 hari ke-1 pada pagi hari dan begitu pula untuk siang hari suhu rata-rata tertinggi yaitu pada 10 hari ke-1. Sedangkan suhu rata-rata terendah yaitu pada 10 hari ke-2 pada pagi hari dan begitu pula untuk siang hari suhu rata-rata terendah yaitu pada 10 hari ke-2. Hasil suhu ruang yang diperoleh termasuk dalam kategori suhu mesofilik.



Gambar 1. Data hasil pengukuran suhu biodigester.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, maka rata-rata suhu yang didapatkan masih kecil untuk proses fermentasi/aktivitas mikroorganisme dalam membentuk biogas. Hasil penelitian ini didapati bahwa kondisi temperatur lingkungan pada penelitian ini kurang optimal karena temperatur optimal berkisar antara 32 - 35°C, sehingga proses degradasi dan pembentukan asam organik dan pembentukan metan kurang maksimal.

Berdasarkan suhu yang diukur selama proses digesti anaerob, dapat disimpulkan bahwa jenis bakteri metanogen yang berada di dalam digester adalah mesofil. Bakteri kelompok ini mampu hidup dalam rentang suhu 8-48°C, namun memiliki suhu optimum 35-39°C [17]. Pada pengujian yang dilakukan pada rentang tersebut biogas masih dapat diproduksi. Massa bahan yang sama akan dicerna dengan jumlah yang relatif sama, hanya berbeda pada lama waktu pengukuran suhu. Pengukuran jumlah produksi biogas dari pagi hari hingga siang hari berlangsung selama 5 jam dan pengukuran jumlah produksi biogas dari siang hari hingga pagi hari berikutnya berlangsung selama 19 jam.

Tabel 4. Waktu dan Suhu Rata-Rata Produksi Selama 30 Hari

Waktu	Rata-rata suhu pagi (°C)	Rata-rata suhu siang (°C)
10 hari ke-1	24.1 ± 0,69	24.1 ± 0,48
10 hari ke-2	22.9 ± 0,40	23.0 ± 0,48
10 hari ke-3	23.6 ± 0,28	23.8 ± 0,31
30 hari	23.6 ± 0,68	23.6 ± 0,63
30 hari pagi & siang	23.6	

Pada pengujian tersebut nilai temperatur tidak merepresentasikan maksimalnya kandungan biogas yang dihasilkan, dikarenakan biogas sudah berkembang sejak hari pertama pengujian, akan tetapi temperatur digester yang berubah-ubah dapat mempengaruhi kondisi hidup bakteri dalam digester, karena untuk proses pengembangbiakan bakteri apabila temperatur terlalu rendah atau terlalu tinggi maka bakteri tidak akan hidup sehingga proses pembuatan biogas akan lebih lama untuk menghasilkan

Komposisi biogas dapat bervariasi tergantung proses *anaerobic digestion* yang terjadi pada suatu produksi.

Tabel 5. Data hasil pengujian komposisi biogas

Jenis gas	Nilai	Satuan*
CH ₄	79	%lel
O ₂	0,3	%vol
CO	70	Ppm
H ₂ S	Tidak terbaca	Ppm

*Keterangan satuan :

- %lel : lower explosion limit atau konsentrasi terendah gas bercampur udara yang dapat terbakar
- %vol : persen volume
- ppm : part per million

Pada penelitian ini, hasil pengujian komposisi menghasilkan biogas dengan kandungan unsur CH⁴, O₂, CO, dan H²S. Unsur gas CH⁴ merupakan gas yang terbaca lebih dominan dibandingkan dengan gas lainnya. Semakin banyak kandungan gas metana (CH⁴) yang dihasilkan maka semakin bagus kualitas biogas tersebut. Unsur gas CH⁴ ini menghasilkan gas CH⁴ dengan volume sebesar 79% dari keseluruhan unsur yang ada pada biogas.

Biogas yang dihasilkan pada penelitian ini sudah bisa menghasilkan nyala api yang baik. Hal ini mungkin dikarenakan oleh beberapa faktor. Pertama, pembuatan biogas secara co-digestion menunjukkan pengaruh yang lebih baik dibandingkan dengan mono-digestion pada yield metana yang didapatkan. Hal ini dibuktikan oleh penelitian oleh Emmanuel et al. (2020) yang menunjukkan bahwa produksi biogas dengan kotoran sapi/limbah makanan saja tidak lebih banyak *yield* metana yang didapat dibandingkan dengan produksi biogas dengan campuran kotoran sapi dan limbah makanan pada berbagai rasio [18]. Kedua yaitu waktu tinggal yang lama dengan pengenceran yang tinggi menghasilkan kandungan metana yang makin meningkat [19]. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Zhang et al., (2013) menunjukkan produksi biogas secara co-digestion dapat meningkatkan metana sebesar 41,1% [2].

Dengan demikian penelitian ini sudah optimal karena sudah mencapai kandungan metana minimal tersebut. Potensi biogas dari campuran kotoran sapi, limbah buah dan sayuran, serasah daun, dan inokulum molase masih memiliki potensi untuk dapat lebih dioptimalkan. Hal ini dapat dilakukan dengan mengoptimalkan perlakuan awal bahan untuk mencapai karakteristik rasio, kadar air, dan tingkat pH yang ideal, atau dengan memilih teknologi dari sistem biodigester. Dengan demikian komposisi gas metan yang dihasilkan pada penelitian ini lebih tinggi/rendah dibandingkan penelitian sebelumnya.

Uji nyala dilakukan untuk mengetahui biogas yang dihasilkan dalam proses fermentasi apakah mengandung gas metana atau tidak sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah dan Elpiji karena banyak atau sedikitnya biogas yang dihasilkan tidak dapat menentukan nyala tidaknya biogas untuk pembakaran.

Hasil yang diperoleh menunjukkan gas yang dihasilkan mengandung gas metana atau dapat dijadikan sebagai bahan bakar, karena ketika disulut dengan nyala api menimbulkan nyala berwarna biru. Pengujian positif nyala api dengan

menyulutkan api dengan pemantik ke kompor biogas menunjukkan bahwa pada 3 hari pertama produksi biogas masih belum menghasilkan nyala api atau negatif.

Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa proses pemecahan anaerobik melibatkan beberapa fase, yang meliputi asetogenesis, hidrolisis, asidogenesis, dan metagenesis. Proses hidrolisis dan asidogenesis masih dominan pada tahap awal perombakan, sehingga sebagian besar gas yang dihasilkan berupa CO₂, H₂, dan bahan kimia bersifat asam seperti asam asetat.

Kompor sudah bisa mengeluarkan api pada pengujian di hari ke-4 hingga hari ke-6, akan tetapi masih bersifat tentatif. Kompor akan menyala ketika api dari pemantik berada di dekat kompor, akan tetapi ketika api dari pemantik dijauhkan dari kompor maka kompor akan mati. Hal ini menunjukkan sudah ada peningkatan tahapan pembentukan biogas atau dalam kata lain sudah ada peningkatan kandungan metana dari hari sebelumnya.

Kemudian pengujian positif nyala api sudah menunjukkan hasil positif pada hari ke-7 hingga batas hari pengujian yaitu hari ke-30. Pada rentang waktu ini baru diperoleh biogas dengan hasil terbanyak dengan nyala api yang besar dan berwarna lebih biru. Pada hari ke-30 nyala api tetap besar yang artinya biogas masih terus berproduksi.

Ketika nyala api biru berarti biogas yang dihasilkan sudah baik. Pembakaran akan mengeluarkan api yang berwarna biru, karena gas yang dibakar adalah gas metan (CH⁴). Gas metana (CH₄) adalah komponen penting dan utama karena memiliki kadar kalor yang cukup tinggi, dan jika gas yang dihasilkan dari proses anaerob ini dapat terbakar, kemungkinan mengandung 45% gas metana. Biogas dengan kandungan CH⁴ yang tinggi akan memberikan nyala api biru yang besar. Api yang dikeluarkan berwarna biru ini dikarenakan kandungan gas yang dihasilkan telah homogen didalam *biodigester* dan tidak ada bau yang menyengat pada saat gas keluar dari tangki *biodigester*. Ketika biogas didominasi oleh CO₂ maka nyala api yang dihasilkan kecil. Karbon dioksida (CO₂) dalam bahan bakar bertindak sebagai penghambat nyala api biogas.

Hasil pengujian lama nyala api untuk minggu pertama masih belum bisa dilakukan karena gas masih belum menghasilkan api. Pada hari ke-7 api biogas sudah bisa menghasilkan nyala api akan tetapi hanya bertahan selama 10 detik. Pada hari ke-8 hingga hari ke-30 biogas sudah bisa menghasilkan

api yang bertahan selama 1 menit tanpa mati. Kemudian dilakukan juga pengujian lama nyala api dari kondisi gas holder penuh hingga habis dengan hasil bahwa gas holder yang penuh dapat menyalakan api pada kompor selama 75 menit tanpa jeda dan tanpa mati menggunakan api maksimal.

Lama nyala api dipengaruhi oleh jumlah massa biogas dan kandungan gas pada biogas. Semakin banyak kandungan CH₄ dan jumlah massa biogas maka lama nyala api akan semakin lama [20]. Pengujian dilakukan pada saat volume gas pada tangki *biodigester* pada kapasitas maksimum yaitu 15kg/cm². Jika disandingkan dengan hasil penelitian sejenis (Putra, Abdullah, Priyati, Setiawati, & Muttalib, 2017) yang menyatakan bahwa *biodigester* dengan kapasitas penyimpanan 0,19 m³ dapat menghasilkan nyala api 181 menit atau 3,01 jam [21], pada penilitian ini dengan menggunakan kapasitas yang sama didapat hasil nyala api selama 50 menit. Hasil ini belum maksimal, diduga karena tidak melakukan uji kebocoran dan tidak menggunakan pengaduk.

KESIMPULAN

Selalu ada penambahan biogas setiap hari dengan volume biogas akhir total yaitu 6.261 ml dan rata-rata produksi biogas harian yaitu 209 ml. Volume produksi biogas tertinggi terdapat pada 10 hari ke-1 yaitu 2.929 ml dan terendah di 10 hari ke-3 yaitu 1.493 ml. Sedangkan pada 10 hari ke-2 yaitu 1.839 ml. Suhu lingkungan tidak terlalu berpengaruh pada produksi biogas. Perbedaan antara suhu pagi-siang dengan siang-pagi sedikit berpengaruh pada produksi biogas. Komposisi biogas sudah ideal dengan kandungan metana yaitu 79% lel. Biogas sudah menghasilkan api yang ideal sejak hari ke-7 baik dari segi positif nyala api maupun lama nyala api.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEA, “World Energy Outlook 2019 エグゼクティブサマリー,” *World Energy Outlook 2019*, p. 1, 2019, [Online].
- [2] C. Zhang, G. Xiao, L. Peng, H. Su, and T. Tan, “The anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure,” *Bioresour. Technol.*, vol. 129, pp. 170–176, 2013, doi: 10.1016/j.biortech.2012.10.138.
- [3] A. Ismayana, N. S. Indrasti, A. M. Suprihatin, and A. F. TIP, “Faktor rasio C/N awal dan laju aerasi pada proses co-composting bagasse dan blotong,” *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 22, no. 3, 2012.
- [4] A. Cerón-Vivas, K. T. Cáceres, A. Rincón, and Á. A. Cajigas, “Influence of pH and the C/N ratio on the biogas production of wastewater,” *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, no. 92, pp. 70–79, 2019.
- [5] A. Wellinger, J. Murphy, and D. Baxter, *The Biogas Handbook Science, production and applications*. Woodhead Publishing Limited, 2013. doi: 10.1533/9780857097415.
- [6] J. Lin *et al.*, “Effects of mixture ratio on anaerobic co-digestion with fruit and vegetable waste and food waste of China,” *J. Environ. Sci.*, vol. 23, no. 8, pp. 1403–1408, 2011.
- [7] X. Yang and J. Chen, “Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, southwestern China,” *Soil Biol. Biochem.*, vol. 41, no. 5, pp. 910–918, 2009.
- [8] M. B. Muhammad and R. Chandra, “Enhancing biogas and methane production from leaf litter of neem by co-digestion with vegetable waste: Focus on the effect of tannin,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 147, no. 32, p. 106007, 2021, doi: 10.1016/j.biombioe.2021.106007.
- [9] T. Al Seadi, “Biogas handbook,” 2008.
- [10] N. Akhtar, D. Goyal, and A. Goyal, “Physico-chemical characteristics of leaf litter biomass to delineate the chemistries involved in biofuel production,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 62, pp. 239–246, 2016.
- [11] J. H. Park *et al.*, “Fuel characteristics of molasses-impregnated low-rank coal produced in a top-spray fluidized-bed reactor,” *Dry. Technol.*, vol. 34, no. 9, pp. 1095–1106, Jul. 2016, doi: 10.1080/07373937.2015.1094668.
- [12] A. Purnomo, “Pengaruh Suhu dan Sumber Inokulum Terhadap Produksi Biogas dari Limbah Makanan pada Perombakan Anaerob Skripsi,” 2010.
- [13] G. Samudro *et al.*, “The Effect of COD Concentration Containing Leaves Litter, Canteen and Composite Waste to the Performance of Solid Phase Microbial Fuel Cell (SPMFC),” *E3S Web Conf.*, vol. 31, 2018, doi: 10.1051/e3sconf/20183102008.

- [14] S. Mahimairaja and N. S. Bolan, "The Regional Institute - Problems and prospects of agricultural use of distillery spentwash in India," no. January 2004, 2008, [Online]. Available: http://regional.org.au/au/asssi/supersoil2004/s7/poster/1891_mahimairajas.htm
- [15] E. S. Lestarie, Y. A. Hidayati, and W. Juanda, "Analisis Jumlah Bakteri Anaerob Dan Proporsi Gas Metana Pada Proses Pembentukan Biogas Dari Fises Sapi Perah Dalam Tabung Hungate," *Students e-Journal Univ. Padjajaran*, vol. 2, no. 1, pp. 1–12, 2016.
- [16] L. Zalizar, R. Relawati, and B. Y. Ariadi, "Potensi produksi dan ekonomi biogas serta implikasinya pada kesehatan manusia, ternak dan lingkungan," *J. Ilmu-Ilmu Peternak.*, vol. 23, no. 3, pp. 32–40, 2013.
- [17] M. T. Madigan, J. M. Martinko, and J. Parker, *Brock biology of microorganisms*, vol. 11. Prentice hall Upper Saddle River, NJ, 1997.
- [18] M. Emmanuel Pax, E. Muzenda, and T. Lekgoba, "Effect of co-digestion of food waste and cow dung on biogas yield," in *E3S Web of Conferences*, 2020, p. 1005.
- [19] C. Afrian, A. Haryanto, U. Hasanudin, and I. Zulkarnain, "Produksi Biogas Dari Campuran Kotoran Sapi Dengan Rumput Gajah (*Pennisetum Purpureum*)," *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.)*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [20] A. Wicaksono and H. E. G. Prasetya, "Pengaruh Penambahan EM4 Pada Pembuatan Biogas dengan Bahan Baku Kotoran Sapi Menggunakan Digester Fix Dome Sistem Batch," in *Prosiding SENTIKUIN (Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur)*, 2019, pp. A5-1.
- [21] G. M. D. Putra, S. H. Abdullah, A. Priyati, D. A. Setiawati, and S. A. Muttalib, "Rancang bangun reaktor biogas tipe portable dari limbah kotoran ternak sapi," *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 5, no. 1, pp. 369–374, 2017.