



Penambahan Arang Batok Kelapa pada Produksi Biogas Campuran Kotoran Ayam dan Kotoran Sapi

Addition of Coconut Shell Biochar on the Biogas Production from a Mixture of Chicken Manure and Cow Manure

**Agus Haryanto ^{1*}, Laily Rahmadani Putri ¹, Siti Suharyatun ¹,
Mareli Telaumbanua ¹**

¹Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung

*Corresponding Author: agus.haryanto@fp.unila.ac.id

Abstract. *This study aims to determine the effect of adding coconut shell biochar on biogas production from a mixture of chicken manure and cow manure. The research was conducted using a batch type digester with an active volume of 2000 mL. The substrate consists of a mixture of chicken manure and cow manure with a weight ratio of 1:1 and 3:1. Biochar from coconut shells is mashed and added at a rate of 3 grams. Parameters observed included ambient temperature, initial and final pH, biogas production and methane content in biogas. The results showed that the addition of coconut shell charcoal had a negative effect which was marked by a decrease in cumulative biogas production. The highest cumulative biogas production was obtained in the treatment without the addition of biochar, both K1B0 and K2B0. Biogas from the K2B0 treatment has a higher CH₄ content than those of other treatments.*

Keywords: *Biogas Production, Methane, pH, Substrate Rasio, Temperature.*

1. Pendahuluan

Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial bagi Indonesia. Biogas dapat digunakan untuk berbagai kepentingan (Haryanto *et al.*, 2020). Aplikasi skala kecil meliputi penggunaannya sebagai bahan bakar kompor rumah tangga (Haryanto *et al.*, 2017a) dan bahan bakar genset untuk pembangkit listrik skala kecil (Haryanto *et al.*, 2017b; Haryanto *et al.*, 2019). Pemanfaatan biogas untuk bahan bakar kompor masak sangat kompatibel dengan program

konversi minyak tanah ke gas LPG yang diinisiasi sejak tahun 2007 dan kini mulai memberatkan pemerintah karena subsidi gas LPG yang terus meningkat. Sebagaimana diketahui, pada program konversi minyak tanah ini pemerintah memberikan subsidi 100% untuk perkakas dan 45% untuk LPG (Kuehl *et al.*, 2021). Selain itu, konversi limbah organik menjadi biogas sangat tepat mengingat ketersediaan bahan baku yang melimpah. Salah satu limbah yang secara potensial dapat dikembangkan sebagai substrat dalam proses produksi biogas adalah kotoran ayam, terutama ayam ras petelur (*layer*) dan pedaging (*broiler*).

Populasi ayam ras pedaging di Indonesia terus meningkat dari 1,8487 miliar ekor pada tahun 2017 (BPS, 2019) menjadi 3,1072 miliar ekor di tahun 2021 (BPS, 2022). Hal ini berarti pertumbuhan sebesar 68,07% dalam 4 tahun atau rata-rata 17,02% per tahun. Dalam kurun waktu yang sama populasi ayam ras petelur mengalami kenaikan total 102,58% atau rata-rata 25,64%/tahun dari 181,75 juta ekor di tahun 2017 (BPS, 2019) menjadi 368,19 juta ekor pada tahun 2021 (BPS, 2022). Ternak akan menghasilkan kotoran sebanding dengan bobot hidup tubuhnya. (Mukhtar, 2007) melaporkan bahwa 18,7 juta ekor ayam petelur menghasilkan 648 ribu ton kotoran per tahun; sedangkan dari 627,9 juta ayam pedaging dihasilkan kotoran 3,45 juta ton per tahun. Lebih lanjut dilaporkan bahwa berat ayam hidup adalah rata-rata 3 lb (1,36 kg) untuk ayam petelur dengan kotoran 0.19 lb/hari (86 g/hari). Sedangkan ayam pedaging dengan bobot rata-rata 2,8 lb (1,27 kg) menghasilkan kotoran harian 0,23 lb atau 104 gram. Secara umum, per 1000 kg bobot hidup, banyaknya kotoran ayam adalah 64 kg (6,4%) untuk ayam petelur dan 85 kg (8,5%) untuk ayam pedaging (ASAE, 2003).

Di Indonesia, bobot ayam pedaging usia 5 minggu adalah antara 1464,44 hingga 1580,00 gram (Dogomo, 2018). Penelitian lain melaporkan bobot panen ayam pedaging antara 1,36 kg di dataran rendah, 1,57 kg di dataran sedang, dan 1,82 di dataran tinggi (Astuti & Jaiman, 2019). Sementara itu ayam petelur coklat ISA Brown berumur 30 minggu memiliki bobot rata-rata 1925 ± 133 gram (Utomo, 2017). Dengan asumsi bobot rata-rata ayam petelur 2 kg/ekor dan ayam pedaging 1,5 kg/ekor serta kotoran 6,5% untuk ayam petelur dan 8,5% untuk ayam pedaging, maka jumlah total kotoran ayam tahunan akan mencapai 443,294.4 ton yang terdiri dari 47,128.6 ton kotoran ayam petelur dan 396,165.8 ton kotoran ayam pedaging. Ini merupakan potensi yang layak diperhitungkan. Kotoran ayam mengandung bahan organik yang tinggi sehingga bisa menjadi substrat yang potensial untuk menghasilkan biogas.

Salah satu permasalahan dari kotoran ayam adalah kandungan nitrogen yang tinggi (rasio C/N rendah) yang akan mengakibatkan hadirnya ammonia dalam jumlah tinggi (Molaey *et al.*, 2018; Nie *et al.*, 2015; Bi *et al.*, 2021). Kandungan ammonia yang tinggi akan mengganggu bakteri metanogen sehingga proses pembentukan metana akan terganggu (Fuchs *et al.*, 2018). Beberapa solusi untuk mengatasi hal ini antara lain adalah mencampur kotoran ayam dengan substrat lain yang memiliki rasio C/N tinggi. Sebagai contoh, (Buivydas *et al.*, 2022) baru-baru ini melaporkan penggunaan lemak babi untuk meningkatkan proses penguraian anaerobik kotoran ayam. Bahan hijau atau yang berasal dari tanaman merupakan calon yang perlu dipertimbangkan karena memiliki rasio C/N tinggi, antara lain jerami jagung (Feng *et al.*, 2022; Jiang *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2013; Mohd Johari *et al.*, 2020; Yan *et al.*, 2019), silase seresah jagung (Sun *et al.*, 2016), bagas tebu, pelepah sawit, dan tandan kosong kelapa sawit (Shamsuddin *et al.*, 2022), serbuk gergaji (Hakimi *et al.*, 2021). Cara lain adalah menambahkan sumber karbon eksternal untuk meningkatkan rasio C/N. Penambahan biochar atau arang dilaporkan dapat memperbaiki proses penguraian anaerobik dan meningkatkan produksi biogas dari kotoran ayam (Ma *et al.*, 2020; Ngo *et al.*, 2022). Menurut (Rowan *et al.*, 2022), penambahan biochar meningkatkan aktivitas mikroba, konduktivitas listrik, dan interaksi molar dalam digester anaerobik. (Kizito *et al.*, 2022) menyimpulkan bahwa penambahan biochar memberikan efek buffer pada total ammonia yang tinggi dan penghambatan oleh asam lemak volatil serta secara sinergis meningkatkan

kandungan metana selama fermentasi kotoran ayam dibandingkan dengan percobaan kontrol.

Berdasarkan paparan di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan arang batok kelapa pada proses penguraian anaerobik campuran kotoran ayam dan kotoran sapi.

2. Metode Penelitian

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai Juli 2022 di Jurusan Teknik Pertanian dan *greenhouse* Laboratorium Lapang Pertanian Terpadu, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

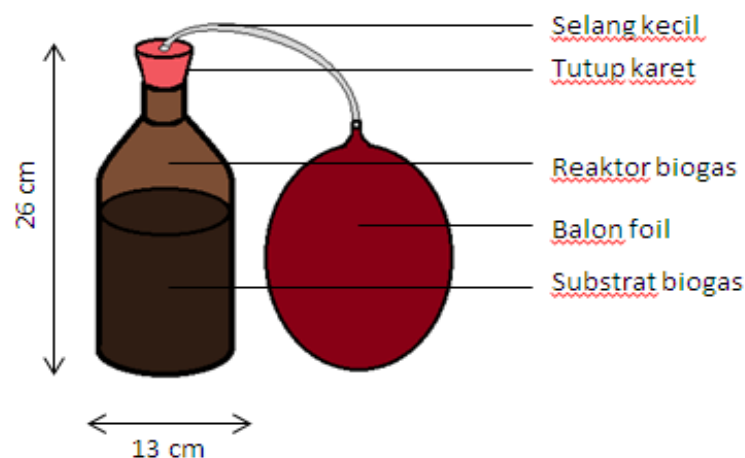
2.2 Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah botol kaca, balon, selang kecil, ember, timbangan, oven, desikator, cawan, pH meter *digital*, *humidity meter*, *plastic steel*, corong, gelas ukur, plastik kecil, label, sarung tangan plastik, alat tulis, kamera HP. Sedangkan, bahan yang digunakan yaitu kotoran ayam yang didapatkan dari peternak di daerah Way Huwi, Desa Jatisari, Lampung Selatan. Kotoran sapi segar diperoleh dari peternak sapi di daerah Kalibalau Kencana, Kedamaian, Antasari, Bandar Lampung. Biochar batok kelapa dibeli dari warung dan dihancurkan menjadi bubuk. Bahan lain adalah air untuk pengenceran substrat.

2.3 Perlakuan

Penelitian ini dilakukan menggunakan digester tipe *batch* dari bahan kaca berwarna coklat dengan volume total 2,5 L (Gambar 1). Volume isian pada penelitian ini adalah 2000 mL. Sanjaya *et al.* (2015) melaporkan bahwa biogas dari kotoran yang paling banyak Perlakuan pada penelitian ini terdiri dari dua perbandingan kotoran ayam dan kotoran sapi, yaitu K1 (1:1) dan K2 (3:1). Dalam hal ini kotoran sapi digunakan sebagai sumber bakteri untuk menghasilkan biogas. Masing-masing perbandingan dibuat tanpa penambahan *biochar* (B0) dan penambahan 3 gram *biochar* (B1). Jadi, semua terdapat empat perlakuan, yaitu K1B0, K1B1, K2B0, dan K2B1. Masing-masing perlakuan dilakukan dalam 3 kali ulangan sehingga terdapat 12 satuan percobaan.

Substrat sebanyak 1000 gram terdiri dari campuran kotoran ayam dan kotoran sapi sesuai dengan perbandingan di atas. Campuran substrat kemudian diencerkan menggunakan air keran pada perbandingan berat 1:1. Kotoran dan air diaduk hingga menjadi homogen lalu dimasukkan ke dalam sistem digester. Gas yang dihasilkan dihubungkan melalui slang ke kantong penampung yang terbuat dari plastik foil ulang tahun. Produksi biogas diamati selama digester masih menghasilkan gas (hingga 52 hari).



Gambar 1. Digester biogas tipe batch dengan kapasitas 2,5 L dan volume aktif 2 L

2.4 Analisis dan Pengukuran

Pada penelitian ini parameter yang diamati meliputi pH substrat (awal dan akhir), suhu lingkungan (setiap hari), volume produksi biogas, komposisi metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂). Suhu lingkungan diukur 2 kali sehari yaitu pada pagi pukul 09.00 dan sore pukul 16.00. Volume produksi biogas diukur secara berkala menggunakan metode pemindahan air. Sampel biogas komposit pada hari ke 31 dan 46 dikirim ke Laboratorium Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Pati, Jawa Tengah), untuk diukur kandungan CH₄ dan CO₂. Data produksi biogas total diuji menggunakan ANOVA untuk mengetahui jika terdapat perbedaan antar perlakuan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Rasio C/N

Salah satu indikator yang penting dalam menentukan bahan utama yang akan dijadikan substrat pada pembentukan biogas yaitu rasio C/N. Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan rasio C/N substrat biogas. Terlihat bahwa kotoran ayam memiliki rasio C/N yang rendah (9,10). Penambahan kotoran sapi 50% (rasio campuran 1:1) dan 25% (rasio campuran 3:1) hanya menghasilkan rasio C/N 14,15 dan 15,30. Nilai ini masih lebih rendah dari kisaran rasio C/N yang optimum untuk proses penguraian anaerobik. Hasil perhitungan juga menunjukkan bahwa hanya perlakuan campuran K2 menghasilkan rasio C/N sesuai untuk proses penguraian anaerobik, sedangkan campuran K1 menghasilkan rasio C/N jauh dibawah nilai yang optimal. Proses biogas memerlukan nilai rasio C/N antara 20 hingga 30 (Sanjaya *et al.*, 2015). Penambahan arang pada takaran 3 gram hanya sedikit meningkatkan rasio C/N.

Menurut (Sanjaya *et al.*, 2015), jika kandungan C/N terlalu tinggi, nitrogen akan dipakai dengan cepat untuk memenuhi kebutuhan bakteri metanogen dan sedikit bereaksi dengan karbon yang akan mengakibatkan rendahnya gas yang dihasilkan. Sedangkan, jika rasio C/N berada pada nilai yang optimum maka akan mengakibatkan produksi biogas yang optimal. Adapun salah satu faktor yang mempengaruhi kandungan nilai C/N rasio pada kotoran ternak yaitu jenis pakan yang diberikan.

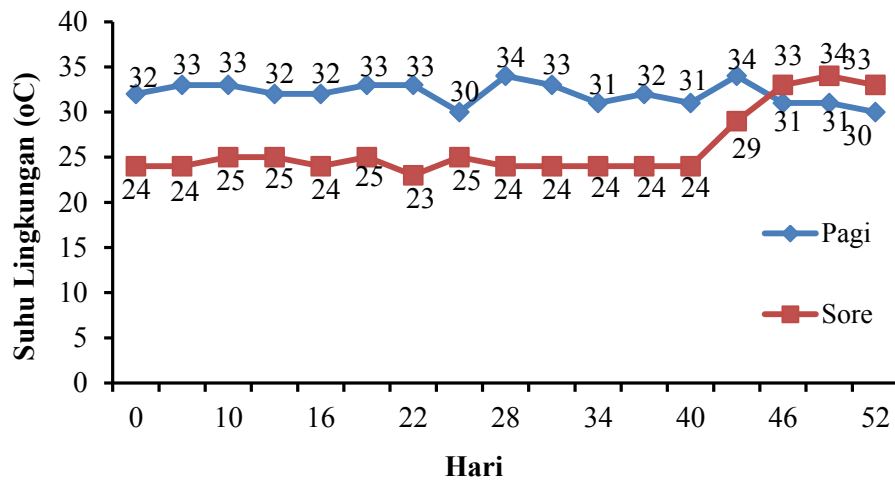
Tabel 1. C/N Rasio Akhir

Bahan	Komposisi (%)		C/N Rasio	Referensi
	Karbon, C	Nitrogen, N		
Biochar	99,27	0,62	160,11	(Pramono <i>et al.</i> , 2011)
Kotoran ayam	26.29	2.89	9.10	Sanjaya <i>et al.</i> (2015)
Kotoran sapi	39.87	1.42	28.08	(Afrian <i>et al.</i> , 2017)
Campuran K1 (1:1)				
Total tanpa biochar	33.12 g	2.34 g	14.15	Perhitungan
Total dengan biochar	36.10 g	2.36 g	15.30	Perhitungan
Campuran K2 (2:1)				
Total tanpa biochar	41.29 g	1.90 g	21.74	Perhitungan
Total dengan biochar	44.27 g	1.92 g	23.08	Perhitungan

3.2 Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi produksi biogas. Pembentukan metana pada biogas akan berlangsung cepat jika berada pada suhu ideal. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara suhu di pagi hari (pukul 09.00) dan sore hari (pukul 16.00). Selama 40 hari pertama suhu udara di sore hari berkisar dari 23-25 °C, lebih rendah daripada suhu di pagi hari (30-34 °C). Tetapi pada 12 hari terakhir

terjadi perubahan dimana suhu di sore hari mulai meningkat dan melebihi suhu di pagi hari, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Hal ini mungkin disebabkan oleh perubahan musim atau pergeseran posisi matahari. Karena digester berukuran kecil, maka dapat diyakini bahwa suhu digester akan sama atau sangat dekat dengan suhu lingkungan. Beberapa penelitian sebelumnya menggunakan digester semi kontinyu dengan volume aktif 25-28 L melaporkan bahwa suhu digester praktis sama dengan suhu lingkungan (Haryanto *et al.*, 2019a; Agus *et al.*, 2019b; Haryanto *et al.*, 2018). Secara keseluruhan suhu lingkungan selama penelitian berada pada kisaran suhu mesofilik dan cukup ideal untuk proses pembentukan biogas.



Gambar 2. Suhu lingkungan selama penelitian biogas dari kotoran ayam

3.3 Derajat Keasaman (pH)

Tabel 2 menunjukkan nilai pH awal bagi empat perlakuan. Secara keseluruhan pH awal substrat berada pada rentang nilai keasaman antara 6,84 hingga 7,07. Menurut (Pambudi *et al.*, 2018), kisaran pH ini baik bagi pertumbuhan bakteri biogas yang berkisar diantara 6,8-7,2. Dari Tabel 2 dapat kita lihat bahwa nilai pH sedikit lebih tinggi untuk perlakuan dengan campuran kotoran ayam 50%. Hal ini disebabkan karena kotoran ayam memiliki pH lebih tinggi daripada kotoran sapi. (Hammad *et al.*, 2018) melaporkan bahwa kotoran ayam memiliki pH 8,50, sedangkan kotoran sapi memiliki pH 7,92.

Tabel 2. Nilai pH awal substrat biogas

Perlakuan	K1B1	K1B0	K2B1	K2B0
pH awal	7,07	7,00	6,84	6,89

Tabel 3. pH Akhir Substrat Biogas

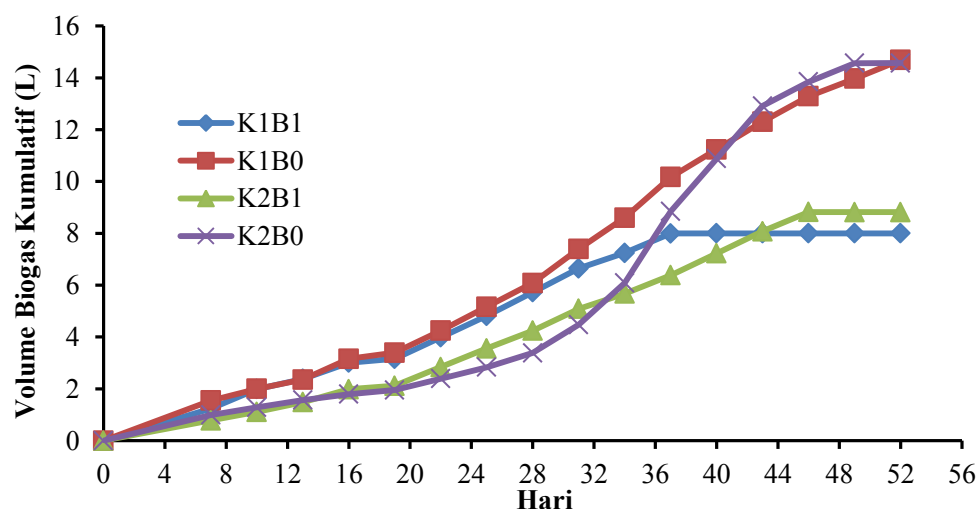
Perlakuan	Rata-Rata
Tanpa Biochar (B0)	7,22a
Dengan biochar (B1)	6,70b

Pengukuran pH substrat pada akhir penelitian mendapatkan rentang nilai keasaman antara 6,65-7,26, yang masih berada pada kisaran nilai pH ideal (6,6-7,6) (Dwivannie *et al.*, 2019). Analisis ragam (ANOVA) menunjukkan bahwa penambahan biochar berpengaruh nyata terhadap pH akhir, sedangkan rasio substrat berpengaruh tidak nyata terhadap pH akhir. Pengujian lebih

lanjut (Tabel 3) mendapatkan bahwa penambahan biochar batok kelapa berakibat pada turunnya pH substrat dari rata-rata 7,22 (tanpa biochar) menjadi 6,70 (dengan biochar). Hal ini antara lain disebabkan oleh karena sifat alkalin dari arang batok kelapa. Arang batok kelapa yang dihasilkan dari pirolisis pada suhu 350-450 °C dilaporkan memiliki pH 9,75 hingga 10,32 (Wanida & Rousset, 2018).

3.4 Produksi Biogas

Volume produksi biogas merupakan ukuran final dari konversi bahan organik menjadi biogas melalui proses penguraian anaerobik. Gambar 3 memperlihatkan produksi biogas kumulatif rata-rata dari empat perlakuan. Dengan jelas terlihat bahwa perlakuan tanpa biochar (K1B0 dan K2B0) menghasilkan produksi biogas total yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan dengan pemberian biochar. Gambar tersebut juga memperlihatkan bahwa rasio campuran K1 (1:1) menghasilkan biogas yang lebih stabil dibandingkan rasio campuran K2 (3:1). Hal ini sesuai dengan penelitian Sanjaya *et al.* (2015) yang melaporkan bahwa produksi biogas dari campuran kotoran ayam dan kotoran sapi mencapai maksimum pada campuran 50%:50%. Hingga hari 34, produksi biogas yang dihasilkan dari campuran substrat 3:1 (K2B0) adalah yang paling rendah dibandingkan perlakuan lainnya. Produksi biogas kemudian mulai meningkat di hari 36, meninggalkan perlakuan dengan penambahan biochar dan pada 10 hari terakhir menyamai atau bahkan melampaui produksi biogas pada perlakuan K1B0. Hal ini mengindikasikan bahwa pada rasio 1:1, jumlah kotoran sapi dapat menyediakan populasi bakteri yang memadai. Pada komposisi 25% kotoran sapi (yaitu rasio campuran 3:1) jumlah populasi kurang mencukupi dibandingkan dengan jumlah makanan sehingga produksi biogas justru berlangsung lambat. Tetapi, lambat laun sistem memulihkan dirinya sendiri sehingga digester dapat bekerja dengan baik. Penting dicatat bahwa perlakuan dengan penambahan biochar batok kelapa hanya mampu menghasilkan hingga hari ke 37 untuk rasio K1 dan sampai hari 46 untuk rasion K2. Sedangkan substrat tanpa penambahan biochar dapat menghasilkan biogas hingga hari ke 51 untuk campuran K2 dan 52 untuk campuran K1.



Gambar 3. Grafik rata-rata produksi biogas kumulatif

Analisis ragam menunjukkan bahwa penambahan biochar berpengaruh nyata terhadap produksi biogas total (hingga hari ke 52), sedangkan rasio campuran tidak berpengaruh signifikan. Tabel 4 menunjukkan bahwa penambahan biochar tidak memperbaiki atau justru menurunkan produksi biogas kumulatif. Beberapa penelitian melaporkan bahwa penambahan biochar dapat

meningkatkan proses penguraian anaerobik kotoran ayam (Ma *et al.*, 2020; Ngo *et al.*, 2022). Tetapi, efek penambahan biochar juga akan ditentukan oleh dosis (Indren *et al.*, 2020), dan jenis atau bahan baku biochar (Capson-Tojo *et al.*, 2019; Shi *et al.*, 2022; Tsui *et al.*, 2021). Campuran substrat dalam penelitian kami memiliki kandungan padatan total (TS) 103,3 gram untuk rasio campuran K1 dan 111 gram untuk K2. Pemberian 3 gram biochar berarti dosis 2,9% dan 2,7% berturut-turut untuk rasio campuran K1 dan K2. Mungkin dosis ini terlalu tinggi sehingga justru menimbulkan efek negatif bagi proses produksi biogas.

Tabel 4. Produksi biogas kumulatif hingga hari ke 52

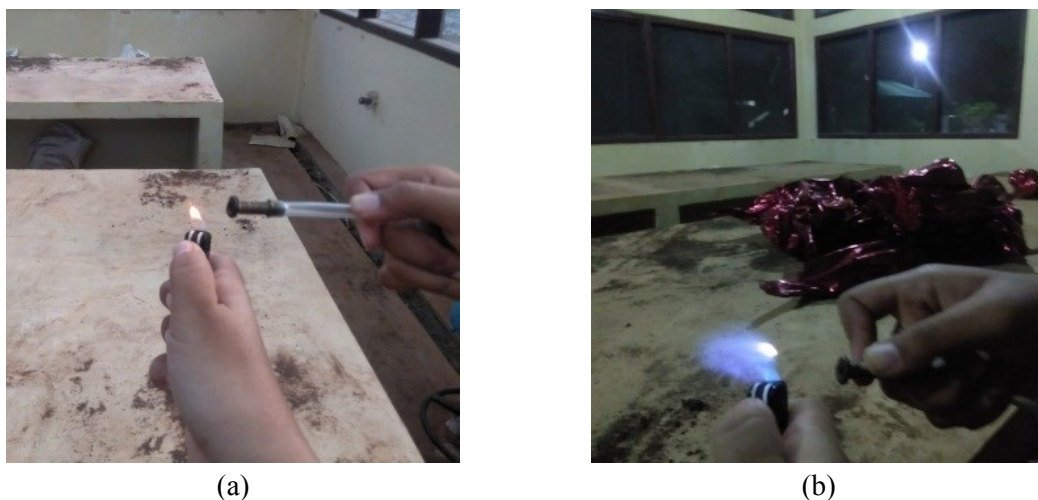
Perlakuan	Produksi biogas kumulatif (ml)
Tanpa biochar (B0)	14.57a
Dengan biochar (B1)	8,41b

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata pada taraf $\alpha = 0,05$.

3.5 Kualitas Biogas

Biogas digunakan sebagai bahan bakar. Oleh karena itu kualitasnya ditentukan oleh komponen gas yang dapat dibakar (metana, CH_4), atau sebaliknya komponen gas yang tidak terbakar (karbon dioksida, CO_2). Makin tinggi kandungan CH_4 berarti biogas memiliki kualitas yang baik, dan demikian sebaliknya. Kandungan CH_4 dalam biogas juga mencerminkan kualitas proses dalam digester. Biogas dengan kandungan CH_4 tinggi akan dapat dibakar dengan mudah. Sebaliknya, biogas dengan kandungan CH_4 rendah akan sulit untuk dibakar. Gambar 4 memperlihatkan kualitas biogas yang dilihat dari kemudahannya dibakar. Hingga minggu II, biogas yang dihasilkan masih belum bisa dinyalakan yang menunjukkan bahwa kandungan CH_4 masih rendah. Mulai minggu III beberapa unit percobaan sudah menghasilkan biogas dengan kandungan CH_4 yang memadai sehingga dapat dibakar dan menghasilkan nyala api biru.

Pengujian komposisi biogas pada hari ke 31 dan 52 seperti diberikan pada Tabel 5 menunjukkan kandungan CH_4 pada umumnya rendah sampai hari ke 31. Pada hari ke 46, kandungan CH_4 pada perlakuan K2B0 (yaitu rasio substrat 3:1 tanpa biochar) mencapai 49,63% yang tergolong cukup bagus. Secara teoritis, proses penguraian anaerobik akan menghasilkan biogas dengan kandungan metana 50% hingga 70%, tergantung jenis dan komposisi substrat (Haryanto, 2017).



Gambar 4. Kualitas biogas dilihat dari kemampuannya dinyalakan: (a) minggu I-II, (b) minggu III-VI, dan (c) minggu VII.

Tabel 5. Perkembangan kandungan CH₄ pada biogas

Perlakuan	Kandungan CH ₄ (%)	
	Hari 31	Hari 46
K1B1	7,04	NA*
K1B0	19,42	19,63
K2B1	8,67	3,27
K2B0	12,28	49,63

*) Pada hari 46, digester perlakuan K1B1 sudah tidak menghasilkan biogas.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perbandingan substrat kotoran sapi dan kotoran ayam tidak mempengaruhi pH akhir substrat dan produksi biogas total, sedangkan pemberian *biochar* yang menurunkan produksi biogas total dan menurunkan pH substrat akhir.
2. Produksi biogas total terbanyak diperoleh pada perlakuan tanpa penambahan *biochar* (K1B0 dan K2B0), tetapi perlakuan K2B0 menghasilkan biogas dengan kandungan CH₄ lebih tinggi dibandingkan biogas dari perlakuan K1B0.

4.2 Saran

Pengaruh *biochar* pada proses penguraian anaerobik diduga dipengaruhi oleh dosis dan jenis bahan (biomassa) asal. Oleh karena itu perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh dosis dan jenis biomassa *biochar* terhadap proses penguraian anaerobik kotoran ayam.

Daftar Pustaka

- Afriani, C., Haryanto, A., Hasanudin, U. & Zulkarnain, I. 2017. Produksi Biogas dari Campuran Kotoran Sapi Dengan Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 6(1): 23–30.
- ASAE, (American Society of Agricultural Engineers). 2003. Manure production and characteristics (ASAE D384.1 FEB03).
- Astuti, F.K. & Jaiman, E. 2019. Perbandingan pertambahan bobot badan ayam pedaging di CV Arjuna Grup berdasarkan tiga ketinggian tempat yang berbeda. *Jurnal Sains Peternakan*, 7(2): 75–90.
- Bi, S., Westerholm, M., Hu, W., Mahdy, A., Dong, T., Sun, Y., Qiao, W. & Dong, R. 2021. The metabolic performance and microbial communities of anaerobic digestion of chicken manure under stressed ammonia condition: A case study of a 10-year successful biogas plant. *Renewable Energy*, 167: 644–651.
- BPS (Badan Pusat Statistik). 2019. *Statistical Yearbook of Indonesia 2019*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- BPS (Badan Pusat Statistik). 2022. *Statistical Yearbook of Indonesia 2022*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Buivydas, E., Navickas, K., Venslauskas, K., Žalys, B., Župerka, V. & Rubežius, M. 2022. Biogas Production Enhancement through Chicken Manure Co-Digestion with Pig Fat. *Applied Sciences*, 12(9): 4652.
- Capson-Tojo, G., Girard, C., Rouez, M., Crest, M., Steyer, J.-P., Bernet, N., Delgenès, J.-P. & Escudé, R. 2019. Addition of *biochar* and trace elements in the form of industrial FeCl₃ to

- stabilize anaerobic digestion of food waste: dosage optimization and long-term study: Biochar and trace elements (industrial FeCl_3) to stabilize anaerobic digestion of food waste. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(2): 505–515.
- Dogomo, E. 2018. Bobot dan persentase karkas ayam pedaging yang diberi tepung kulit buah manggis (*Garcinia mangostama* L.) dalam air minum. *Jurnal Fapertanak*, III(1): 31–47.
- Dwivannie, V., Sasmita, A. & Pratiwi, E. 2019. Karakteristik pH dan Suhu dalam Proses Pembuatan Biogas dari Substrat Limbah Rumah Makan, Limbah Cair Tahu dan Kotoran Sapi. : 70.
- Feng, L., Lin, X. & Li, X. 2022. Combined anaerobic digestion of chicken manure and corn straw: study on methanogenic potential and microbial diversity. *Annals of Microbiology*, 72(1): 44.
- Fuchs, W., Wang, X., Gabauer, W., Ortner, M. & Li, Z. 2018. Tackling ammonia inhibition for efficient biogas production from chicken manure: Status and technical trends in Europe and China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97: 186–199.
- Hakimi, M., Shamsudin, M.R., Pendyala, R., Aminah, S. & Gunny, A.A.N. 2021. Co-anaerobic Digestion of Chicken Manure and Selected Additives for Biogas Production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 765(1): 012055.
- Hammad, E.I., Al-Agha, M.R. & El-Nahhal, Y. 2018. Enhancing Biogas Production: Influence of Mixing Caw and Chicken Manures. *Energy and Power Engineering*, 10(08): 383–397.
- Haryanto, A. 2017. *Energi Terbarukan*. Yogyakarta: Innosain: 281–359.
- Haryanto, A., Cahyani, D., Triyono, S., Murdapa, F. & Haryono, D. 2017. Economic Benefit and Greenhouse Gas Emission Reduction Potential of A Family-Scale Cowdung Anaerobic Biogas Digester. *International Journal of Renewable Energy Development*, 6(1): 29–36.
- Haryanto, A., Marotin, F., Triyono, S. & Hasanudin, U. 2017. Developing A Family-Size Biogas-Fueled Electricity Generating System. *International Journal of Renewable Energy Development*, 6(2): 111–118.
- Haryanto, A., Nindhia, T.G.T., Rahmawati, W., Hasanudin, U., Saputra, T.W., Santosa, A.B., Tamrin & Triyono, S. 2019. Effect of load on the performance of a family scale biogas-fuelled electricity generator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 355: 012078.
- Haryanto, Agus, Okfrianas, R. & Rahmawati, W. 2019. Pengaruh Komposisi Subtrat dari Campuran Kotoran Sapi dan Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) terhadap Produktivitas Biogas pada Digester Semi Kontinu. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(1): 47–56.
- Haryanto, Agus, Oktafri, O., Triyono, S. & Zulyantoro, M.R. 2019. Pengaruh komposisi substrat campuran kotoran sapi dan jerami padi terhadap produktivitas biogas pada digester semi kontinyu. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 7(1): 116–125.
- Haryanto, A., Triyono, S., Telaumbanua, M. & Cahyani, D. 2020. Pengembangan listrik tenaga biogas skala rumah tangga untuk daerah terpencil di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 8(2): 168–183.
- Haryanto, A., Triyono, S. & Wicaksono, N.H. 2018. Effect of hydraulic retention time on biogas production from cow dung in a semi continuous anaerobic digester. *International Journal of Renewable Energy Development*, 7(2): 93.
- Indren, M., Birzer, C.H., Kidd, S.P., Hall, T. & Medwell, P.R. 2020. Effects of biochar parent material and microbial pre-loading in biochar-amended high-solids anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 298: 122457.
- Jiang, H., Shen, Y., Ma, C., Zhao, J., Wang, Y., Li, Y. & Zhou, H. 2021. Solid-State Anaerobic Digestion of Chicken Manure and Corn Straw with Different Loading Amounts. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(3): 2117–2125.
- Kizito, S., Jjagwe, J., Mndondo, S.W., Nagawa, C.B., Bah, H. & Tumutegereize, P. 2022.

- Synergetic effects of biochar addition on mesophilic and high total solids anaerobic digestion of chicken manure. *Journal of Environmental Management*, 315: 115192.
- Kuehl, J., Maulidia, M., Bajaj, K. & Boelts, S. 2021. *LPG Subsidy Reform in Indonesia: Lessons Learned from International Experience*. Manitoba, Canada: International Institute for Sustainable Development: 32 pp.
- Li, Y., Zhang, R., Chen, C., Liu, G., He, Y. & Liu, X. 2013. Biogas production from co-digestion of corn stover and chicken manure under anaerobic wet, hemi-solid, and solid state conditions. *Bioresource Technology*, 149: 406–412.
- Ma, H., Hu, Y., Kobayashi, T. & Xu, K.-Q. 2020. The role of rice husk biochar addition in anaerobic digestion for sweet sorghum under high loading condition. *Biotechnology Reports*, 27: e00515.
- Mohd Johari, S.A., Aqsha, A., Osman, N.B., Shamsudin, M.R., Ameen, M. & Dol, S.S. 2020. Enhancing biogas production in anaerobic co-digestion of fresh chicken manure with corn stover at laboratory scale. *SN Applied Sciences*, 2(7): 1260.
- Molaey, R., Bayrakdar, A., Sürmeli, R.Ö. & Çalli, B. 2018. Anaerobic digestion of chicken manure: Mitigating process inhibition at high ammonia concentrations by selenium supplementation. *Biomass and Bioenergy*, 108: 439–446.
- Mukhtar, S. 2007. Manure Production & Characteristics: Its importance to Texas and animal feeding operations. *Texas A&M Agrilife Extension*. <http://tammi.tamu.edu>.
- Ngo, T., Khudur, L.S., Hakeem, I.G., Shah, K., Surapaneni, A. & Ball, A.S. 2022. Wood Biochar Enhances the Valorisation of the Anaerobic Digestion of Chicken Manure. *Clean Technologies*, 4(2): 420–439.
- Nie, H., Jacobi, H.F., Strach, K., Xu, C., Zhou, H. & Liebetrau, J. 2015. Mono-fermentation of chicken manure: Ammonia inhibition and recirculation of the digestate. *Bioresource Technology*, 178: 238–246.
- Pambudi, S., Kirom, M.R. & Suhendi, A. 2018. Pengaruh Kadar Keasaman (pH) Terhadap Produksi Biogas dengan Menggunakan Campuran Kotoran Hewan dan Substrat Kentang Busuk Pada Reaktor Anaerob. , 5: 7.
- Pramono, A.E., Zulfia, A. & Soedarsono, J.W. 2011. Physical and Mechanical Properties of Carbon-Carbon Composite Based Coconut Shell Waste. *Journal of Materials Science and Engineering*, 5: 12–19.
- Rowan, M., Umenweke, G.C., Epelle, E.I., Afolabi, I.C., Okoye, P.U., Gunes, B. & Okolie, J.A. 2022. Anaerobic co-digestion of food waste and agricultural residues: An overview of feedstock properties and the impact of biochar addition. *Digital Chemical Engineering*, 4: 100046.
- Sanjaya, D., Haryanto, A., & Tamrin. 2015. Produksi biogas dari campuran kotoran sapi dengan kotoran ayam. *9 Maret 2015*, 4(2): 10.
- Shamsuddin, R.M., Dawi Cahyono, N.A., Ayoub, M., Siyal, A.A. & Hamid, A.F. 2022. Anaerobic Co-Digestion of Chicken Manure with Sugarcane Bagasse, Oil Palm Frond and Empty Fruit Bunch Additive: Methane Yield and Kinetic Analysis. *SSRN Electronic Journal*. <https://www.ssrn.com/abstract=4056978> 8 January 2023.
- Shi, Y., Liu, M., Li, J., Yao, Y., Tang, J. & Niu, Q. 2022. The dosage-effect of biochar on anaerobic digestion under the suppression of oily sludge: Performance variation, microbial community succession and potential detoxification mechanisms. *Journal of Hazardous Materials*, 421: 126819.
- Sun, C., Cao, W., Banks, C.J., Heaven, S. & Liu, R. 2016. Biogas production from undiluted chicken manure and maize silage: A study of ammonia inhibition in high solids anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 218: 1215–1223.

- Tsui, T.-H., Zhang, L., Lim, E.Y., Lee, J.T.E. & Tong, Y.W. 2021. Timing of biochar dosage for anaerobic digestion treating municipal leachate: Altered conversion pathways of volatile fatty acids. *Bioresource Technology*, 335: 125283.
- Utomo, D.M. 2017. Performa ayam ras petelur coklat dengan frekuensi pemberian ransum yang berbeda. *Jurnal Aves*, 11(2): 23–37.
- Wanida, K. & Rousset, P. 2018. Coupled effect of feedstock and pyrolysis temperature on biochar as soil amendment. . Belitung : s.n., 5 p. . 4, , . In IC-STAR 4.0: Interdisciplinary Research Enhancement for Industrial revolution 4.0. Belitung, Indonésie: 5 pp.
- Yan, Y., Du, Z., Zhang, L., Feng, L., Sun, D., Dang, Y., Holmes, D.E. & Smith, J.A. 2019. Identification of parameters needed for optimal anaerobic co-digestion of chicken manure and corn stover. *RSC Advances*, 9(51): 29609–29618.