MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v5i4.6390

PERAN *BIOSTARTER* EM-4 DAN FESES KUDA TERHADAP KUALITAS BIOGAS DARI SERAT AMPAS TEBU

The Role of EM-4 Biostarter and Horse Manure on the Quality of Biogas from Sugarcane Bagasse Fiber

Auzha Hira Asfaha & Yenni Darvina
Univeristas Negeri Padang
auzhahira1909@gmail.com; ydarvina@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
May 12, 2025	Jun 8, 2025	Jun 20, 2025	Jun 25, 2025

Abstract

The rising global demand for energy, particularly from fossil fuel sources, has triggered an energy crisis that necessitates the exploration of alternative solutions. One promising effort is the utilization of renewable energy in the form of biogas, which can be produced from agricultural waste such as sugarcane bagasse and livestock waste such as horse manure. This study aims to analyze the effects of horse manure and the EM-4 biostarter on the quality of the biogas produced. An experimental method was employed using a batch-type digester reactor with three different feedstock compositions: 50% sugarcane bagasse (SB):50% horse manure (HM), 40%SB:60%HM, and 30%SB:70%HM. The parameters observed included initial and final pH, gas pressure, gas temperature, and flame color testing. The results show that the addition of EM-4 biostarter accelerates the gas formation process, yields higher gas pressure, and improves the overall quality of the biogas. Moreover, increasing the proportion of horse manure enhances the decomposition of sugarcane fibers, leading to greater gas volume production. The study concludes that the optimal combination of horse manure and EM-4 biostarter is effective in improving both the quality and quantity of biogas, while supporting waste utilization as a renewable energy

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

source. The practical implications of these findings emphasize the importance of managing the digester environment safely to prevent leakage and external disturbances during biogas production.

Keywords: Sugarcane Bagasse; Horse Manure; Biogas; EM-4 Biostarter; Renewable Energy

Abstrak: Meningkatnya permintaan energi global, khususnya dari sumber berbahan bakar fosil, telah memicu krisis energi yang mendesak pencarian solusi alternatif. Salah satu upaya yang potensial adalah pemanfaatan energi terbarukan berupa biogas, yang dapat dihasilkan dari limbah pertanian seperti serat ampas tebu dan limbah peternakan seperti feses kuda. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh feses kuda dan biostarter EM-4 terhadap kualitas biogas yang dihasilkan. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan reaktor *digester* tipe *batch* dengan tiga komposisi campuran bahan: 50% ampas tebu (AT):50% feses kuda (FK), 40%AT:60%FK, dan 30%AT:70%FK. Parameter yang diamati meliputi pH awal, pH akhir, tekanan gas, temperatur gas, dan uji warna nyala api. Hasil menunjukkan bahwa pemberian biostarter EM-4 mempercepat proses pembentukan gas, menghasilkan tekanan gas yang lebih tinggi, serta meningkatkan kualitas biogas secara keseluruhan. Sementara itu, peningkatan proporsi feses kuda dalam campuran berperan penting dalam mempercepat dekomposisi serat ampas tebu, sehingga volume gas yang dihasilkan meningkat. Kesimpulannya, kombinasi optimal antara feses kuda dan biostarter EM-4 terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas dan kuantitas biogas, serta mendukung pemanfaatan limbah sebagai sumber energi terbarukan. Implikasi praktis dari temuan ini mencakup pentingnya pengelolaan lingkungan penyimpanan *digester* yang aman untuk mencegah kebocoran dan gangguan eksternal dalam proses produksi biogas.

Kata Kunci: Ampas Tebu; Feses Kuda; Biogas; Biostarter EM-4; Energi Terbarukan

PENDAHULUAN

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang tidak akan pernah habis apabila digunakan, seperti energi matahari, energi panas, dan energi angin (Hadin et al., 2017). Sumber energi terbarukan dapat diperbarui setiap saat karena jumlah yang tersedia tidak terbatas (Mönch-Tegeder et al., 2015). Energi memiliki peranan yang tidak akan lepas dari kehidupan (Octaviani & Semin, 2018). Sumber energi terbarukan saat ini belum dimanfaatkan secara optimal (Riswanto & Sodikin, 2018). Masyarakat masih menggunakan energi bahan bakar fosil dalam kehidupan sehari-hari. Sumber energi seperti bahan bakar fosil tidak dapat didaur ulang karena persediaan energi hanya dapat digunakan satu kali (Putri et al., 2019).

Meningkatnya permintaan energi telah menyebabkan krisis energi. Energi bahan bakar fosil memiliki pasokan yang terbatas (Hartono & Maharani, 2021). Solusi dari permasalahan energi adalah dengan mengganti sumber energi fosil dengan sumber energi terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat digunakan adalah biogas. Pasokan energi dari biogas dapat diperbaharui setiap saat (Nasution et al., 2020).

Bahan baku untuk produksi biogas berasal dari limbah biomassa campuran limbah pertanian dan limbah peternakan (Saputra et al., 2017). Limbah pertanian khususnya serat ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan biogas (Riyanta et al., 2017). Ampas tebu merupakan limbah hasil buangan industri gula atau pembuatan minuman dari air tebu yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal sehingga menyulitkan pihak industri dan lingkungan karena dianggap mencemari (Rambe et al., 2017). Limbah ampas tebu merupakan limbah pertanian yang kaya akan dengan rasio C/N sebesar 150 (Saputra et al., 2017). Ampas tebu memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi dan daya cerna yang rendah sehingga kurang baik digunakan untuk pakan ternak (Egerland Bueno et al., 2021). Namun, limbah ampas tebu memiliki potensi yang besar jika digunakan sebagai bahan pengisi digester untuk biogas (Saputra et al., 2017).

Selain limbah pertanian, feses hewan juga memiliki potensi yang besar sebagai bahan pengisi digester biogas. Limbah peternakan berupa feses hewan memberikan kontribusi terhadap pembentukan metana dalam pemanasan global (Hadin & Eriksson, 2016). Limbah ternak yang dapat digunakan sebagai campuran ampas tebu adalah feses kuda (Alfa et al., 2021). Feses kuda memiliki kandungan C/N sebesar 25, yang dapat membantu mempercepat proses fermentasi pembentuk gas (Hadin et al., 2016). Feses kuda sebagai bahan pencampur untuk mengisi digester merupakan sumber unsur karbon (C) dan nitrogen (N) dalam pembentukan metana (Darmanto et al., 2019).

Limbah pertanian dari ampas tebu dan limbah peternakan dari feses kuda yang pada awalnya memiliki dampak lingkungan dapat dijadikan biomassa sebagai komponen pengisi digester sebagai bahan biogas (Saputra et al., 2017). Biogas adalah gas yang mudah terbakar yang ditandai dengan nyala api berwarna biru yang dihasilkan oleh mikroba anaerobik ketika bahan organik mengalami fermentasi dalam keadaan aerobik (Lestari et al., 2017). Biogas merupakan bagian dari biomassa karena dihasilkan dari produk yang terbuat dari bahan organik. Biogas terdiri dari gas metana (55%-75%) dan karbondioksida (25%-75%) (Yusuf et al., 2016).

Proses pembentukan gas metana di dalam digester biogas melalui beberapa tahapan proses mikrobiologis. Tahap pertama adalah proses hidrolisis yang merupakan tahap penguraian bahan organik. Tahap kedua adalah proses pengasaman, yaitu proses bakteri menghasilkan asam, pada tahap ini terdapat peran nilai keasaman dalam menghasilkan gas metana. tahap ketiga adalah proses pembentukan gas metana, pada tahap ini reaktor digester telah menghasilkan gas metana (Z.Harahap et al., 2016).

Untuk mempercepat penguraian secara mikrobiologis oleh bakteri anaerob, diperlukan tambahan biostarter (Eswanto et al., 2018). Umumnya starter biologis yang digunakan adalah EM-4 (Effective Microorganism) (Wicaksono et al., 2019). Kandungan EM-4 sebesar 90% Lactobacillus Sp menghasilkan asam laktat yang mempercepat penguraian bahan organik seperti liginin dan selulosa yang terdapat pada serat ampas tebu dan feses kuda (Mahajoeno et al., 2015). Mikroorganisme anaerob membutuhkan unsur karbon (C) sebagai sumber energi utama dan karbonasi sel untuk menghasilkan metana (CH4) dan karbondioksida (CO2). Mikroorganisme anaerob juga membutuhkan nitrogen (N), yang penting untuk kehidupan dan pembelahan sel (Saputra et al., 2017).

Penggunaan campuran ampas tebu dalam produksi gas telah banyak diteliti. Namun, peran feses kuda dan biostarter EM-4 dalam produksi biogas sangat membantu dalam mempercepat dan meningkatkan produksi gas. Penelitian sebelumnya (Saputra et al., 2017) mengenai produksi biogas dari campuran feses sapi dan ampas tebu (bagasse) dengan rasio C/N yang berbeda, ampas tebu dapat digunakan dalam campuran bahan isian digester sebagai sumber karbon untuk menghasilkan biogas. Ampas tebu ini sangat berpotensial jika digunakan sebagai bahan isian digester dari komposisi biogas dengan campuran feses ternak agar menghasilkan kualitas biogas yang bagus. Limbah ampas tebu sulit terurai. Feses kuda yang merupakan limbah ternak membantu proses penguraian pada limbah ampas tebu (Hansupalak et al., 2016). Sedangkan peran EM-4 dalam fermentasi biogas mempercepat waktu pembentukan biogas dari campuran ampas tebu dan feses kuda.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan feses kuda dan biostarter EM-4 terhadap kualitas yang dihasilkan dengan mengukur nilai pH awal, nilai pH akhir, tekanan gas, temperatur gas, dan uji warna nyala api. Penelitian ini bermanfaat sebagai acuan untuk diterapkan dalam pemanfaatan sumber energi terbarukan. Tidak hanya dalam aspek produksi, energi biogas juga ramah lingkungan terhadap aspek penggunaan. Pada saat menjalankan proses pengembangan dan pembuatan energi biogas bebas dari emisi dan tidak

menimbulkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibuat biogas dengan bahan campuran ampas tebu dan feses kuda menggunakan biostarter EM-4 agar kualitas biogas yang dihasilkan baik.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan meliputi tahap persiapan sampel, tahap pembuatan digester biogas, tahap pembuatan dan pengisian bahan campuran ke dalam digester biogas, dan tahap penelitian pengukuran parameter produksi biogas. Alat yang digunakan untuk mengukur tekanan dan suhu gas adalah TPMS (Tire Pressure Monitoring System). Alat untuk mengukur tingkat keasaman bahan pengisi sebelum disegel dan setelah proses produksi biogas menggunakan pH meter digital.

Penelitian ini dimulai pada bulan Maret 2023 sampai dengan bulan Agustus 2023. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Tahapan penelitian terdiri dari beberapa tahap yaitu tahap pembuatan digester sebagai tempat fermentasi dalam menghasilkan biogas, tahap penyiapan sampel serat ampas tebu dan kotoran kuda, tahap pembuatan bahan pengisi digester, dan tahap penelitian selama 28 hari atau 4 minggu. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah pemberian jenis biomassa yang sama sebagai bahan baku pengisian digester yaitu serat ampas tebu dan pemberian volume air dan volume biostarter EM-4 yang sama pada setiap sampel. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah pH awal bahan pengisi digester, pH akhir bahan pengisi digester, suhu gas, dan tekanan gas. Indikator kualitas biogas yang baik dilakukan dengan uji nyala biogas terhadap warna nyala api. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi campuran serat ampas tebu dan kotoran kuda. Komposisi yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Ampas Tebu dan Feses Kuda

Komposisi Ampas Tebu (AT)	Komposisi Feses Kuda (FK)
50%	50%
40%	60%
30%	70%

Berdasarkan Tabel 1, terdapat tiga variasi komposisi serat ampas tebu dan feses kuda. Setiap variasi komposisi diberi penambahan biostarter EM-4 dan tanpa penambahan

biostarter EM-4. Tujuan dari kedua jenis perlakuan ini adalah untuk menganalisis pengaruh EM-4 terhadap kualitas biogas dalam menghasilkan gas. Sampel serat ampas tebu harus dicacah terlebih dahulu karena ukuran serat menjadi lebih kecil sehingga mudah dihomogenkan dengan bahan pengisi biogas. Serat ampas tebu dicacah di Dinas Pertanian Kota Padang dan sampel pupuk kandang kuda diambil di peternakan kuda yang terletak di Kelurahan Sei Sapih, Kecamatan Kuranji, Kota Padang.

Dalam memproduksi gas diperlukan suatu alat untuk menampung bahan pengisi biogas yang disebut digester. Digester anaerobik merupakan reaktor vakum dimana proses penguraian bahan baku terjadi pada kondisi tanpa oksigen (Wicaksono et al., 2019). Berdasarkan metode pemasukan bahan baku, sistem produksi biogas dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu tipe batch dan tipe kontinyu (Yahya et al., 2018). Pada penelitian ini, tipe digester yang digunakan adalah tipe batch dengan kapasitas drum sebesar 30 liter. Sistem digester tipe batch menggunakan cara penggantian bahan baku yang dilakukan ketika produksi biogas telah berhenti dengan cara mengeluarkan bahan sisa dari suatu tangki pengolahan (Kusch et al., 2016). Gambar 1 merupakan bentuk digester yang digunakan pada penelitian.



Gambar 1. Bentuk Reaktor Digester

Dari Gambar 1 untuk bentuk reaktor digester perlu diperhatikan komposisi material yang akan digunakan dalam pembuatan bahan pengisi digester. Pada proses pembuatan bahan baku biogas menggunakan perbandingan antara massa air dengan massa bahan adalah 1:1. Total massa bahan baku pengisi biogas adalah 5 kg dan volume air yang digunakan adalah 5L. Perbandingan antara volume air dengan volume biostarter EM-4 adalah setiap 1L air, volume biostarter EM-4 yang digunakan adalah 1mL. Massa bahan baku biogas diukur dengan menggunakan timbangan analitik. Volume air diukur dengan menggunakan gelas

kimia dengan ukuran 500 mL. Volume biostarter EM-4 diukur dengan menggunakan gelas ukur 10 mL.

Dalam pengumpulan data kualitas biogas menggunakan data primer. Data primer merupakan data yang dikumpulkan langsung dari sumber utamanya. Pengumpulan data dilakukan selama 28 hari atau 4 minggu. Data tekanan gas dan data temperatur gas yang digunakan adalah minggu ke-1, minggu ke-2, minggu ke-3, dan minggu ke-4.

HASIL

Derajat keasaman suatu cairan diukur melalui nilai pH. Pengukuran pH dalam parameter kualitas biogas merupakan indikator yang digunakan sebagai sifat asam, netral, dan basa dari suatu bahan. pH sangat mempengaruhi proses pembentukan biogas. Biogas sudah dapat terbentuk pada pH 5 dan terus meningkat hingga pH 7, kemudian menurun pada pH 8. Nilai pH awal dan pH akhir masing-masing komposisi sampel pada variasi 50% AT:50%FK, 40%AT:60%FK, dan 30%AT:70%FK tanpa biostarter EM-4 dan dengan menggunakan biostarter EM-4 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai pH Awal dan pH Akhir pada Variasi Komposisi Campuran AT dan FK

Variasi Komposisi		Nilai pH		Syarat Standar pH optimum 5-8
		pH Awal	pH Akhir	
50%AT:50%FK	Tanpa EM-4	7.21	6.21	Memenuhi
	Menggunakan EM-4	6.43	6.04	Memenuhi
40%AT:60%FK	Tanpa EM-4	7.45	6.56	Memenuhi
	Menggunakan EM-4	6.94	6.11	Memenuhi
30%AT:70%FK	Tanpa EM-4	7.81	6.60	Memenuhi
	Menggunakan EM-4	6.99	6.53	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 2, nilai pH awal pada komposisi 50%AT:50%FK tanpa biostarter EM-4 adalah 7,21 dan pH akhir 6,21. Nilai pH awal pada komposisi 50%AT:50%FK dengan biostarter EM-4 adalah 6,43 dan pH akhir 6,04. Nilai pH awal pada komposisi 40%AT:60%FK tanpa biostarter EM-4 adalah 7,45 dan pH akhir adalah 6,56. Nilai pH awal pada komposisi 40%AT:60%FK dengan biostarter EM-4 adalah 6,94 dan pH akhir adalah 6,11. Nilai pH awal pada komposisi 30%AT:70%FK tanpa biostarter EM-4 adalah 7,81 dan pH akhir adalah 6,60. Nilai pH awal pada komposisi 30%AT:70%FK dengan biostarter EM-4 adalah 6,99 dan pH akhir 6,53.

Pengaruh komposisi biogas berupa jenis substrat yang digunakan sangat mempengaruhi hasil kualitas biogas. Terbukti dari nilai tekanan yang diukur menggunakan alat TPMS pada setiap sampel. Setiap sampel pada tekanan gas diperlakukan tanpa menggunakan biostarter EM-4 dan menggunakan biostarter EM-4.

Tabel 3 menunjukkan nilai tekanan biogas pada minggu ke-1, minggu ke-2, minggu ke-3, dan minggu ke-4 pada 50% AT: 50% FK, 40% AT: 60% FK, dan 30% AT: 70% FK tanpa biostarter EM-4 dan dengan biostarter EM-4.

Tabel 3. Nilai Tekanan Biogas pada Setiap Komposisi Sampel

Variasi Komposisi		Tekanan Gas (Psi)			
		Minggu ke-1	**Minggu ke-2**	**Minggu ke-3**	**Minggu ke-4**
50%AT:50%FK	Tanpa EM-4	0 Psi	1.1 Psi	1.4 Psi	1.5 Psi
	Menggunakan EM-4	1 Psi	1.3 Psi	2.2 Psi	2.3 Psi
40%AT:60%FK	Tanpa EM-4	0 Psi	1.1 Psi	1.5 Psi	2.2 Psi
	Menggunakan EM-4	1 Psi	1.4 Psi	2.3 Psi	2.5 Psi
30%AT:70%FK	Tanpa EM-4	1 Psi	1.1 Psi	1.5 Psi	2.3 Psi
	Menggunakan EM-4	1 Psi	1.5 Psi	2.5 Psi	2.6 Psi

Berdasarkan Tabel 3, nilai tekanan gas pada minggu ke-1 pada komposisi 50%AT:50%FK tanpa biostarter EM-4 dan komposisi 40%AT:60%FK tanpa biostarter EM-4 belum menghasilkan gas yang ditandai dengan nilai tekanan 0 Psi. Komposisi tanpa biostarter EM-4 pada minggu ke-1 yang menghasilkan gas hanya terdapat pada komposisi 30%AT:70%FK dengan nilai tekanan 1 Psi. Untuk semua komposisi dengan pemberian biostarter EM-4 pada minggu ke-1 sudah menghasilkan gas yang ditandai dengan tekanan 1 Psi.

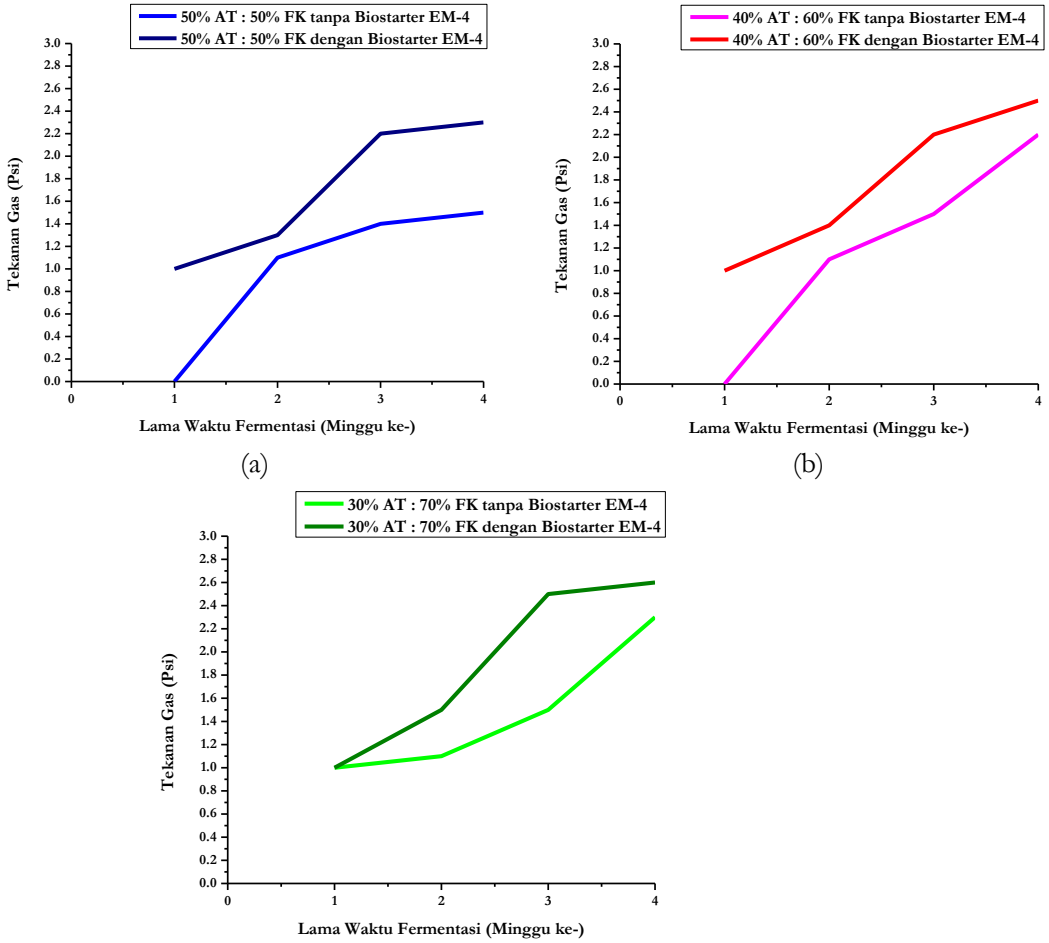
Komposisi tanpa biostarter EM-4 pada minggu ke-2 menghasilkan nilai tekanan gas sebesar 1,1 Psi. Sedangkan komposisi dengan biostarter EM-4 pada minggu ke-2 memiliki nilai tekanan gas yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa sampel dengan biostarter EM-4 mengalami proses pembentukan gas yang lebih cepat dibandingkan dengan sampel tanpa biostarter EM-4. Pada komposisi 50% AT:50% FK dengan EM-4 memiliki nilai tekanan sebesar 1,3 Psi, komposisi 40% AT:60% FK dengan EM-4 memiliki nilai tekanan sebesar 1,4 Psi, dan 30% AT:70% FK dengan EM-4 memiliki nilai tekanan sebesar 1,5 Psi.

Pada minggu ke-3, nilai tekanan tanpa biostarter meningkat. Komposisi 50%AT:50%FK tanpa biostarter EM-4 memiliki nilai tekanan sebesar 1,4 Psi. Komposisi

40%AT:60%FK tanpa biostarter EM-4 dan 30%AT:70%FK tanpa biostarter EM-4 memiliki nilai tekanan gas yang sama yaitu 1,5 Psi. Pada komposisi dengan biostarter EM-4 di minggu ke-3, nilai tekanan meningkat dibandingkan dengan nilai tekanan di minggu ke-2. Komposisi 50%AT:50%FK dengan biostarter EM-4 memiliki nilai tekanan sebesar 2,2 Psi. Pada komposisi 40%AT:60%FK dengan biostarter EM-4 nilai tekanan sebesar 2,3 Psi. Komposisi 30%AT:70%FK memiliki nilai tekanan sebesar 2,5 Psi.

Nilai tekanan gas pada minggu ke-4 setiap variasi komposisi sampel tanpa biostarter EM-4 dan menggunakan biostarter EM-4 mengalami peningkatan nilai tekanan gas. Pada komposisi 50%AT:50%FK tanpa biostarter EM-4 memiliki nilai tekanan gas sebesar 1,5 Psi, komposisi 40%AT:60%FK memiliki nilai tekanan gas sebesar 2,2 Psi, dan komposisi 30%AT:70%FK memiliki nilai tekanan gas sebesar 2,3 Psi. Nilai tekanan gas pada minggu ke-4 pada komposisi 50%AT:50%FK dengan biostarter EM-4 memiliki nilai tekanan gas sebesar 2,3 Psi, komposisi 40%AT:60%FK memiliki nilai tekanan gas sebesar 2,5 Psi, dan komposisi 30%AT:70%FK memiliki nilai tekanan gas sebesar 2,6 Psi.

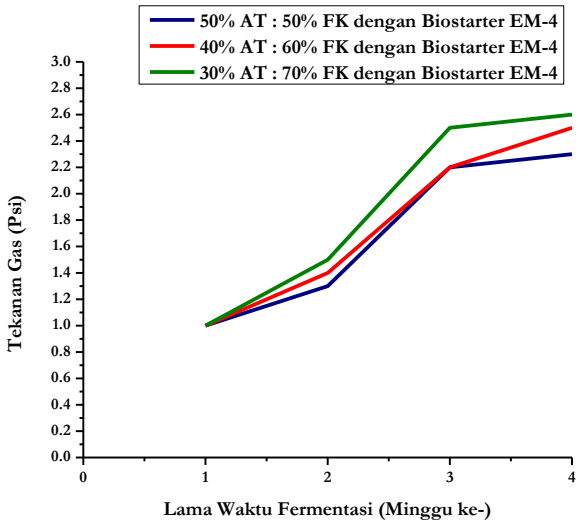
Hubungan antara lama waktu fermentasi dengan perubahan nilai tekanan gas pada minggu ke-1, minggu ke-2, minggu ke-3, dan minggu ke-4 selama penelitian pada komposisi 50%AT:50%FK, 40%AT:60%FK, dan 30%AT:70%FK tanpa biostarter EM-4 dan dengan menggunakan biostarter EM-4 ditunjukkan pada Gambar 2 dalam bentuk grafik.



Gambar 2. Nilai tekanan gas pada setiap minggu tanpa biostarter EM-4 dan menggunakan biostarter EM-4 (a) komposisi 50%AT:50%FK (b) komposisi 40%AT:60%FK (c) komposisi 30%AT:70% FK

Berdasarkan Gambar 2(a), 2(b), dan 2(c) nilai tekanan gas terbaik terdapat pada komposisi dengan biostarter EM-4. Setiap perubahan lamanya waktu proses fermentasi, komposisi dengan biostarter EM-4 mengalami kenaikan tekanan yang tinggi dan mengalami proses terbentuknya gas yang lebih cepat. Hal ini membuktikan bahwa biostarter EM-4 memiliki peranan sebagai pemercepat proses fermentasi pada biogas. Komposisi dengan penambahan biostarter EM-4 memiliki nilai tekanan gas yang tinggi dibandingkan dengan nilai tekanan gas pada komposisi tanpa biostarter EM-4. Dengan proses fermentasi yang lebih cepat, maka akan menghasilkan tekanan gas yang semakin tinggi.

Gambar 3. adalah grafik hubungan antara waktu fermentasi dan tekanan gas pada 50% AT: 50% FK, 40% AT: 60% FK, dan 30% AT: 70% FK menggunakan biostarter EM-4.



Gambar 3. Nilai tekanan gas menggunakan biostarter EM-4 pada setiap minggu untuk semua komposisi

Berdasarkan Gambar 3 pada variasi komposisi campuran ampas tebu dan kotoran kuda, komposisi terbaik hasil tekanan gas terdapat pada variasi komposisi 30%AT:70%FK. Komposisi 50%AT:50%FK memiliki nilai tekanan yang paling rendah. Peranan feses kuda dalam proses dekomposisi pada biogas adalah semakin banyak massa feses kuda yang digunakan, maka proses dekomposisi bahan isian digester juga semakin cepat. Sehingga dengan penambahan massa feses kuda dapat meningkatkan kualitas biogas. Semakin banyak komposisi massa feses kuda, maka akan menghasilkan gas yang lebih banyak ditunjukkan dengan nilai tekanan gas yang semakin tinggi.

Selain tekanan gas, komposisi bahan pengisi digester juga mempengaruhi nilai temperatur gas. Untuk menghasilkan gas metana, kondisi temperatur dipertahankan dalam keadaan optimum. Kemampuan bakteri hidup dalam proses produksi biogas berkisar pada temperatur mesofilik dengan kisaran temperatur 20℃-45℃. Kondisi temperatur di dalam digester tidak hanya mempengaruhi produksi biogas, tetapi juga mempengaruhi waktu untuk menghasilkan biogas pada nilai optimum. Nilai temperatur gas diukur dengan menggunakan alat TPMS. Setiap sampel pada suhu gas diberi perlakuan dengan menggunakan biostarter EM-4 dan tanpa menggunakan biostarter EM-4.

Tabel 4 menunjukkan nilai tekanan biogas pada minggu ke-1, minggu ke-2, minggu ke-3, dan minggu ke-4 pada 50%AT:50%FK, 40%AT:60%FK, dan 30%AT:70%FK tanpa biostarter EM-4 dan dengan biostarter EM-4.

Tabel 4. Nilai Temperatur Gas dalam Setiap Komposisi Sampel

Variasi Komposisi		Tekanan Gas (Psi)				Standar Suhu Optimum Biogas (20 ℃ -45 ℃)
		Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4	
50%AT:50%FK	Tanpa EM-4	24℃	25℃	26℃	28℃	Memenuhi
	Menggunakan EM-4	25℃	26℃	27℃	28℃	Memenuhi
40%AT:60%FK	Tanpa EM-4	25℃	26℃	27℃	28℃	Memenuhi
	Menggunakan EM-4	25℃	26℃	27℃	29℃	Memenuhi
30%AT:70%FK	Tanpa EM-4	25℃	26℃	27℃	29℃	Memenuhi
	Menggunakan EM-4	26℃	28℃	29℃	30℃	Memenuhi

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai temperatur yang dihasilkan termasuk dalam temperatur optimum dalam memproduksi gas. Perubahan nilai temperatur meningkat seiring dengan perubahan waktu pengamatan. Hal ini dipengaruhi oleh semakin besar nilai tekanan gas maka nilai temperatur gas yang dihasilkan juga semakin meningkat. Komposisi yang mengalami perubahan nilai temperatur yang cepat adalah komposisi 30%AT:70%FK dengan temperatur maksimum 30℃.

Pada minggu ke-1, komposisi 50%AT:50%FK tanpa menggunakan biostarter EM-4 memiliki nilai temperatur 24℃. Komposisi 40%AT:60%FK dan 30%AT:70%FK tanpa biostarter EM-4 memiliki nilai temperatur gas sebesar 25℃. Komposisi 50%AT:50%FK dan 40%AT:60%FK dengan biostarter EM-4 memiliki nilai temperatur gas yang sama yaitu 25℃. Komposisi 30%AT:70%FK dengan biostarter EM-4 memiliki nilai temperatur 26℃.

Nilai temperatur gas minggu ke-2 pada komposisi 50%AT:50%FK tanpa biostarter EM-4 memiliki nilai 25℃ dan menggunakan biostarter EM-4 memiliki nilai 26℃. Nilai temperatur gas pada komposisi 40%AT:60%FK tanpa biostarter EM-4 dan menggunakan biostarter EM-4 memiliki nilai temperatur yang sama yaitu 26℃. Nilai temperatur gas pada komposisi 30%AT:70%FK tanpa biostarter EM-4 memiliki nilai 26℃ dan menggunakan biostarter EM-4 memiliki nilai 28℃.

Nilai temperatur gas pada minggu ke-3 pada komposisi 50%AT:50%FK tanpa biostarter EM-4 memiliki nilai 26℃ dan menggunakan biostarter EM-4 adalah 26℃. Temperatur gas pada komposisi 40%AT:60%FK tanpa biostarter EM-4 dan menggunakan biostarter EM-4 memiliki nilai yang sama yaitu 27℃. Temperatur gas pada komposisi

30%AT:70%FK tanpa biostarter EM-4 memiliki nilai 27℃ dan menggunakan biostarter EM-4 29℃.

Nilai temperatur gas pada minggu ke-4 menunjukkan bahwa komposisi 50%AT:50%FK tanpa biostarter EM-4 dan menggunakan biostarter EM-4 memiliki nilai temperatur yang sama yaitu 28℃. Nilai temperatur gas pada komposisi 40%AT:60%FK tanpa biostarter EM-4 memiliki nilai 28℃ dan menggunakan biostarter EM-4 memiliki nilai 29℃. Pada komposisi 30%AT:70%FK tanpa biostarter EM-4 memiliki nilai temperatur gas 29℃ dan menggunakan biostarter EM-4 memiliki nilai 30℃.

Kualitas biogas juga memerlukan uji nyala api. Biogas ditandai dengan nyala api berwarna biru. Warna biru pada nyala api mengandung gas metana (CH4). Semakin banyak gas metana, semakin biru warna nyala api. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung pada konsentrasi gas metana (CH4). Kandungan energi (nilai kalor) akan semakin besar jika kandungan metana juga semakin tinggi. Sebaliknya, kandungan energi (nilai kalor) akan semakin kecil jika kandungan metana semakin rendah. Jika warna api menunjukkan warna kemerahan, maka kandungan gas metana kurang baik karena bercampur dengan kandungan gas karbondioksida (CO2).

Tabel 5 menunjukkan hasil warna dari uji nyala api pada biogas dengan komposisi 50%AT:50%FK, 40%AT:60%FK, dan 30%AT:70%FK dengan menggunakan biostarter EM-4 dan tanpa biostarter EM-4.

Variasi Komposisi		**Warna Nyala Api**
50%AT:50%FK	Tanpa EM-4	Biru Kemerahan
	Menggunakan EM-4	Biru
40%AT:60%FK	Tanpa EM-4	Biru Kemerahan
	Menggunakan EM-4	Biru
30%AT:70%FK	Tanpa EM-4	Biru
	Menggunakan EM-4	Biru

Berdasarkan Tabel 5, warna nyala api menunjukkan warna biru, namun komposisi 50% BF:50% HM tanpa biostarter EM-4 dan komposisi 40% BF:60% HM tanpa biostarter EM-4 menunjukkan warna biru kemerahan. Nyala api biru memiliki kandungan gas metana (CH4) yang baik, sedangkan warna biru kemerahan memiliki kandungan gas karbondioksida (CO2). Komposisi 50%BF:50%HM mengalami proses pembentukan gas yang lebih lama dibandingkan dengan komposisi lainnya. Sehingga pada minggu ke-4 dengan tekanan gas 1,5 Psi menghasilkan warna nyala api biru kemerahan.

PEMBAHASAN

Penelitian ini memiliki sampel sebanyak enam buah. Masing-masing sampel terdiri dari komposisi yang berbeda-beda. Komposisi sampel yang digunakan adalah 50%AT:50%FK, 40%AT:60%FK, dan 30%AT:70%FK tanpa menggunakan biostarter EM-4 dan menggunakan biostarter EM-4. Tujuan untuk dua jenis perlakuan ini adalah untuk menganalisis pengaruh pemberian EM-4 terhadap kualitas biogas dalam memproduksi gas. Digester yang digunakan pada penelitian ini merupakan digester tipe batch. Menurut penelitian (M. C. Santoso et al., 2019) digester tipe batch merupakan cara penggantian bahan yang dilakukan ketika produksi biogas telah berhenti dengan mengeluarkan sisa bahan dari suatu digester.

Untuk meneliti kualitas biogas yang dihasilkan penulis menggunakan variabel terikat mengenai pH sebelum bahan isian biogas dimasukkan ke dalam digester serta pH sesudah proses pembentukan biogas pada hari ke-28, tekanan biogas selama 28 hari, temperatur biogas selama 28 hari, uji nyala warna api setelah hari ke28. Alat ukur pH menggunakan pH meter digital, sedangkan alat ukur tekanan gas dan temperatur gas menggunakan TPMS (Tire Pressure Monitoring System). TPMS memiliki satuan ukur untuk tekanan adalah Psi dan Bar, sedangkan untuk temperatur satuan ukurnya adalah Celcius dan Fahreinheit. Parameter ukur terhadap kualitas biogas ini berdasarkan penelitian (Hendriyanto C & Nabila, 2021) yang mana pada penelitian ini juga mengamati lama waktu proses produksi biogas terhadap pH, tekanan gas, dan temperatur gas.

Nilai pH tanpa pemberian biostarter EM-4 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian biostarter EM-4. Biostarter EM-4 memiliki nilai pH 3,25 sehingga komposisi dengan biostarter EM-4 memiliki nilai pH yang lebih asam. Nilai pH awal masing-masing komposisi tanpa biostarter EM-4 dan menggunakan biostarter EM-4 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai pH akhir. Hal ini menunjukkan bahwa tahap pembentukan biogas telah melewati tahap pengasaman sehingga pH akhir memiliki nilai yang lebih asam. Sedangkan untuk pH awal masing-masing komposisi memiliki nilai yang mendekati nilai pH netral karena pengukuran pH dilakukan pada saat bahan pengisi biogas belum mengalami proses fermentasi di dalam digester anaerob. Nilai pH yang ideal untuk nilai pH akhir pada proses biogas adalah pada kisaran nilai 5-8 dan nilai ini sesuai dengan hasil penelitian untuk semua masing-masing komposisi. Pada nilai pH 5-8 bakteri metanogenik dalam proses fermentasi berada dalam keadaan optimal dan jumlah biogas yang

terbentuk menjadi maksimal. Hasil pH yang didapatkan sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Yonathan et al., 2013) bahwa biogas mulai terbentuk dari rentang pH 5 hingga pH 8.

Pengaruh komposisi biogas berupa jenis substrat yang digunakan sangat mempengaruhi hasil kualitas biogas, terbukti dengan nilai tekanan yang diukur menggunakan alat TPMS (Tire Pressure Monitoring System) pada masing-masing sampel. Setiap perubahan lama waktu proses fermentasi, komposisi dengan biostarter EM-4 mengalami peningkatan tekanan yang tinggi dan mengalami proses pembentukan gas yang lebih cepat. Hal ini membuktikan bahwa biostarter EM-4 memiliki peran sebagai akselerator proses fermentasi pada biogas. Komposisi dengan penambahan biostarter EM-4 memiliki nilai tekanan gas yang tinggi dibandingkan dengan nilai tekanan gas pada komposisi tanpa biostarter EM-4. Dengan proses fermentasi yang lebih cepat, maka akan menghasilkan tekanan gas yang lebih tinggi. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Muzakki, 2021) yang membahas tentang pengaruh penambahan biostarter EM-4 terhadap produksi biogas dari limbah cair industri tahu. Dari penelitian (Muzakki, 2021), kesimpulan dari penelitian tersebut adalah semakin lama waktu fermentasi pada konsentrasi penambahan biostarter EM-4, maka diperoleh data tekanan biogas yang dihasilkan semakin besar. Hal ini mengidentifikasikan bahwa biogas yang dihasilkan juga semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu fermentasi. Data penelitian yang dilakukan oleh (Muzakki, 2021) sesuai dengan hasil penelitian yang membuktikan bahwa biostarter EM-4 dapat mempengaruhi jumlah gas yang dihasilkan yang ditandai dengan semakin meningkatnya nilai tekanan gas pada setiap perubahan lama waktu fermentasi.

Peranan kotoran kuda dalam proses dekomposisi pada biogas adalah semakin banyak massa kotoran kuda yang digunakan, maka semakin cepat pula proses dekomposisi bahan pengisi digester. Sehingga penambahan massa kotoran kuda dapat meningkatkan kualitas biogas. Semakin banyak komposisi massa kotoran kuda, maka akan menghasilkan gas yang lebih banyak yang ditunjukkan dengan nilai tekanan gas yang semakin tinggi. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Tricia et al., 2017) tentang pengujian potensi biogas eceng gondok dengan jeroan lele dan kotoran kuda, komposisi dengan pemberian massa kotoran kuda 75% menghasilkan volume gas paling tinggi, tekanan gas paling tinggi, dan warna nyala api paling biru. Sedangkan pada pemberian massa kotoran kuda 25% tidak menghasilkan gas yang dibuktikan dengan uji nyala api yang tidak menyala. Dari penelitian (Tricia et al., 2017) membuktikan bahwa semakin banyak massa kotoran kuda yang

digunakan, maka gas yang dihasilkan semakin banyak dengan nilai tekanan yang semakin tinggi.

Selain tekanan gas, komposisi bahan isian digester juga mempengaruhi nilai temperatur gas. Untuk menghasilkan gas metana, maka kondisi temperatur dijaga dalam keaadaan optimum (Wicaksono, 2015). Kondisi temperatur pada digester tidak hanya mempengaruhi produksi biogas, namun juga mempengaruhi waktu untuk menghasilkan biogas pada nilai optimum. Nilai temperatur gas diukur menggunakan alat TPMS. Masing-masing sampel pada temperatur gas mendapatkan perlakuan menggunakan biostarter EM-4 dan tanpa menggunakan biostarter EM-4.

Nilai temperatur yang terdapat pada setiap komposisi bahan campuran tanpa biostarter EM-4 dan dengan menggunakan biostarter EM-4 telah memenuhi standar kualitas biogas. Indikator kualitas yang baik memiliki nilai temperatur pada kisaran 20℃-45℃ (Irawan & Ridhuan, 2017). Bakteri mesofilik dapat bekerja secara optimal pada kisaran suhu tersebut untuk menghasilkan gas. Pada indikator suhu, peran biostarter EM-4 dan pupuk kandang kuda tidak mempengaruhi. Nilai suhu dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Sehingga untuk menjaga suhu optimum, digester ditempatkan pada tempat yang aman. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Irawan & Ridhuan, 2017) tentang pengaruh temperatur mesofilik terhadap laju alir biogas dan uji nyala api dengan menggunakan bahan baku limbah kolam ikan gurame menunjukkan bahwa variasi temperatur yang digunakan dengan temperatur 30℃, 35℃, dan 40℃ sama-sama menghasilkan uji nyala api yang berwarna biru. Warna nyala api ini membuktikan bahwa nilai temperatur tidak mempengaruhi jumlah gas yang dihasilkan. Namun, nilai temperatur tetap harus dijaga pada kisaran temperatur mesofilik agar bakteri penghasil gas metan tetap dapat bekerja dan menghasilkan gas metan yang optimal.

Pada kualitas biogas juga diperlukan uji nyala api. Biogas memiliki karakter dengan nyala api yang berwarna biru. Warna biru pada api memiliki kandungan gas metana (CH4). Warna nyala api merupakan indikator dalam menentukan kualitas biogas dengan kandungan gas yang terdapat di dalam digester biogas. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Yenni et al., 2019) jika gas langsung terbakar dan warna nyala api yang dihasilkan berwarna biru, maka gas yang dihasilkan berkualitas baik, jika biogas lebih banyak mengandung gas-gas pengotor lainnya maka warna nyala api yang dihasilkan cenderung kemerahan. Jika nyala api hampir tidak terlihat (tidak menyala) menandakan bahwa kandungan metana dalam biogas yang terbentuk masih sangat sedikit.

Uji warna nyala api menunjukkan kandungan energi yang terkandung dalam biogas. Berdasarkan hasil pengujian Tabel 5, peran kotoran kuda terhadap warna nyala api adalah semakin besar massa kotoran kuda dalam campuran komposisi pengisian digester, maka warna nyala api semakin biru. Nyala api berwarna biru menandakan kandungan energi (nilai kalor) yang terkandung dalam biogas semakin besar. Nyala api biru memiliki panjang gelombang yang lebih kecil daripada nyala api biru kemerahan. Panjang gelombang nyala api biru berada pada kisaran 425nm-450nm. Sementara itu, panjang gelombang nyala api biru kemerahan berada pada kisaran 600nm-700nm (J. Santoso et al., 2020). Nilai energi kandungan gas bergantung pada nilai panjang gelombang warna nyala api. Semakin kecil nilai panjang gelombang, maka semakin besar nilai frekuensinya dan semakin besar pula nilai energi (panas) yang terkandung di dalam biogas. Semakin besar nilai panjang gelombang, maka semakin kecil nilai frekuensi dan semakin kecil pula nilai energi (kalor) yang terkandung di dalam kandungan biogas tersebut (Tricia et al., 2017).

KESIMPULAN

Biostarter EM-4 dan kotoran kuda memiliki peran penting dalam proses produksi biogas. Nilai pH dengan pemberian biostarter EM-4 lebih asam karena kandungan nilai pH pada biostarter EM-4 adalah 3,25. EM-4 memiliki peran untuk mempercepat proses fermentasi. Kualitas biogas dengan penggunaan biostarter EM-4 lebih cepat menghasilkan gas dan menghasilkan gas yang lebih banyak dibandingkan dengan kualitas biogas tanpa penggunaan biostarter EM-4. Semakin cepat proses fermentasi, maka tekanan gas yang dihasilkan juga semakin besar. Peranan kotoran kuda dalam menghasilkan gas adalah semakin banyak massa kotoran kuda yang dicampurkan dengan ampas tebu, maka gas metana yang dihasilkan semakin banyak dan tekanan gas yang dihasilkan semakin tinggi. Suhu tidak dipengaruhi oleh aplikasi biostarter EM-4 dan kotoran kuda. Namun suhu dipengaruhi oleh suhu lingkungan sehingga diperlukan tempat yang aman agar suhu di dalam digester tetap terjaga dalam keadaan optimum. Nilai uji nyala api dipengaruhi oleh massa kotoran kuda dan biostarter EM-4. Warna nyala api dengan biostarter EM-4 menghasilkan nyala api berwarna biru. Peran kotoran kuda terhadap nyala api adalah semakin besar massa kotoran kuda dalam komposisi bahan campuran isi digester maka warna nyala api semakin biru. Nyala api berwarna biru mengindikasikan kandungan energi (nilai kalor) yang lebih besar daripada nyala api berwarna biru kemerahan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka peneliti menyarankan dalam melakukan preparasi sampel serat ampas tebu, sebaiknya menggunakan mesin pencacah ampas tebu sehingga ukuran ampas tebu berbentuk serbuk. Dengan demikian serat ampas tebu akan mudah larut dan tidak terlalu menyerap air.

DAFTAR PUSTAKA

Alfa, M. I., Owamah, H. I., Onokwai, A. O., Gopikumar, S., Oyebisi, S. O., Kumar, S. S., Bajar, S., Samuel, O. D., & Ilabor, S. C. (2021). Evaluation of biogas yield and kinetics from the anaerobic co-digestion of cow dung and horse dung: a strategy for sustainable management of livestock manure. *Energy, Ecology and Environment*, *6*(5), 425–434. https://doi.org/10.1007/s40974-020-00203-0

Darmanto, A., Soeparman, S., & Widhiyanuriawan, D. (2019). Pengaruh Kondisi Temperatur Mesophilic (35°C) Dan Thermophilic (55°C) Anaerob Digester Kotoran Kuda Terhadap Produksi Biogas. *Jurnal Rekayasa Mesin*, *3*(2), 317–326.

Egerland Bueno, B., Rosero Henao, J. C., Rabelo, S. C., Gomes, T. M., Ribeiro, R., & Tommaso, G. (2021). Methane production from anaerobic digestion of dairy grease trap waste: Effect of sugarcane bagasse addition. *Environmental Quality Management*, *31*(1), 73–83. https://doi.org/10.1002/tqem.21740

Eswanto, Ilmi, & Siahaan, A. R. (2018). Analisa Reaktor Biogas Campuran Limbah Kotoran Kambing Dengan Jerami Dan Em4 Sistem Menetap. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, *12*(1), 40–46. https://jurnal.umj.ac.id/index.php/sintek/article/view/2626

Hadin, Å., & Eriksson, O. (2016). Horse manure as feedstock for anaerobic digestion. *Waste Management*, *56*, 506–518. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.023

Hadin, Å., Eriksson, O., & Hillman, K. (2016). A review of potential critical factors in horse keeping for anaerobic digestion of horse manure. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *65*, 432–442. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.058

Hadin, Å., Hillman, K., & Eriksson, O. (2017). Prospects for increased energy recovery from horse manure - A case study of management practices, environmental impact and costs. *Energies*, *10*(12). https://doi.org/10.3390/en10121935

Hansupalak, N., Piromkraipak, P., Tamthirat, P., Manitsorasak, A., Sriroth, K., & Tran, T. (2016). Biogas reduces the carbon footprint of cassava starch: a comparative assessment with fuel oil. *Journal of Cleaner Production*, *134*(Part B), 539–546. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.138

Hartono, D., & Maharani, J. (2021). The Impact of Biogas Utilization on Poverty in Indonesia. *Jurnal Perencanaan Pembangunan: The Indonesian Journal of Development Planning*, *5*(2), 230–249. https://doi.org/10.36574/jpp.v5i2.201

Irawan, D., & Ridhuan, K. (2017). Pengaruh Temperatur Mesofilik Terhadap Laju Aliran Biogas Dan Uji Nyala Api Menggunakan Bahan Baku Limbah Kolam Ikan Gurame. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, *5*(2), 76–81. https://doi.org/10.24127/trb.v5i2.238

Kusch, S., Oechsner, H., & Jungbluth, T. (2016). Biogas production with horse dung in solid-phase digestion systems. *Bioresource Technology*, *99*(5), 1280–1292. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.02.008

Lestari, A. S., Chaidir, Z., & Tetra, O. N. (2017). Produksi Biogas Dari Limbah Cair Tahu Dengan Menggunakan Starter Kotoran Kuda. *Kimia FMIPA Unand*, *1*, 1–5.

Mahajoeno, E., D, L., & Inpurwanto. (2015). Scale Up Produksi Biogas Dari Biomassa Limbah Peternakan Ayam dan Enceng Godok Dalam Digester Anaerob Sistem Kontinyu. *Seminar Nasional X Pendidikan Bilogi FKIP UNS*, *Heyne 1987*. https://media.neliti.com/media/publications/172231-ID-none.pdf

Muzakki, Jamiluddin Ahmad. (2021). *Cermin : Jurnal Penelitian Pengaruh Penambahan Bioaktivator Em-4 Terhadap Produksi Biogas Dari Limbah Cair Industri Tahu The Effect Of Additional Em-4 Bioactivator On Biogas Production From Tofu Industrial Liquid Waste Pendahuluan Jumlah industri tahu di* . *5*, 362–372.

Mönch-Tegeder, M., Lemmer, A., & Oechsner, H. (2015). Enhancement of methane production with horse manure supplement and pretreatment in a full-scale biogas process. *Energy*, *73*, 523–530. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.051

Nasution, A. Y., Hidayat, G., & Sabio, A. I. (2020). Analysis Of Biogas Pressure Based On Mass Variation Of Raw Material Using 150 L / Tank Digester Capacity. *Suara Teknik : Jurnal Ilmiah*, *11*(1), 45. https://doi.org/10.29406/stek.v11i1.1944

Octaviani, N. S., & Semin, S. (2018). Technical Overview Of Biogas Utilization as Fuel of Boat Engine. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, *2*(2), 171–175. https://doi.org/10.12962/j25481479.v2i2.3654

Putri, D. A., Saputro, R. R., & Budiyono. (2019). Biogas production from cow manure. *International Journal of Renewable Energy Development*, *1*(2), 61–64. https://doi.org/10.14710/ijred.1.2.61-64

Rambe, M. A. A., Fauzi, F., & Khanifa, S. (2017). Pemanfaatan Limbah Serat Ampas Tebu (Saccharum Officinarum) Sebagai Bahan Baku Genteng Elastis. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, *5*(2), 61. https://doi.org/10.29103/jtku.v5i2.90

Riswanto, R., & Sodikin, S. (2018). Potential of Renewable Energy Biogas from Plant (Hyacinth). *Journal of Physics: Theories and Applications*, *2*(2), 64. https://doi.org/10.20961/jphystheor-appl.v2i2.30668

Riyanta, A. B., Harapan, P., & Tegal, B. (2017). *592-1736-1-Sp*. *6*, 175–180.

Santoso, J., Suhardjono, H., & Wattimury, A. (2020). *The Study of Color Spectrum Curs Value Against Sunlight Color and Artificial Light for Plant Growth*. *2020*, 11–22. https://doi.org/10.11594/nstp.2020.0602

Santoso, M. C., Giriantari, I. A. D., & Ariastina, W. G. (2019). Studi Pemanfaatan Kotoran Ternak Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Di Bali. *Spektrum*, *6*(4), 58–65.

Saputra, T., Triatmojo, S., & Pertiwiningrum, A. (2017). Produksi biogas dari campuran feses sapi dan ampas tebu. *Buletin Peternakan*, *34*(2), 114–122.

Tricia, M. I., Widiastuti, I., & Lestari, S. (2017). "Uji Potensi Biogas Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) dengan Jeroan Ikan Patin (Pangasius sp.) dan Kotoran Kuda." *Jurnal Teknologi*, *6*(1), 56–68.

Wicaksono, A., Amalia, A., & Elvian Gayuh Prasetya, H. (2019). Pengaruh Penambahan EM4 Pada Pembuatan Biogas dengan Bahan Baku Kotoran Sapi Menggunakan

Digester Fix Dome Sistem Batch. *Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan Dan Infrastruktur*, *2*, A5.1-A5.7. https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin

Yahya, Y., Tamrin, T., & Triyono, S. (2018). Produksi Biogas Dari Campuran Kotoran Ayam, Kotoran Sapi, Dan Rumput Gajah Mini (Pennisetum Purpureum Cv. Mott) Dengan Sistem Batch. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, *6*(3), 151. https://doi.org/10.23960/jtep-l.v6i3.151-160

Yenni, Dewilda, Y., & Mutia Sari, S. (2019). Uji Pembentukan Biogas Dari Substrat Sampah Sayur Dan Buah Dengan Ko-Substrat Limbah Isi Rumen Sapi. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, *9*(1), 26–36.

Yonathan, A., Prasetya, A. R., Pramudono, B., & Dkk. (2013). Produksi Biogas Dari Eceng Gondok (Eicchornia Crassipes) : Kajian Konsistensi Dan Ph Terhadap Biogas Dihasilkan. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, *2*(2), 211–215.

Yusuf, M. O. L., Debora, A., & Ogheneruona, D. E. (2016). Ambient temperature kinetic assessment of biogas production from co-digestion of horse and cow dung. *Research in Agricultural Engineering*, *57*(3), 97–104. https://doi.org/10.17221/25/2010-rae

Z.Harahap, Afni, Hafni, F., Anggreani S, S., & Rajagukguk, J. (2016). Kajian Pendekatan Persamaan Maxwell-Boltzmann Pada Energi Biogas. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Dan Teknologi Informasi SNITI-3*, *53*(9), 1739–1746.