

e-ISSN : 3031-0342
Diterima : 22 Januari 2026
Disetujui : 26 Maret 2026
Tersedia online di <https://journal.unram.ac.id/index.php/agent>

EFEKTIVITAS PENGGUNAAN ZEOLIT DAN ARANG AKTIF PADA PROSES PEMURNIAN BIOGAS KOTORAN SAPI

The Effectiveness Of Zeolite And Activated Charcoal Use In The Purification Process Of Cow Manure Biogas

Madinah^{1*}, Murad², Mi'raj Fuadi²

¹Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram

email*): madinahmadi123@gmail.com

ABSTRACT

This study examines the effectiveness of zeolite and activated carbon as adsorbent materials in the purification process of biogas produced from cattle manure, which generally still contains impurity gases such as carbon dioxide (CO₂) and hydrogen sulfide (H₂S) that can reduce calorific value and cause corrosion in equipment. The aim of this research is to increase methane (CH₄) concentration and optimize the utilization of biogas as a renewable energy source. An experimental study was conducted at CV. Berkah Sejati Farm, West Lombok, with three treatment variations: unpurified biogas, biogas purified using activated carbon, and biogas purified using a combination of activated carbon and zeolite. The results showed that the purification process had a significant effect on improving biogas quality. Activated carbon reduced the H₂S concentration from 407 ppm to 101 ppm, while the combination of activated carbon and zeolite reduced H₂S to 97 ppm and decreased CO₂ concentration from 9,527 ppm to 859 ppm. The CH₄ concentration remained relatively stable, indicating that the improvement in biogas quality was mainly due to the reduction of impurity gases. Furthermore, the fastest combustion rate was observed in biogas purified using activated carbon, with a heating time of 5.85–6.10 minutes. The ANOVA analysis showed that the calculated F-value was greater than the F-table value at a 5% significance level. In addition, the flame color changed from reddish to bright blue, indicating a more efficient combustion process. Overall, the combination of zeolite and activated carbon proved to be the most effective in enhancing biogas purity and has strong potential to be applied as an economical and environmentally friendly purification technology that supports the development of clean and sustainable energy in Indonesia.

Keywords: *activated charcoal; biogas; purification; renewable energy; zeolite*

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji efektivitas zeolit dan arang aktif sebagai bahan adsorben dalam proses pemurnian biogas yang dihasilkan dari kotoran sapi, yang umumnya masih mengandung gas pengotor seperti karbon dioksida (CO₂) dan hidrogen sulfida (H₂S) yang dapat menurunkan nilai kalor serta menyebabkan korosi pada peralatan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan konsentrasi metana (CH₄) dan mengoptimalkan pemanfaatan biogas sebagai sumber energi terbarukan, penelitian eksperimental dilakukan di CV. Berkah Sejati Farm, Lombok Barat, dengan tiga variasi perlakuan yaitu: biogas tanpa pemurnian, pemurnian menggunakan arang aktif, dan kombinasi arang aktif serta zeolit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pemurnian berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kualitas biogas. Arang aktif mampu menurunkan kadar H₂S dari 407 ppm menjadi 101 ppm, sedangkan kombinasi arang aktif dan zeolit menurunkan

kadar H_2S hingga 97 ppm dan CO_2 dari 9527 ppm menjadi 859 ppm. Konsentrasi CH_4 relatif stabil, yang menunjukkan bahwa peningkatan kualitas biogas terutama disebabkan oleh berkurangnya gas pengotor. Selain itu, laju pembakaran tercepat diperoleh pada biogas hasil pemurnian dengan arang aktif dengan waktu pemanasan 5,85–6,10 menit. Pada hasil analisis menggunakan ANOVA, nilai f -hitung lebih besar dibandingkan f -tabel pada taraf signifikansi 5%. Dan pada warna nyala api berubah dari kemerahan menjadi biru terang, menandakan proses pembakaran yang lebih efisien. Secara keseluruhan, kombinasi zeolit dan arang aktif terbukti paling efektif dalam meningkatkan kemurnian biogas serta memiliki potensi besar untuk diterapkan sebagai teknologi pemurnian yang ekonomis, ramah lingkungan, dan mendukung pengembangan energi bersih dan berkelanjutan di Indonesia.

Kata Kunci: arang aktif; biogas; energi terbarukan; pemurnian; purifikasi; zeolit

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang kaya akan potensi energi baru terbarukan yang tersebar luas di berbagai daerah dan belum dimanfaatkan secara optimal. Salah satu sumber energi tersebut berasal dari sektor peternakan yang menghasilkan limbah kotoran sapi dalam jumlah besar. Kotoran sapi memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku biogas yang ramah lingkungan, terbarukan, dan dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Namun, biogas yang dihasilkan dari kotoran sapi umumnya masih mengandung gas pengotor seperti karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S) yang dapat menurunkan nilai kalor dan merusak peralatan. Oleh karena itu, proses pemurnian biogas menjadi sangat penting untuk meningkatkan kadar metana (CH_4) agar biogas dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber energi alternatif. Penggunaan kombinasi zeolit dan arang aktif terbukti efektif dalam mengurangi kandungan gas pengotor (Gemala & Ulfah, 2020).

Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang dihasilkan melalui penguraian bahan organik seperti kotoran sapi dalam kondisi anaerobik. Biogas ini umumnya mengandung gas metana (CH_4) sekitar 55–70%, karbon dioksida (CO_2) sebesar 30–45%, serta gas pengotor seperti hidrogen sulfida (H_2S) dan uap air dalam jumlah kecil. Kandungan CO_2 dan H_2S yang tinggi pada biogas dapat menurunkan nilai kalor, mengurangi efisiensi pembakaran, serta mempercepat korosi pada peralatan dan pipa distribusi. Oleh karena itu, proses pemurnian biogas menjadi tahap yang sangat penting untuk meningkatkan kualitas dan nilai guna biogas sebagai bahan bakar yang lebih bersih dan efisien. Salah satu metode pemurnian yang efektif adalah dengan menggunakan kombinasi adsorben seperti zeolit dan arang aktif, yang mampu menyerap CO_2 dan H_2S secara optimal (Rajagukguk & Wisnu, 2019).

Meningkatkan kualitas biogas melalui proses pemurnian adalah langkah krusial untuk memastikan bahwa biogas yang dihasilkan dapat digunakan secara optimal sebagai sumber energi. Proses purifikasi bertujuan untuk menghilangkan komponen pengotor, seperti karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S), dan uap air, yang dapat mengurangi nilai kalor dan mempengaruhi kinerja sistem pembakaran. Salah satu metode yang efektif dalam pemurnian biogas adalah penggunaan zeolit dan arang aktif. Zeolit, dengan struktur porositasnya yang tinggi, mampu menyerap gas-gas pengotor, sementara arang aktif berfungsi sebagai media penyerap yang efektif untuk menghilangkan senyawa-senyawa berbahaya. Dengan menerapkan kedua bahan ini dalam proses pemurnian, diharapkan kualitas biogas dapat ditingkatkan, sehingga kandungan metana (CH_4) meningkat dan menjadikannya lebih efisien sebagai sumber energi terbarukan. Selain itu, proses purifikasi yang baik juga dapat memperpanjang umur peralatan yang digunakan dalam sistem pembakaran, sehingga memberikan manfaat jangka panjang bagi pengguna (Fourqoniah et al., 2023).

Penggunaan kombinasi zeolit dan arang aktif sebagai media sintesis biogas menawarkan solusi yang efektif dan ekonomis dalam meningkatkan kualitas biogas. Zeolit, dengan struktur kristal berpori dan kemampuan pertukaran kation yang tinggi, sangat efektif dalam menyerap karbon dioksida (CO_2) dan molekul polar lainnya. Sementara itu, arang aktif dengan luas permukaan yang

besar dan sifat adsorpsi yang kuat, mampu mengikat senyawa-senyawa berbahaya seperti hidrogen sulfida (H_2S). Kombinasi kedua material ini dalam sistem pemurnian biogas dapat bekerja secara sinergis—zeolit mengurangi kandungan CO_2 untuk meningkatkan konsentrasi metana (CH_4), sedangkan arang aktif menghilangkan kontaminan korosif yang berpotensi merusak peralatan. Selain itu, kedua bahan ini relatif mudah diperoleh dan dapat diregenerasi, sehingga mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang. Dengan demikian, diharapkan dapat memberikan solusi yang praktis dan berkelanjutan bagi pengembangan biogas skala rumah tangga maupun industri kecil di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian mengenai efektivitas penggunaan zeolit dan arang aktif dalam proses pemurnian biogas menjadi sangat penting untuk meningkatkan kualitas biogas dan memaksimalkan potensi energi yang dihasilkan.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis laju pembakaran pada biogas, mengetahui daya serap zeolit dan arang aktif terhadap gas pengotor (CO_2) dan (H_2S) dan mengevaluasi efektivitas kombinasi zeolit dan arang aktif dalam meningkatkan kualitas biogas melalui penurunan kadar CO_2 dan H_2S serta peningkatan kandungan CH_4 .

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di CV. Berkah Sejati Farm yang berlokasi di Kelurahan Dasan Geres, Kecamatan Gerung, Kabupaten Lombok Barat. Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Juli hingga Agustus 2025.

Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, Digester Biogas aktif kapasitas $\pm 1 m^3$, Gas Detector CO_2 (GCH-2018) dan Gas Detector H_2S (ST8990), Manometer, Gas Detector CH_4 (NM-390), Timbangan digital, Tabung filtrasi diameter 4 inch, panjang ± 50 cm dan alat dokumentasi (Kamera/smartphone). Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, Kotoran sapi, Air bersih (Rasio campuran 1:1), Zeolit 4,4 kg dan Arang aktif 1,5 kg.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental di mana penelitian dilakukan dengan mengukur secara langsung di lapangan.

Parameter Penelitian

Beberapa parameter yang diukur dalam penelitian ini, yaitu Gas Metana, Hidrogen Sulfida, Karbon Dioksida, Laju Pembakaran Biogas dan Warna Nyala Api.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dimulai dari persiapan alat dan bahan, proses purifikasi biogas, pengukuran kadar gas metana, pengukuran kadar gas hidrogen sulfida, pengukuran kadar gas karbon dioksida, uji laju pembakaran dan pengamatan warna nyala api.

Analisis Data Penelitian

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan zeolit dan arang aktif dalam meningkatkan kualitas biogas kotoran sapi. Perhitungan efektivitas dilakukan dengan membandingkan konsentrasi masing-masing gas sebelum dan sesudah proses pemurnian. Parameter yang dianalisis meliputi peningkatan kadar CH_4 serta penurunan kadar CO_2 dan H_2S . Persentase efektivitas dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Efektifitas persentase penurunan} = \frac{\text{Kadar Gas Sebelum} - \text{Kadar Gas sesudah}}{\text{Kadar Gas Sebelum}} 100\% \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Efektifitas persentase kenaikan} = \frac{\text{Kadar Gas Sesudah} - \text{Kadar Gas sebelum}}{\text{Kadar Gas Sebelum}} 100\% \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{Laju Pembakaran} = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (3)$$

Melalui perhitungan ini, dapat diketahui efisiensi proses pembakaran dari masing-masing perlakuan biogas. Semakin besar nilai L, maka semakin cepat energi panas yang dihasilkan oleh biogas dalam memanaskan air, sehingga menunjukkan kualitas pembakaran yang lebih baik (Mara & Alit, 2011).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gas Metana (CH₄)

Metana (CH₄) merupakan komponen utama penyusun biogas dengan kisaran normal 55–70% dari total volume gas. Kadar metana yang tinggi menjadi indikator penting kualitas biogas karena berbanding lurus dengan nilai kalor yang dihasilkan. Semakin besar kandungan CH₄, semakin tinggi daya bakar biogas sehingga lebih efisien digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Sebaliknya, rendahnya kadar metana akan mengurangi kualitas pembakaran, membuat nyala api kurang stabil, dan menurunkan nilai guna biogas secara keseluruhan.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Gas Metana (CH₄)

Parameter	Non Purifikasi			Purifikasi Arang Aktif			Purifikasi Kombinasi		
	u1	u2	u3	u1	u2	u3	u1	u2	u3
CH ₄ (mol)	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999

Berdasarkan hasil pengukuran, kadar metana (CH₄) pada biogas menunjukkan nilai yang stabil di angka 9999 ppm pada seluruh perlakuan, baik pada kondisi tanpa pemurnian, pemurnian dengan arang aktif, maupun kombinasi arang aktif dan zeolit. Tidak adanya perbedaan signifikan ini mengindikasikan bahwa proses purifikasi tidak secara langsung meningkatkan kandungan metana yang terukur secara absolut. Namun bisa mengurangi gas pengotor seperti H₂S dan CO₂. Alat pengukur yang digunakan dalam penelitian ini memiliki batas maksimum pembacaan hingga 9999 ppm. Oleh karena itu, apabila kadar gas yang terukur berada pada nilai maksimum tersebut, tidak menutup kemungkinan bahwa konsentrasi sebenarnya melebihi batas kemampuan alat. Kondisi ini mengindikasikan bahwa data yang terbaca merupakan nilai maksimum alat, bukan nilai absolut konsentrasi gas di dalam sistem. Dengan demikian, hasil pengukuran tersebut perlu diinterpretasikan dengan mempertimbangkan keterbatasan rentang ukur sensor, sehingga kemungkinan nilai sebenarnya lebih tinggi dari hasil yang ditampilkan tetap terbuka.

Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu komponen utama pengotor dalam biogas yang umumnya berkisar 30–45% dari total gas. Kandungan CO₂ yang tinggi akan menurunkan kualitas biogas karena sifatnya yang inert sehingga tidak berkontribusi pada proses pembakaran. Semakin besar kadar CO₂, semakin rendah nilai kalor biogas yang dihasilkan, dan nyala api yang terbentuk cenderung berwarna kemerahan dengan panas yang kurang optimal. Oleh sebab itu, proses pemurnian biogas sangat penting dilakukan untuk menurunkan kadar CO₂ agar proporsi metana (CH₄) dalam biogas menjadi lebih dominan.

Tabel 2. Analisis Penurunan Kadar CO₂ pada Biogas

Perlakuan	Ulangan			Jumlah	Rata-Rata
	1	2	3		
Non Purifikasi	8.760	9.078	9.527	27.365	9.122
Arang Aktif	5.399	5.565	5.817	16.781	5.594
Kombinasi	892	876	859	2.627	876
Total				46.773	7.796

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kadar karbon dioksida (CO_2) pada biogas tanpa pemurnian sangat tinggi, yaitu berada pada kisaran 8760–9527 ppm. Nilai ini mengindikasikan bahwa biogas yang dihasilkan masih memiliki kualitas rendah karena dominasi gas pengotor yang besar. Tingginya kandungan CO_2 menyebabkan nilai kalor biogas rendah serta membuat pembakaran kurang efisien. Setelah dilakukan proses pemurnian menggunakan arang aktif, kadar CO_2 mengalami penurunan cukup signifikan menjadi 5399–5817 ppm. Penurunan ini membuktikan bahwa arang aktif memiliki kemampuan adsorpsi terhadap CO_2 , meskipun efektivitasnya masih terbatas karena sifat arang aktif yang lebih dominan dalam menyerap H_2S dibandingkan CO_2 . Perlakuan terbaik diperoleh pada pemurnian menggunakan kombinasi arang aktif dan zeolit, di mana kadar CO_2 turun drastis hingga berada pada kisaran 859–892 ppm.

Tabel 3. ANOVA Rancangan Acak Lengkap (RAL) CO_2

SK	DB	JK	KT	F _{hit}	F _{tab}	
					0,05	0,01
<u>Perlakuan</u>	2	102.702.824	51.351.412	798	5	1
<u>Galat/eror</u>	6	386.144	64.357			
Total	8	103.088.968				

Pada Tabel 3 menunjukkan hasil analisis ragam bahwa perlakuan pemurnian biogas memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap penurunan kadar CO_2 dan H_2S . Hal ini ditunjukkan oleh nilai Fhitung yang lebih besar dibandingkan Ftabel pada taraf signifikansi 5%, serta keterangan hasil uji yang menunjukkan perbedaan sangat nyata ($p < 0,01$). Dengan demikian, hipotesis nol (H_0) yang menyatakan bahwa tidak terdapat perbedaan pengaruh antar perlakuan ditolak, sedangkan hipotesis alternatif (Oktarina et al., 2023)

Hidrogen Sulfida

Hidrogen sulfida (H_2S) merupakan salah satu gas pengotor utama dalam biogas yang bersifat sangat beracun, korosif, dan menimbulkan bau menyengat. Kandungan H_2S dalam biogas biasanya berada pada rentang 50–5000 ppm tergantung bahan baku dan kondisi fermentasi. Kehadiran H_2S dalam jumlah tinggi sangat merugikan karena selain menurunkan kualitas biogas, juga dapat mempercepat proses korosi pada pipa, kompor, maupun peralatan lain yang digunakan dalam sistem pemanfaatan biogas. Dalam konteks pembakaran, H_2S tidak memberikan kontribusi pada nilai kalor, bahkan justru menurunkan efisiensi karena dapat bereaksi menghasilkan senyawa berbahaya seperti sulfur dioksida (SO_2). Oleh sebab itu, penghilangan H_2S menjadi salah satu target utama dalam proses pemurnian biogas.

Tabel 4. Analisis Penurunan Kadar H_2S pada Biogas

<u>Perlakuan</u>	<u>Ulangan</u>			<u>Jumlah</u>	<u>Rata-Rata</u>
	1	2	3		
Non Purifikasi	407	404	398	1.209	403
Arang Aktif	104	103	101	308	103
Kombinasi	100	99	97	296	99
Total				1.813	302

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kadar hidrogen sulfida (H_2S) pada biogas tanpa pemurnian berada pada kisaran 398–407 ppm. Nilai ini cukup tinggi dan berpotensi menurunkan kualitas biogas karena H_2S dikenal bersifat korosif, beracun, serta menimbulkan bau menyengat. Kehadiran H_2S dalam jumlah besar juga dapat mempercepat kerusakan pada pipa, kompor, dan peralatan lain yang digunakan dalam pemanfaatan biogas. Setelah dilakukan pemurnian dengan arang aktif, kadar H_2S menurun secara signifikan menjadi 101–104 ppm. Penurunan ini membuktikan bahwa arang aktif sangat efektif dalam menyerap gas H_2S berkat struktur pori-porinya yang luas dan sifat kimianya yang reaktif terhadap senyawa sulfur. Dengan berkurangnya kandungan H_2S , biogas menjadi lebih aman dan risiko korosif terhadap peralatan dapat diminimalisir. Perlakuan terbaik ditunjukkan pada pemurnian menggunakan kombinasi arang aktif

dan zeolit, di mana kadar H_2S turun lebih lanjut hingga 97–100 ppm. Konsentrasi H_2S tercatat berkisar antara 398–407 ppm, sedangkan CO_2 berada pada kisaran yang sangat tinggi yaitu 8760–9527 ppm. Tingginya kandungan gas pengotor tersebut mengindikasikan bahwa biogas hasil non purifikasi masih memiliki kualitas rendah karena nilai kalor berkurang dan bersifat korosif (Trisyanayanti, 2017).

Tabel 5. ANOVA Rancangan Acak Lengkap (RAL) H_2S

SK	DB	JK	KT	<u>F_{hit}</u>	<u>F_{tab}</u>	
					0,05	0,01
<u>Perlakuan</u>	2	182.835	91.417	10.685	5	2
<u>Galat/eror</u>	6	51	9			
Total	8	182.886				

Tabel 5 menunjukkan analisis data penelitian yang dilakukan menggunakan Analisis Ragam (ANOVA) Rancangan Acak Lengkap (RAL) untuk mengetahui pengaruh perlakuan pemurnian terhadap penurunan kadar CO_2 dan H_2S pada biogas. Perlakuan yang diuji terdiri atas tiga perlakuan, yaitu tanpa pemurnian (kontrol), pemurnian menggunakan arang aktif, dan pemurnian menggunakan kombinasi media adsorben. Hasil ANOVA yang menunjukkan pengaruh sangat nyata membuktikan bahwa pemurnian biogas merupakan faktor kunci dalam meningkatkan kualitas biogas. Penurunan kadar CO_2 dan H_2S sangat penting karena kedua gas tersebut bersifat tidak mudah terbakar dan korosif, sehingga dapat menurunkan nilai kalor dan merusak peralatan pemanfaat biogas (Handayani et al., 2023)

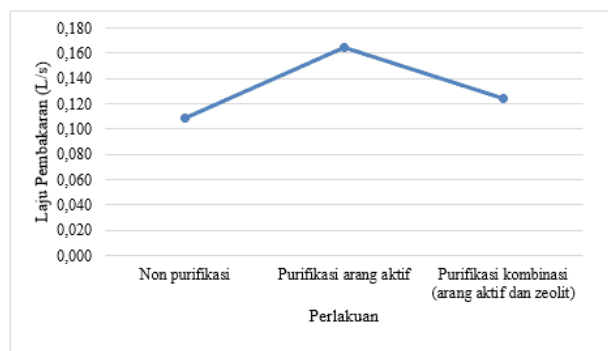
Laju Pembakaran Biogas

Laju pembakaran biogas merupakan salah satu parameter penting untuk menilai kualitas energi yang dihasilkan. Biogas dengan kandungan metana (CH_4) yang tinggi dan kadar pengotor rendah akan terbakar lebih cepat dan stabil, sehingga menghasilkan nyala api yang berwarna biru dengan panas yang optimal. Sebaliknya, apabila biogas masih didominasi oleh karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S), proses pembakaran akan lebih lambat, tidak stabil, serta menghasilkan nyala api berwarna kuning kemerahan yang menandakan rendahnya nilai kalor. Secara prinsip, laju pembakaran biogas dipengaruhi oleh komposisi kimianya.

Tabel 6. Laju Pembakaran Biogas Non purifikasi dan Purifikasi

<u>Perlakuan</u>	Volume Air (L)	<u>Suhu</u> (°C)	Rata-Rata Waktu (Menit)	<u>Laju Pembakaran</u> (L/s)
<u>Non Purifikasi</u>	1	100	9,17	0,109
<u>Purifikasi Arang Aktif</u>	1	100	5,9	0,165
<u>Purifikasi Kombinasi (Arang Aktif Dan Zeolit)</u>	1	100	7,9	0,124

Hasil pengukuran waktu pembakaran biogas menunjukkan perbedaan yang cukup jelas antara biogas non purifikasi dan biogas hasil purifikasi. Pada kondisi non purifikasi, waktu pembakaran tercatat paling lama yaitu 9,04–9,38 menit, yang berarti laju pembakaran paling rendah. Hal ini disebabkan oleh kandungan CO_2 yang tinggi yang bersifat inert sehingga menghambat proses pembakaran. CO_2 menyerap panas dan menurunkan efisiensi termal. Pada pemurnian menggunakan arang aktif, waktu pembakaran menurun menjadi 5,85–6,10 menit, menandakan peningkatan laju pembakaran. Arang aktif mampu mengadsorpsi H_2S dan sebagian CO_2 sehingga proporsi CH_4 meningkat dan pembakaran menjadi lebih stabil. Kehadiran gas-gas ini menurunkan nilai kalor biogas dan dapat menyebabkan korosi pada sistem pemanfaatannya (Sawalha et al., 2020). Demikian pula, (Vitázek et al., 2016) dalam *Thermodynamics of Combustion Gases from Biogas* menyebutkan bahwa kandungan gas inert yang tinggi dapat memperlambat reaksi pembakaran dan menurunkan entalpi total sistem.



Gambar 1. Grafik Laju Pembakaran Biogas

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa perlakuan purifikasi memberikan pengaruh terhadap laju pembakaran. Pada perlakuan non purifikasi, laju pembakaran yang dihasilkan sebesar 0,109 L/s. Nilai ini merupakan laju pembakaran terendah dibandingkan dengan perlakuan lainnya, yang menunjukkan bahwa tanpa proses pemurnian, bahan bakar masih mengandung pengotor yang dapat menghambat proses pembakaran. Perlakuan purifikasi menggunakan arang aktif menghasilkan laju pembakaran tertinggi, yaitu sebesar 0,165 L/s. Peningkatan laju pembakaran ini diduga terjadi karena arang aktif mampu menyerap senyawa pengotor sehingga kualitas bahan bakar menjadi lebih baik dan proses pembakaran berlangsung lebih cepat serta lebih efisien. Sementara itu, pada perlakuan purifikasi kombinasi arang aktif dan zeolit, laju pembakaran yang diperoleh sebesar 0,124 L/s. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan non purifikasi, namun lebih rendah dibandingkan purifikasi arang aktif saja. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi arang aktif dan zeolit tetap memberikan perbaikan kualitas bahan bakar, meskipun efektivitasnya terhadap peningkatan laju pembakaran belum seoptimal penggunaan arang aktif secara tunggal. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan purifikasi arang aktif merupakan perlakuan terbaik dalam meningkatkan laju pembakaran, diikuti oleh purifikasi kombinasi, dan terakhir non purifikasi (Sutanto, 2022)

Warna Nyala Api

Warna nyala api pada masing-masing perlakuan diamati secara visual dan didokumentasikan menggunakan kamera, hasil pengamatan dibandingkan berdasarkan intensitas warna (biru, kekuningan, atau kemerahan) untuk menilai tingkat kemurnian biogas hasil pembakaran.



Gambar 2. Warna Nyala Api Non Purifikasi

Berdasarkan hasil pengamatan visual terhadap proses pembakaran biogas non purifikasi, terlihat bahwa warna nyala api yang dihasilkan cenderung kemerahan hingga oranye, dengan sedikit gradasi biru di bagian dasar api. Warna nyala tersebut menunjukkan bahwa proses pembakaran belum berlangsung sempurna, karena masih terdapat kandungan gas pengotor yang tinggi seperti karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S), dan uap air (H_2O) dalam komposisi biogas.



Gambar 3. Warna Nyala Api purifikasi Arang Aktif

Berdasarkan hasil pengamatan visual terhadap proses pembakaran biogas hasil purifikasi menggunakan arang aktif terlihat bahwa nyala api didominasi oleh warna biru terang dengan sedikit gradasi oranye di bagian tepi. Warna biru ini menunjukkan bahwa proses pembakaran berlangsung lebih sempurna dibandingkan pada kondisi non purifikasi. Hal ini terjadi karena arang aktif mampu menyerap sebagian besar gas pengotor seperti hidrogen sulfida (H_2S) dan uap air (H_2O), sehingga konsentrasi gas metana (CH_4) meningkat.



Gambar 4. Warna Nyala Api Purifikasi Kombinasi (Arang Aktif dan Zeolit)

Secara visual dan termal, nyala api biru terang yang stabil seperti pada Gambar Menunjukkan bahwa biogas hasil purifikasi kombinasi memiliki kualitas energi terbaik, dengan pembakaran yang bersih, tidak berasap, serta efisiensi termal yang tinggi. Fenomena ini sekaligus membuktikan bahwa kombinasi arang aktif dan zeolit merupakan metode purifikasi paling efektif untuk meningkatkan performa pembakaran biogas.

Analisis Data

Hasil analisis data yang didapatkan meliputi efektivitas bahan absorben purifikasi dan laju pembakaran purifikasi. Pada hasil analisis data efektivitas didapatkan bahwa proses purifikasi biogas memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kandungan gas penyusunnya, khususnya terhadap gas pengotor seperti H_2S dan CO_2 .

Analisis efektivitas bahan absorben

Setelah mendapatkan data rata-rata pada setiap perlakuan dan kandungan kadar gas bisa dihitung mengenai efektivitas presentase penurunan H_2S dan CO_2 , serta efektivitas presentase kenaikan CH_4 . Nilai efektivitas dihitung berdasarkan perbandingan penurunan konsentrasi gas pengotor sebelum dan sesudah purifikasi. Pada gas H_2S , efektivitas proses purifikasi menggunakan arang aktif mencapai 74,5%, sedangkan efektivitas antara non-purifikasi dan kombinasi (arang aktif

dan zeolit) sedikit lebih tinggi, yaitu 75,5%. Hal ini menunjukkan bahwa kedua metode purifikasi tersebut mampu menurunkan kandungan gas H_2S secara efektif, meskipun peningkatan efektivitas pada sistem kombinasi relatif kecil.

Tabel 7. Hasil Data Perbandingan Efektivitas bahan

Gas	Efektifitas Non purifikasi dan Purifikasi Arang Aktif (%)	Efektifitas Non Purifikasi dan Purifikasi Kombinasi (%)	Efektifitas Aktif dan Kombinasi (%)
CH ₄	0	0	0
H ₂ S	74,5	75,5	0,38
CO ₂	63	90,4	84,3

Adapun nilai efektivitas arang aktif terhadap kombinasi hanya sebesar 0,38%, yang mengindikasikan bahwa penambahan zeolit tidak memberikan pengaruh besar terhadap penyisihan H_2S , mengingat arang aktif sudah memiliki kemampuan adsorpsi tinggi terhadap gas sulfur. Sementara itu, pada gas CO_2 terlihat tren peningkatan efektivitas yang lebih signifikan. Purifikasi dengan arang aktif menghasilkan efektivitas sebesar 63%, sedangkan pada kombinasi arang aktif dan zeolit, efektivitasnya meningkat tajam hingga 90,4%. Artinya, penambahan zeolit secara nyata meningkatkan kemampuan media dalam menyerap gas CO_2 . Jika dibandingkan langsung antara arang aktif dan kombinasi, efektivitasnya menunjukkan perbedaan sebesar 84,3%, menegaskan bahwa kombinasi kedua bahan absorbent tersebut bekerja lebih optimal dalam mengurangi gas asam.

Adapun kandungan CH_4 menunjukkan efektivitas 0% pada seluruh perlakuan, yang berarti tidak terjadi penurunan signifikan pada gas metana. Hal ini sesuai dengan tujuan proses purifikasi, yaitu menghilangkan gas pengotor (H_2S dan CO_2) tanpa mengurangi gas utama pembentuk biogas (CH_4). Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi arang aktif dan zeolit merupakan metode purifikasi yang paling efektif dalam meningkatkan kualitas biogas, terutama dalam menurunkan kadar CO_2 secara signifikan tanpa mempengaruhi kandungan metana.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil data penelitian dapat ditarik kesimpulan bahwa purifikasi memberikan pengaruh nyata terhadap laju pembakaran biogas. Pemurnian biogas dengan bahan penyerap terbukti mampu meningkatkan efisiensi dan kestabilan proses pembakaran. Pada perlakuan non-purifikasi, waktu rata-rata pembakaran tercatat sebesar 9,17 menit dengan laju pembakaran 0,109 L/s, menunjukkan proses pembakaran yang kurang efisien akibat tingginya kandungan gas pengotor seperti CO_2 dan H_2S . Setelah dilakukan purifikasi menggunakan arang aktif, waktu rata-rata pembakaran menurun menjadi 6,04 menit dengan laju pembakaran meningkat menjadi 0,165 L/s, yang menandakan peningkatan efisiensi akibat bertambahnya kandungan gas metana (CH_4). Adapun perlakuan purifikasi kombinasi antara arang aktif dan zeolit memberikan hasil paling optimal dengan rata-rata waktu pembakaran sebesar 8,04 menit dan laju pembakaran sebesar 0,124 L/s, menunjukkan proses pembakaran yang lebih stabil dan efisien. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kombinasi arang aktif dan zeolit merupakan metode purifikasi yang paling efektif dalam meningkatkan kemurnian biogas serta performa pembakarannya. Zeolit dan arang aktif memiliki kemampuan daya serap yang efektif terhadap gas pengotor CO_2 dan H_2S . Berdasarkan data penelitian yang memperlihatkan bahwa konsentrasi CO_2 dan H_2S menurun secara signifikan setelah biogas melewati media penyerap. Hasil ini membuktikan bahwa kedua bahan tersebut dapat meningkatkan kemurnian biogas secara terukur. Setelah dilakukan proses pemurnian menggunakan arang aktif, kadar CO_2 mengalami penurunan cukup signifikan menjadi 5399–5817 ppm. Sedangkan pada H_2S setelah dilakukan pemurnian dengan arang aktif, kadar H_2S menurun secara signifikan menjadi 101–104 ppm. Penurunan ini membuktikan bahwa arang aktif sangat efektif dalam menyerap gas H_2S berkat struktur pori-porinya yang luas dan sifat kimianya yang reaktif terhadap senyawa sulfur. Pada hasil data penelitian ini dapat disimpulkan bahwa bahan

absorben arang aktif dan zeolite memiliki daya serap yang efektif dan Kombinasi arang aktif dan zeolit terbukti paling efektif dalam meningkatkan kualitas biogas. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa purifikasi kombinasi mampu menurunkan kadar H_2S hingga 75,5% dan CO_2 hingga 90,4%, sedangkan kandungan CH_4 tetap stabil (efektivitas 0%). Hal ini menandakan bahwa proses purifikasi berhasil mengurangi gas pengotor tanpa mengurangi gas metana sebagai komponen utama biogas. Meskipun peningkatan efektivitas penurunan H_2S antara arang aktif dan kombinasi relatif kecil, penambahan zeolit memberikan pengaruh besar terhadap penyerapan CO_2 , sehingga secara keseluruhan kombinasi kedua adsorben tersebut menghasilkan biogas dengan kemurnian tertinggi.

Saran

Penelitian berikutnya diharapkan dapat melakukan pengukuran nilai kalor (heating value) secara langsung untuk menilai potensi energi biogas hasil purifikasi dibandingkan dengan bahan bakar lain. Dari sisi penerapan praktis, kombinasi arang aktif dan zeolit dapat direkomendasikan sebagai metode purifikasi yang sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan oleh peternak atau pengelola biogas skala kecil, mengingat hasil penelitian menunjukkan peningkatan kualitas biogas yang signifikan tanpa memerlukan teknologi yang kompleks. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai umur pakai dan kemampuan regenerasi media penyerap, agar diketahui waktu optimal penggunaan sebelum media kehilangan kemampuan adsorpsinya. Dengan adanya kajian lanjutan tersebut, sistem purifikasi biogas diharapkan dapat dikembangkan menjadi lebih efisien, berkelanjutan, serta aplikatif dalam mendukung pemanfaatan energi terbarukan di tingkat masyarakat maupun industri kecil.

DAFTAR REFERENSI

- Fourqoniah, F., Kalsum, L., & Yulianti, S. (2023). Biogas Purification by Adsorption Method Using Activated Carbon and Zeolite Adsorbents. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 7(2), 153. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v7i2.77835>
- Adrian, M., Hidayat, J., & Amrullah, A. Z. (2022). Sistem Kontrol dan Monitoring Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things (Iot) Menggunakan Nodemcu Esp32. *Jurnal SAINTEKOM (Sains, Teknologi, Komputer dan Manajemen)*, 12(1), 23-32. <https://10.33020/saintekom.v12i1.223>.
- Gemala, M., & Ulfah, N. (2020). Efektifitas Metode Kombinasi Pasir Zeolit dan Arang Aktif dalam Pengolahan Air Lindi di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 4(2), 162-167. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v4i2.167>
- Alamsyah, N., Rahmani, H. F & Yeni. (2022). Lampu Otomatis Menggunakan Sensor Cahaya Berbasis Arduino Uno Dengan Alat Sensor LDR. *Formosa Journal Of Applied Sciences (FJAS)*, 1(5), 703-712.
- Handayani, Y., Ridwan, K. A., Febriana, I., Energi, S. T., & Sriwijaya, P. N. (2023). Pemurnian Biogas Kotoran Sapi dan Limbah Cair Tahu Media Adsorben Karbon Aktif dan Silika Gel. 7, 21367-21374.
- Mara, M., & Alit, I. B. (2011). Analisa Kualitas dan Kuantitas Biogas dari Kotoran Ternak. *Dinamika Teknik Mesin*, 1(2). <https://doi.org/10.29303/d.v1i2.121>
- Oktarina, N., Ayu, D. P., Effendy, S., & Zurohaina. (2023). Pemurnian Biogas dengan Proses Absorpsi Menggunakan Absorben K_2CO_3 dan $Fe_2(SO_4)_3$. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7, 21551-21554.
- Rajagukguk, K., & Wisnu, A. (2019). Design of Biogas Purification To Reduce Carbon Dioxide (CO_2) and Hydrogen Sulfide (H_2S). *Jurnal Teknik Mesin Universitas Bandar Lampung*, 7(1), 3-8.

- Sawalha, H., Maghalseh, M., Qutaina, J., Junaidi, K., & Rene, E. R. (2020). Removal of hydrogen sulfide from biogas using activated carbon synthesized from different locally available biomass wastes - a case study from Palestine. *Bioengineered*, 11(1), 607–618. <https://doi.org/10.1080/21655979.2020.1768736>
- Fauzan, A., & Fahlefie, R. (2022). Sistem Monitoring Hidroponik Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kendali dan Listrik*, 3(1), 84–94. <https://Doi.Org/10.33365/jimel.V1i1>.
- Sutanto, R. (2022). Process with Pumice Adsorber. 32(1), 419–423.
- Trisyanayanti, A. C. (2017). 291465572. Analisis Absorpsifitas Gas H₂S Pada Filter Purifikasi Biogas Dengan Mempergunakan Wet Scrubber.
- Vitázek, I., Klůčik, J., Uhrinová, D., Mikulová, Z., & Mojžiš, M. (2016). Thermodynamics of combustion gases from biogas. *Research in Agricultural Engineering*, 62(January), S8–S13. <https://doi.org/10.17221/34/2016-RAE>