

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

DESAIN DAN UJI KINERJA ALAT PURIFIKASI BIOGAS KOTORAN SAPI PADA DIGESTER

Design and Performance Testing of Cow Dung Biogas Purification Device in Digester

Ibadurahman Arrosid^{1*}, Murad¹, Gagassage Nanaluh De Side¹

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

Email*): ibadurrahmanarrosid@gmail.com

ABSTRACT

The increasing demand for energy and the depletion of fossil fuel reserves have encouraged the development of renewable energy sources such as biogas. However, raw biogas produced from cattle manure digesters still contains impurities such as carbon dioxide (CO₂) and hydrogen sulfide (H₂S), which lower its calorific value and cause equipment corrosion. Therefore, this study aims to design and evaluate the performance of a biogas purification device using zeolite and activated carbon as absorbent materials. The research was conducted at the CV. Berkah Sejati Farm and the Agricultural Engineering Laboratory, University of Mataram. The purification unit was designed from PVC pipes with a diameter of 10.5 cm and a height of 50 cm, filled with 4.5 kg of zeolite and 1.5 kg of activated carbon. The performance test included measurements of CH₄, CO₂, and H₂S concentrations before and after purification, flame temperature, and flame color observation. The results showed that the purification reducing CO₂ from 7113 ppm to 853 ppm and H₂S from 397.67 ppm to 99 ppm. The flame temperature also increased from 209–261 °C to 327–370 °C, and the flame color changed from yellow-orange to blue, indicating improved combustion quality. These findings demonstrate that the designed purification device effectively enhances biogas quality and can be applied as a simple and efficient system for small-scale renewable energy utilization.

Keyword: adsorption; active carbon; biogas purification; methane; zeolite

ABSTRAK

Meningkatnya kebutuhan energi dan menipisnya cadangan bahan bakar fosil mendorong pemanfaatan energi terbarukan seperti biogas. Namun, biogas mentah dari kotoran sapi masih mengandung pengotor seperti CO₂ dan H₂S yang menurunkan kualitasnya. Penelitian ini bertujuan merancang serta menguji alat purifikasi biogas menggunakan zeolit dan arang aktif. Alat berbahan PVC berdiameter 10,5 cm dan tinggi 50 cm ini diisi 4,5 kg zeolit dan 1,5 kg arang aktif. Hasil uji menunjukkan peningkatan kadar CH₄ dari 8582,67 mol menjadi 9999 mol, penurunan CO₂ dari 7113 ppm menjadi 853 ppm, serta H₂S dari 397,67 ppm menjadi 99 ppm. Suhu nyala api meningkat hingga 370 °C dengan warna biru yang menandakan pembakaran lebih sempurna. Dengan demikian, alat purifikasi ini terbukti efektif meningkatkan kualitas biogas dan berpotensi diterapkan pada skala kecil secara efisien.

Kata kunci: absorpsi; karbon aktif; metana; purifikasi biogas; zeolit

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Di Indonesia, potensi produksi biogas dari sektor peternakan sapi sangat besar. Hal ini menjadi salah satu faktor penghasil limbah yang jumlahnya sangat melimpah. Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses anaerobik bahan organik seperti limbah peternakan, limbah pertanian, dan limbah rumah tangga. Salah satu keunggulan biogas adalah kemampuannya untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta meminimalkan pencemaran lingkungan. Namun demikian, biogas mentah yang dihasilkan dari biodigester umumnya masih mengandung gas-gas pengotor seperti karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S), yang dapat menurunkan efisiensi pembakaran dan menyebabkan korosi pada peralatan. Untuk meningkatkan kualitas biogas, diperlukan proses purifikasi atau pemurnian guna mengurangi kandungan gas pengotor tersebut. Salah satu metode purifikasi yang cukup menjanjikan adalah penggunaan bahan adsorben seperti zeolit dan arang aktif (Fourqoniah et al., 2023).

Dalam praktik produksi biogas dari limbah organik seperti kotoran sapi, terdapat sejumlah permasalahan teknis yang signifikan. Salah satu isu utama adalah bahwa biogas yang dihasilkan secara langsung (raw biogas) belum dipurifikasi, sehingga masih mengandung persentase tinggi gas pengotor seperti karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S). Sebagai contoh, studi menunjukkan bahwa kadar CO_2 dalam biogas mentah dapat mencapai hampir 48,8% dan H_2S dalam konsentrasi hingga ratusan ppm (Nasher et al., 2020). Kondisi biogas seperti ini menyebabkan beberapa dampak negatif yang harus diwaspadai. Pertama, kandungan CO_2 yang tinggi menurunkan nilai kalor biogas per volume dan membuat biogas menjadi kurang cocok untuk aplikasi pembangkit atau motor bahan bakar (Werkneh, 2022). Kedua, keberadaan H_2S yang cukup besar dalam biogas mentah dapat menyebabkan korosi peralatan, seperti mesin pembangkit, pipa, dan katup. H_2S yang terbakar menghasilkan sulfur dioksida (SO_2) dan asam sulfat (H_2SO_4) yang sangat merusak logam dan mengurangi masa operasi komponen secara dramatis (Ramirez, 2020).

Faktor-faktor tersebut membatasi kemampuan biogas mentah untuk dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber energi dan menuntut adanya proses purifikasi agar kualitas biogas dapat ditingkatkan dan dampak negatif dapat dikurangi. Untuk meningkatkan mutu biogas sehingga layak digunakan sebagai bahan bakar atau sumber energi terbarukan, telah dikembangkan berbagai teknologi purifikasi yang terbukti efektif. Teknologi-teknologi utama meliputi metode adsorpsi (menggunakan bahan padat seperti arang aktif atau zeolit), water scrubbing (penyiraman gas ke dalam larutan atau air untuk menghilangkan pengotor), membran (memisahkan gas berdasarkan ukuran molekul) dan *pressure-swing adsorption* (PSA) untuk pemurnian skala besar (Liu et al., 2020).

Dalam teknologi adsorpsi khususnya, studi menunjukkan bahwa kombinasi antara arang aktif dan zeolit mampu secara signifikan menurunkan kadar gas pengotor seperti CO_2 dan H_2S dari biogas mentah (Fourqoniah et al., 2023). Pemilihan teknologi yang tepat sangat bergantung pada kondisi biogas mentah (komposisi gas, tekanan, kadar uap air), kapasitas sistem, serta tujuan penggunaannya (kompor, genset, injeksi gas). Oleh karena itu, dalam penelitian ini dipilih metode adsorpsi menggunakan arang aktif dan zeolit karena sifat adsorben yang relatif sederhana, biaya moderat, dan cocok untuk skala peternakan kecil hingga menengah. Selain itu, diperlukan suatu alat purifikasi sederhana yang dapat diuji kinerjanya untuk meningkatkan mutu biogas tersebut. Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan

uji kinerja alat purifikasi biogas menggunakan bahan adsorben arang aktif dan zeolit, sehingga dapat diketahui seberapa besar efektivitas sistem tersebut dalam meningkatkan kualitas biogas.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang alat purifikasi biogas menggunakan metode filtrasi dengan bahan adsorben berupa arang aktif dan zeolit, menguji kinerja alat tersebut terhadap biogas yang dihasilkan dari digester kotoran sapi, serta menentukan efektivitasnya dalam menurunkan kadar CO₂ dan H₂S sehingga kualitas biogas yang dihasilkan dapat ditingkatkan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli sampai September 2025 di Laboratorium Daya dan Mesin Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram, dan Peternakan Sapi CV. Berkah Sejati Farm yang berlokasi di Kecamatan Gerung, Kabupaten Lombok Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah, Digester biogas aktif kapasitas ±8 m³, Software desain 3D Solidwork 2022, Tabung filter PVC diameter 4 inch panjang 100 cm, Sambungan selang dan kran gas, Alat uji gas H₂S (ST8990), CO₂ (GCH-2018), dan CH₄ (NM-390), Thermogun, Flowmeter, Alat dokumentasi. Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah, Zeolit aktif ukuran mesh 40-60, Arang aktif, Kotoran sapi segar, Air bersih, Lem PVC, Klem, Isolasi.

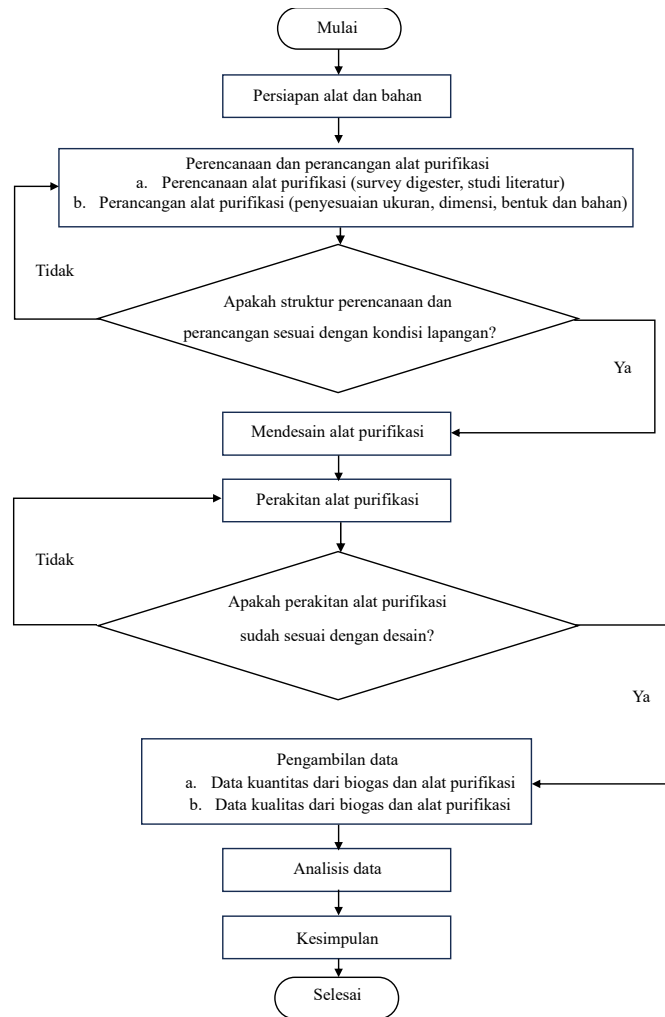
Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental di mana penelitian dilakukan dengan mengukur secara langsung di lapangan. Parameter penelitian yang diamati meliputi kandungan gas CH₄, H₂S, dan CO₂ sebelum dan sesudah proses purifikasi untuk mengetahui perubahan komposisi biogas yang terjadi. Selain itu, efektivitas alat purifikasi dievaluasi berdasarkan kemampuannya dalam menurunkan kadar CO₂ dan H₂S serta meningkatkan kadar CH₄. Kualitas biogas hasil purifikasi juga dinilai melalui pengukuran suhu nyala api dan pengamatan warna nyala api sebagai indikator kualitas pembakaran. Di samping itu, laju aliran biogas diukur untuk mengetahui kestabilan aliran gas selama proses pengujian dan pengaruh sistem purifikasi terhadap debit biogas yang dihasilkan.

Prosedur Penelitian

Penelitian diawali dengan perancangan dan pembuatan alat purifikasi biogas menggunakan media filtrasi berupa arang aktif dan zeolit. Setelah alat selesai dibuat, biogas yang berasal dari digester kotoran sapi dialirkan ke dalam sistem purifikasi. Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap alat untuk mengetahui apakah biogas dapat mengalir dan proses purifikasi berlangsung dengan baik. Jika hasil pengujian belum sesuai dengan yang diharapkan, maka dilakukan perbaikan atau penyesuaian pada alat dan pengujian diulang kembali. Apabila alat telah berfungsi dengan baik, dilakukan pengambilan data berupa pengukuran kadar CH₄,

CO₂, dan H₂S sebelum dan sesudah purifikasi, serta pengamatan laju aliran gas, suhu nyala api, dan warna nyala api. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menentukan efektivitas alat dalam menurunkan kadar CO₂ dan H₂S serta meningkatkan kandungan CH₄. Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. Diagram Alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Analisis Data Penelitian

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran kandungan gas (CH₄, CO₂, dan H₂S) sebelum dan sesudah proses purifikasi dianalisis secara kuantitatif menggunakan pendekatan deskriptif. Analisis dilakukan untuk mengetahui efektivitas alat purifikasi dalam meningkatkan kualitas biogas. Analisis deskriptif dilakukan dengan menghitung persentase penurunan CO₂ dan H₂S, serta peningkatan CH₄ menggunakan rumus (1) dan (2), serta laju aliran gas menggunakan rumus (3).

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

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

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



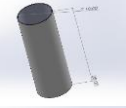

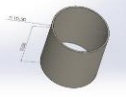
Hasil dari perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi. Selain itu, dilakukan observasi visual terhadap warna nyala api biogas setelah purifikasi sebagai indikator kualitatif tambahan. Api berwarna biru menunjukkan kualitas pembakaran yang baik karena kandungan metana tinggi, sedangkan nyala kuning atau oranye mengindikasikan adanya pengotor seperti CO₂ atau H₂S.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Desain

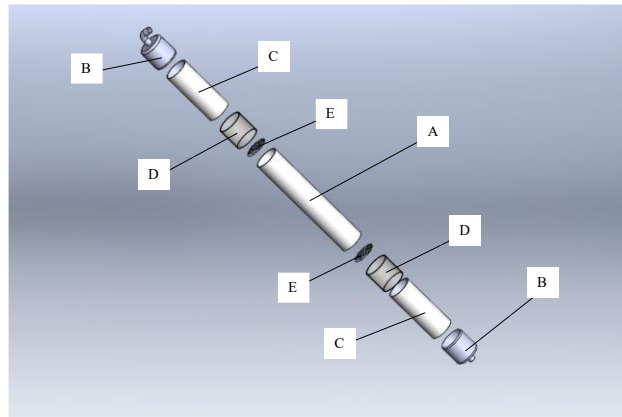
Desain alat purifikasi biogas dibuat sebagai langkah awal dalam proses pembuatan alat untuk memastikan seluruh komponen tersusun secara tepat dan berfungsi sesuai rancangan. Perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2022*, yang memungkinkan visualisasi tiga dimensi dari setiap bagian komponen alat (*part design*), serta penyusunan keseluruhan komponen dalam bentuk sistem (*assembly*).

Tabel 1. Komponen Desain Alat Purifikasi (*Part Design*)

Kode	Nama Komponen	Fungsi	Tinggi/panjang (cm)	Diameter (cm)	Jumlah	Gambar
A	Tabung Adsorben	Sebagai tempat proses adsorpsi biogas dan wadah bahan adsorben	50	10	2	
B	Penutup Inlet Outlet	Sebagai jalur aliran masuk atau keluar dari alat purifikasi	10	2,7	4	
C	Pipa Jalur Filtrasi	Sebagai jalur sebelum dan sesudah filtrasi dan penampung biogas sebelum adsorpsi maupun setelah adsorpsi	25	10	4	
D	Saringan	Sebagai filtrasi biogas dan penyangga bahan adsorben	2	9,5	4	
E	Shock Penyambung	Sebagai penyambung antara pipa jalur filtrasi dengan tabung adsorben	10	10,5	4	

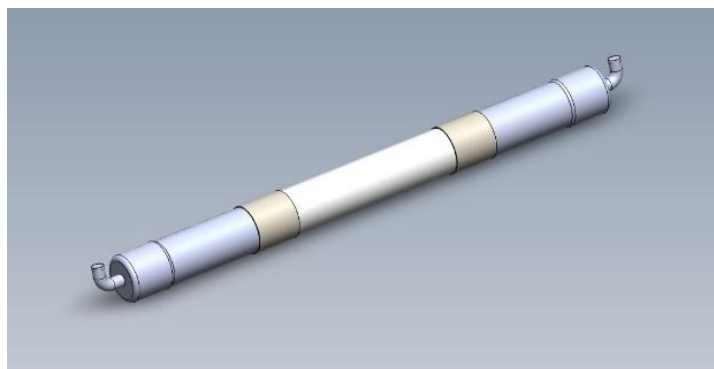
Pada Tabel 1 berikut menampilkan kode, nama, fungsi, serta spesifikasi utama dari masing-masing komponen alat purifikasi biogas yang akan digunakan pada tahap penyusunan keseluruhan komponen (*assembly*). Setiap komponen pada alat purifikasi biogas dirancang secara terpisah dengan mempertimbangkan fungsi, ukuran, dan kemudahan perakitan agar sistem purifikasi dapat bekerja secara optimal. Komponen-komponen tersebut memiliki peran spesifik dalam proses pemurnian biogas, mulai dari wadah media adsorben hingga saluran keluar gas hasil purifikasi. Rancangan tiap komponen dibuat menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2022*, di mana setiap part didesain dengan presisi sesuai kebutuhan sistem, serta

disesuaikan dengan bahan yang mudah diperoleh di lapangan, seperti pipa PVC dan kawat jaring galvanis.



Gambar 2. Desain Part Alat Purifikasi Biogas Sebelum *Assembly*

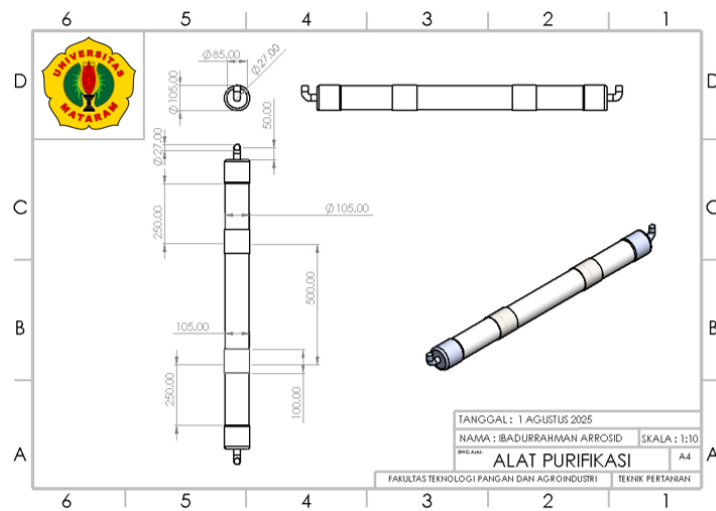
Gambar 2 menampilkan rancangan alat purifikasi biogas dalam bentuk *exploded view* yang memperlihatkan konfigurasi setiap komponen utama sebelum dilakukan proses penyusunan keseluruhan komponen (*assembly*). Desain ini disusun menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2022* untuk memverifikasi kesesuaian dimensi, orientasi, serta fungsi antarpart agar dapat dirakit secara presisi. Setiap komponen diberi kode huruf A hingga E untuk mempermudah proses identifikasi. Part A merupakan tabung adsorben yang berfungsi sebagai wadah utama media penyerap dalam proses pemurnian biogas. Part B adalah penutup inlet-outlet, yang berfungsi sebagai saluran masuk dan keluar biogas dari sistem purifikasi. Part C merupakan pipa jalur filtrasi, yang menghubungkan aliran biogas antara tabung adsorben dan penutup inlet-outlet, pada part ini juga dibuat bertujuan untuk pengumpulan gas sebelum di adsorbsi dan setelah di ansorbsi oleh media adsorben pada tabung adsorben. Selanjutnya, Part E berfungsi sebagai saringan untuk menahan partikel padat dan menopang bahan adsorben di dalam tabung, sedangkan Part D merupakan shock penyanggung yang digunakan untuk menyatukan pipa jalur filtrasi dengan tabung utama, sekaligus menjaga kedekatan aliran gas.



Gambar 3. Desain Part Alat Purifikasi Biogas Setelah *Assembly*

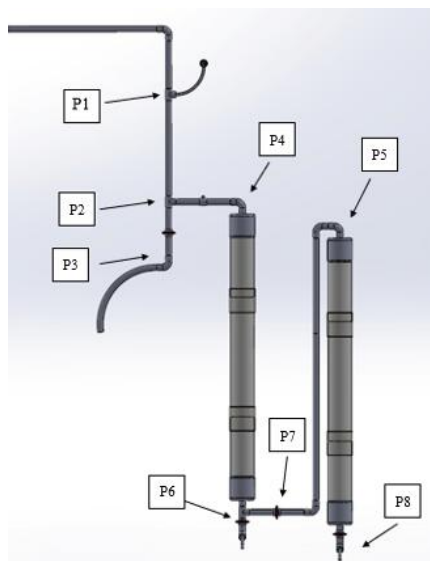
Gambar 3 menunjukkan hasil rancangan akhir (*final assembly*) alat purifikasi biogas setelah seluruh komponen disusun menjadi satu kesatuan sistem. Proses *assembly* dilakukan pada perangkat lunak *SolidWorks 2022* menggunakan fitur *Mate* untuk mengatur posisi dan orientasi antarpart secara presisi berdasarkan rancangan sebelumnya pada *exploded view*. Hasil desain *assembly* ini menjadi acuan langsung dalam proses pembuatan alat fisik di lapangan.

Melalui tahap perancangan digital ini, potensi kesalahan dimensi dan interferensi antar komponen dapat diminimalkan, sehingga mempercepat tahap fabrikasi dan memastikan alat berfungsi sesuai rancangan teknis.



Gambar 4. Desain Teknis Alat Purifikasi (Drawing View)

Gambar 4 menunjukkan hasil pembuatan gambar teknik (*drawing view*) dari rancangan alat purifikasi biogas menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2022*. Proses pembuatan gambar dilakukan dengan mengacu pada standar teknik proyeksi ortogonal, yang menampilkan pandangan tampak depan, tampak samping, tampak atas, serta tampak isometrik tiga dimensi untuk memberikan representasi bentuk dan ukuran alat secara menyeluruh. Penggambaran dilakukan menggunakan sistem satuan *Millimeter Gram Second (MMGS)* sesuai standar satuan teknik mekanika, sehingga seluruh dimensi pada gambar ditampilkan dalam satuan milimeter (mm).



Gambar 5. Desain Kontruksi Alat Purifikasi Biogas

Gambar 5 menunjukkan desain kontruksi jalur alat purifikasi biogas yang dibuat menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2022* dengan konfigurasi komponen sesuai hasil

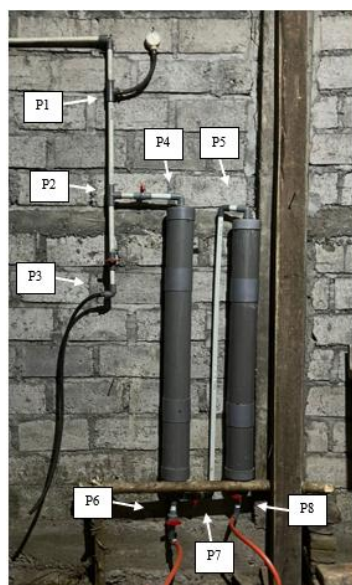
realisasi di lapangan. Alat purifikasi ini terdiri dari dua tabung utama yang disusun secara seri dan terhubung melalui sistem pipa PVC berdiameter ½ inci. Desain alat ini dilengkapi dengan beberapa katup kontrol (stop keran) yang berfungsi mengatur arah aliran gas, baik untuk jalur non-purifikasi maupun purifikasi, sehingga pengambilan data dapat dilakukan secara bergantian.

Tabel 2. Bagian Kontruksi dan Fungsi Pada Saluran Alat Purifikasi Biogas

Kode	Nama	Fungsi
P1	Pipa Inlet Jalur Gas	Sebagai saluran masuk biogas dari digester menuju sistem purifikasi, dan sebagai jalur flow meter
P2	Pipa T Persimpangan	Saluran persimpangan jalur purifikasi dan non purifikasi
P3	Outlet Biogas Non Purifikasi	Sebagai saluran output biogas pada jalur tanpa purifikasi
P4	Inlet Biogas Jalur Alat Purifikasi 1	Sebagai jalur aliran masuk biogas sebelum masuk ke aliran alat purifikasi pertama berbahan absorben arang aktif
P5	Inlet Biogas Jalur Alat Purifikasi 2	Sebagai jalur aliran masuk biogas sebelum masuk ke aliran alat purifikasi kedua berbahan absorben zeolit
P6	Outlet Biogas Pada Alat Purifikasi 1	Sebagai outlet aliran biogas setelah purifikasi 1
P7	Stop Kran Penghubung 2 Alat Purifikasi	Sebagai saluran penghubung antar 2 alat purifikasi
P8	Outlet Biogas Pada Alat Purifikasi 2	Sebagai outlet aliran biogas setelah purifikasi 2

Hasil Perakitan Alat Purifikasi

Gambar 6 menunjukkan hasil rancangan dan perakitan alat purifikasi biogas yang digunakan pada penelitian. Alat ini dirancang agar dapat membandingkan kualitas biogas sebelum melalui proses purifikasi dan setelah melewati media absorben. Pada bagian P1 dipasang Flowmeter yang berfungsi untuk mengetahui tekanan biogas yang keluar dari digester. Selanjutnya, P2 merupakan percabangan jalur output biogas yang dibagi menjadi dua, yaitu jalur biogas tanpa purifikasi (P3) dan jalur biogas dengan purifikasi (P4 dan P5).

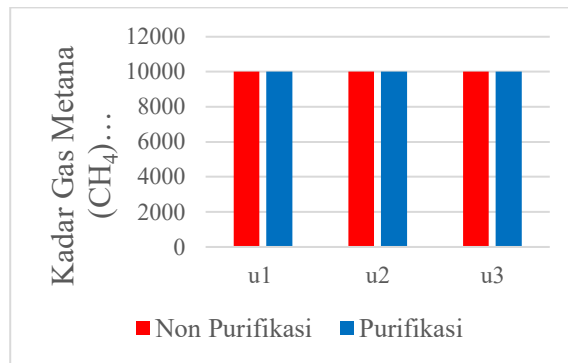


Gambar 6. Hasil Perakitan Kontruksi Alat Purifikasi

Jalur P3 adalah saluran biogas non-purifikasi yang langsung dialirkan tanpa melewati media penyaring. Sedangkan jalur P4 merupakan inlet biogas ke tabung purifikasi dengan media zeolit, yang dilengkapi dengan stop kran untuk mengatur aliran gas saat pengambilan data. Tabung purifikasi kedua (P5) menggunakan media arang aktif sebagai pembanding efektivitas absorben. Dari kedua tabung purifikasi tersebut, gas hasil pemurnian keluar melalui P6 (outlet tabung zeolit) dan P8 (outlet tabung arang aktif). Jalur keluaran ini juga dilengkapi stop kran (P7) untuk mengatur aliran gas hasil purifikasi arang aktif.

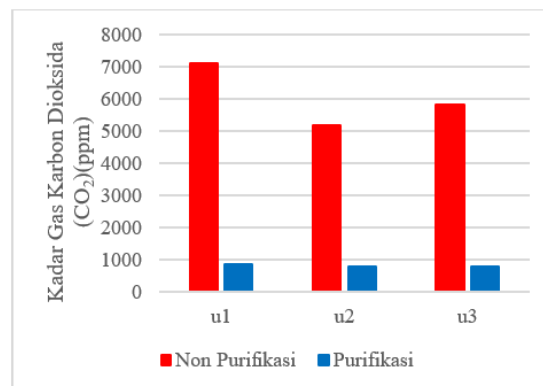
Kandungan Gas CH₄, H₂S, CO₂

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kandungan gas metana (CH₄) pada biogas non-purifikasi relatif rendah, sedangkan setelah melalui proses purifikasi dengan zeolit terjadi peningkatan.



Gambar 7. Hasil Perbandingan Gas Metana Non Purifikasi dan Purifikasi

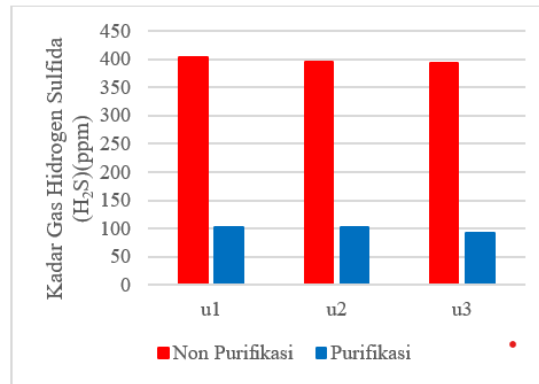
Gambar 7 menunjukkan bahwa hasil pengukuran kandungan gas metana (CH₄) pada biogas tanpa purifikasi menunjukkan nilai yang sama. Biogas yang telah melewati proses purifikasi menunjukkan nilai CH₄ yang konsisten, stabil di angka 9999 mol pada setiap ulangan. Peningkatan kadar metana ini sesuai dengan temuan penelitian sebelumnya, di mana penggunaan zeolit dapat meningkatkan konsentrasi CH₄ hingga 81,40% Fourqoniah (2023) dan 74,7% (Majedi et al., 2022)



Gambar 8. Hasil Perbandingan Gas Karbon Dioksida Non Purifikasi dan Purifikasi

Gambar 8 menunjukkan bahwa hasil pengukuran kadar karbon dioksida (CO₂) menunjukkan adanya perbedaan yang jelas antara biogas non purifikasi dan dengan purifikasi. Pada perlakuan tanpa purifikasi, kadar CO₂ tercatat cukup tinggi dengan nilai 7113 ppm pada ulangan pertama kemudian 5200 ppm pada ulangan kedua dan 5817 ppm pada ulangan ketiga. Sementara itu, setelah melalui 2 tabung purifikasi berisi arang aktif dan zeolit, kadar CO₂ turun

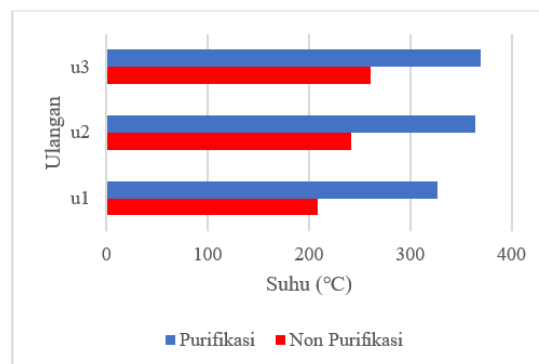
signifikan dengan nilai ulangan pertama 859 ppm kemudian 803 ppm pada ulangan kedua dan pada ulangan ketiga tercatat nilai yang sama yakni 803 ppm. Pada penelitian Druzyanova (2020) menunjukkan bahwa konfigurasi kolom adsorpsi tertentu mampu menghasilkan biogas dengan kandungan metana mencapai 93,3%, akibat berkurangnya fraksi CO₂ dalam gas keluaran. Dengan demikian, penurunan CO₂ menjadi indikator penting keberhasilan proses purifikasi dalam meningkatkan mutu biogas. . Semakin besar kandungan CO₂, maka semakin rendah persentase CH₄ yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar (Anggito, 2020).



Gambar 9. Hasil Perbandingan Gas Hidrogen Sulfida Non Purifikasi dan Purifikasi

Berdasarkan Gambar 9 hasil pengukuran kandungan gas hidrogen sulfida (H₂S) pada biogas terlihat adanya perbedaan yang cukup signifikan antara biogas non purifikasi dan dengan purifikasi. Pada perlakuan tanpa purifikasi, kadar H₂S rata-rata tercatat pada ulangan pertama 404 ppm, 396 ppm pada ulangan kedua dan 393 pada ulangan ketiga. Sementara itu, setelah melalui proses purifikasi kadar H₂S menurun secara konsisten menjadi 102 hingga 93 ppm pada setiap pengulangan. Temuan terbaru oleh Tira (2024) juga memperkuat bahwa proses adsorpsi bertingkat dapat lebih optimal dalam menurunkan kandungan H₂S pada biogas (Tira et al., 2024)

Suhu Nyala Api



Gambar 10. Hasil Perbandingan Suhu Nyala Api Non Purifikasi dan Purifikasi

Gambar 10 menunjukkan bahwa pada biogas non-purifikasi, suhu nyala api rata-rata berada di kisaran 209–261 °C. Sementara itu, pada biogas hasil purifikasi, suhu nyala api meningkat tajam, berkisar antara 327–370 °C. Kenaikan suhu nyala api ini menunjukkan adanya peningkatan kandungan metana (CH₄) setelah melalui proses purifikasi serta berkurangnya gas pengotor seperti CO₂ dan H₂S. Suhu nyala api merupakan indikator penting untuk menilai

kualitas pembakaran biogas. Pada perlakuan non-purifikasi, suhu nyala api relatif rendah, berkisar 209–261 °C, sedangkan setelah purifikasi meningkat tajam hingga 327–370 °C. Peningkatan ini terjadi karena kandungan metana (CH₄) lebih dominan, sementara gas pengotor seperti CO₂ dan H₂S berkurang.

Warna Nyala Api

Gambar 11 memperlihatkan perbedaan warna nyala api antara biogas non-purifikasi dan purifikasi.



Gambar 11. Perbandingan Warna Nyala Api Biogas (a)Non Purifikasi (b)Purifikasi

Gambar 11 (a), nyala api cenderung berwarna kuning-oranye dan tidak stabil. Hal ini menunjukkan masih tingginya kandungan CO₂ dan H₂S yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Sebaliknya, pada Gambar 11 (b), nyala api tampak berwarna biru dengan intensitas lebih stabil. Perubahan warna ini merupakan indikator visual menurunnya kadar CO₂ dan H₂S dalam biogas. Berdasarkan hasil pengamatan visual, pada kondisi non-purifikasi nyala api terlihat berwarna kuning-oranye dan cenderung kurang stabil. Peningkatan ini terjadi karena kandungan metana (CH₄) lebih dominan, sementara gas pengotor seperti CO₂ dan H₂S berkurang. Hasil penelitian ini sejalan dengan (Ritonga et al., 2020) yang melaporkan kenaikan suhu nyala api setelah biogas dipurifikasi menggunakan *down-up purifier* termodifikasi.

Analisis Data

Analisis Efektivitas Alat

Berdasarkan hasil perhitungan efektivitas purifikasi pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa proses purifikasi dengan bahan penyerap zeolit dan arang aktif memberikan perubahan komposisi gas yang signifikan.

Tabel 3. Data Efektivitas Alat Purifikasi

Gas	Rata-rata Non Purifikasi	Rata-rata Purifikasi	Efektivitas(%)
CH ₄	8582,67 mol	9999 mol	16,5
H ₂ S	397,67 ppm	99 ppm	75,1
CO ₂	6043,33 ppm	821,67 ppm	86,4

Kandungan CH₄ mengalami peningkatan efektivitas sebesar 16,5%, menandakan peningkatan konsentrasi metana yang berperan sebagai sumber energi utama pada biogas. Sebaliknya, kandungan pengotor seperti H₂S dan CO₂ menurun dengan efektivitas masing-masing 75,1% dan 86,4%. Nilai penurunan tersebut menunjukkan bahwa bahan penyerap pada

alat purifikasi bekerja efektif dalam menahan gas pengotor, terutama gas asam seperti H₂S yang bersifat korosif dan gas CO₂ yang mengurangi nilai kalor biogas. Dengan demikian, hasil perhitungan efektivitas ini memperkuat bahwa alat purifikasi yang dirancang tidak hanya berfungsi secara struktural, tetapi juga berkinerja optimal secara fungsional dalam meningkatkan kualitas biogas.

Analisis Laju Aliran Biogas

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa rata-rata laju aliran gas biogas pada kondisi non purifikasi berkisar antara 0,202–0,332 L/s, sedangkan pada kondisi purifikasi meningkat menjadi 0,440–0,573 L/s. Nilai ini menunjukkan bahwa proses purifikasi mampu meningkatkan laju aliran gas secara signifikan.

Tabel 4. Data Analisis Laju Aliran

Perlakuan	Ulangan	Volume (L)	Waktu (s)	Laju Alir (cm³/s)
Non Purifikasi	U1	2,5	12,38	202
	U2	2,5	9,54	262
	U3	2,5	7,54	332
Purifikasi	U1	2,5	5,60	440
	U2	2,5	4,55	552
	U3	2,5	4,36	573

Peningkatan laju aliran setelah purifikasi mengindikasikan bahwa gas hasil pemurnian memiliki densitas yang lebih rendah akibat berkurangnya kandungan gas pengotor seperti CO₂ dan H₂S. Gas yang terkondensasi ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa biogas disalurkan pipa akan terkondensasi dan menjadi faktor penghambat pada aliran biogas (Werkneh, 2022)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan dari desain alat purifikasi biogas berhasil dibuat sesuai rancangan yang telah direncanakan. Alat terdiri dari dua tabung filtrasi yang disusun secara seri dengan sistem pipa PVC serta dilengkapi dengan katup kontrol aliran gas. Desain ini berfungsi baik dalam memisahkan aliran gas non purifikasi dan aliran gas purifikasi.

Selain itu, hasil uji kinerja alat purifikasi menunjukkan kapasitas bahan yang bisa ditampung adalah 1,2 kg pada bahan adsorben arang aktif dan 4,5 kg pada bahan adsorben zeolit. Untuk data kuantitas kecepatan aliran biogas didapati hasil waktu pada ulangan pertama, laju aliran gas non-purifikasi mencapai 0,202 cm³/s, kemudian 0,262 cm³/s pada ulangan kedua, dan 0,332 cm³/s pada ulangan ketiga. Sebaliknya, pada perlakuan purifikasi, laju aliran gas yang terukur adalah 0,440 cm³/s pada ulangan pertama, 0,552 cm³/s pada ulangan kedua, dan 0,573 cm³/s pada ulangan ketiga.

Sementara untuk data kualitas menunjukkan adanya peningkatan kualitas biogas yang dilihat pada penurunan gas pengotor seperti CO₂ dari 7113 ppm menjadi 859 ppm. Pada kadar kandungan H₂S tercatat nilai 404 ppm menurun menjadi 102 ppm. Sehingga dapat disimpulkan alat mampu menghasilkan laju aliran gas yang stabil serta suhu nyala api yang lebih tinggi dibandingkan biogas tanpa purifikasi. Sementara pada efektivitas alat purifikasi dalam menurunkan kadar CO₂ dan H₂S menunjukkan hasil yang signifikan. Presentase penurunan H₂S mencapai sekitar 75,1%, CO₂ sebesar 86,4%, dan peningkatan CH₄ sebesar 16,5%. Hal ini

menunjukkan bahwa sistem purifikasi menggunakan kombinasi zeolit dan arang aktif mampu meningkatkan kualitas biogas dengan baik.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Penelitian berikutnya disarankan untuk menguji variasi ketebalan dan massa media adsorben, seperti arang aktif dan zeolit, guna memperoleh kapasitas penyerapan yang optimal terhadap gas-gas pengotor dalam biogas. Selain itu, penggunaan sensor gas dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi atau gas analyzer otomatis perlu dipertimbangkan agar pengukuran kadar CH₄, CO₂, dan H₂S dapat dilakukan dengan lebih presisi. Pengembangan lebih lanjut juga dapat difokuskan pada penyempurnaan desain alat purifikasi sehingga dapat diintegrasikan secara langsung dengan unit digester skala rumah tangga maupun peternakan, sehingga penerapannya menjadi lebih praktis dan bermanfaat bagi masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggito, A. T. (2020). *Studi Pembangkitan Energi Listrik berbasis Biogas*. 5–38.
- Druzyanova, V., Petrova, S., Khiterkheeva, N., Bardamova, I., & Gergenova, T. (2020). The use of zeolites for biogas purification in agricultural production. *E3S Web of Conferences*, 175, 0–11. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017512012>
- 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>
- Liu, J., Chen, Q., & Qi, P. (2020). *Upgrading of Biogas to Methane Based on Adsorption*.
- Majedi, F., Choirul Arifin, A., Puspitasari, I., Saputro, S. D., & Nurfaranto, S. (2022). Purifikasi Biogas Berbasis Adsorben Zeolit Diaktivasi KOH Dan NaOH Terhadap Kualitas Biogas. *Jurnal Teknologi*, 14(1), 55–60.
- Nasher, A., Kozman, Y., Scholar, M. T., & Engineering, P. (2020). *A Study on H₂S efficiency through membrane technique and Activated Carbon (CKC) Performance Improvement with Oxygen*. 6(12), 189–195.
- Ramirez, M. (2020). *Advances in Biogas Desulfurization*.
- Ritonga, A. M., Masrukhi, & Kusmayadi, R. P. (2020). Pemurnian Biogas Metode Adsorpsi Menggunakan Down-Up Purifier dengan Arang Aktif dan Silika Gel sebagai Adsorben. *Journal of Agricultural and Biosystem Engineering Research*, 1(1), 72–82.
- Tira, H. S., Padang, Y. A., & Arifin, M. S. (2024). *The Effectiveness of Two-Stage Adsorption Using Adsorbents Activated with Strong Acid and Base Solutions on Biogas*. 8(2), 201–209. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v8i2.11447>
- Werkneh, A. A. (2022). Biogas impurities: environmental and health implications, removal technologies and future perspectives. *Heliyon*, 8(10), e10929. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10929>