

# Peningkatan Kadar Metana Biogas dengan Adsorben Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Zeolit Alam pada Berbagai Laju Alir (Studi Kasus: Desa Carangwulung)

Muhammad Fathin Taqiyuddin, Firra Rosariawari\*, Praditya Sigit Ardisty Sitogasa

Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

\*Koresponden email: firra.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 24 Juni 2025

Disetujui: 30 Juni 2025

## Abstract

Biogas is a potential renewable energy source, but the content of impurity gases such as carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) and hydrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ) reduces its quality and efficiency as a fuel. This study aims to analyze the effectiveness of the adsorption method using a combination of coconut shell activated carbon and natural zeolite in increasing methane ( $\text{CH}_4$ ) levels in biogas. The biogas used was produced from a cattle farm in Carangwulung Village. The variables tested included variations in the composition of activated carbon (C) and zeolite (Z) adsorbents with biogas flow rates (0.2; 0.4; and 0.6 L/min). The test was carried out with an adsorbent mass of 300 grams activated by KOH and the resulting pressure ranged from 9–13 mbar. The results showed that the adsorbent composition of 50C:50Z with a flow rate of 0.2 L/min gave the best performance. Under these conditions,  $\text{CH}_4$  levels could increase from 45% to 87%, where there was an increase in methane by 48%. The adsorption process at low flow rates provides optimal contact time between gas and adsorbent, thus increasing the efficiency of increasing  $\text{CH}_4$  levels. Thus, the combination of coconut shell activated carbon and natural zeolite at low flow rates is effective in improving biogas quality through the adsorption process.

**Keywords:** *biogas, adsorption, activated carbon, zeolite, methane*

## Abstrak

Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang potensial, namun kandungan gas pengotor seperti karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) menurunkan kualitas dan efisiensinya sebagai bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas metode adsorpsi menggunakan kombinasi karbon aktif tempurung kelapa dan zeolit alam dalam meningkatkan kadar metana ( $\text{CH}_4$ ) pada biogas. Biogas yang digunakan diproduksi dari peternakan sapi di Desa Carangwulung. Variabel yang diuji meliputi variasi komposisi adsorben karbon aktif (C) dan zeolit (Z) dengan laju alir biogas (0,2; 0,4; dan 0,6 L/menit). Pengujian dilakukan dengan massa adsorben 300 gram yang teraktivasi KOH dan tekanan yang dihasilkan berkisar 9–13 mbar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi adsorben 50C:50Z dengan laju alir 0,2 L/menit memberikan performa terbaik. Pada kondisi ini, kadar  $\text{CH}_4$  dapat meningkat dari 45% menjadi 87%, dimana terjadi peningkatan metana sebesar 48%. Proses adsorpsi pada laju alir rendah memberikan waktu kontak optimal antara gas dan adsorben, sehingga meningkatkan efisiensi peningkatan kadar  $\text{CH}_4$ . Dengan demikian, kombinasi karbon aktif tempurung kelapa dan zeolit alam pada laju alir rendah efektif dalam meningkatkan kualitas biogas melalui proses adsorpsi.

**Kata kunci:** *biogas, adsorpsi, karbon aktif, zeolit, metana*

## 1. Pendahuluan

Desa Carangwulung, Kecamatan Wonosalam merupakan desa yang terletak di dataran tinggi, didukung oleh iklim sejuk, vegetasi tumbuhan, dan sumber air yang memadai, sehingga memiliki potensi untuk pengembangan peternakan, salah satunya peternakan sapi. Kotoran sapi sebagai limbah peternakan, mengandung bahan organik yang dapat diurai oleh mikroorganisme anaerobik untuk menghasilkan biogas dengan kondisi tertutup tanpa udara [1]. Namun dalam pemanfaatannya, biogas yang dihasilkan masih mengandung gas-gas pengotor. Menurut peternak sapi di Desa Carangwulung yang telah memanfaatkan kotoran sapi menjadi biogas, didapati bahwa biogas yang digunakan dapat merusak alat berbahan logam, berbau menyengat, dan kurang optimal sebagai bahan bakar karena kemurnian metana yang rendah.

Biogas umumnya mengandung metana ( $\text{CH}_4$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), dan sejumlah gas lainnya dalam konsentrasi kecil. Metana ( $\text{CH}_4$ ) berperan penting karena memiliki nilai

kalornya yang tinggi, menjadikannya sebagai sumber bahan bakar yang efisien [2]. Namun, keberadaan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) sebagai gas pengotor yang dapat bersifat korosif, beracun, dan menurunkan nilai kalor biogas [3]. Oleh karena itu, purifikasi biogas sangat penting untuk meningkatkan kualitasnya. Berbagai teknologi purifikasi biogas telah dikembangkan, termasuk metode adsorpsi fisika atau kimia, *membrane separation*, *chemical scrubbing*, *cryogenic separation*, *pressure swing adsorption*, dan *water scrubbing* [4].

Teknologi adsorpsi pada biogas berfungsi untuk menyerap gas pengotor, terutama karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) [5]. Dalam proses adsorpsi, material adsorben berperan penting dalam mengikat molekul-molekul gas tersebut. Material ini memiliki pori-pori, terutama di permukaan partikel. Berbagai jenis material, seperti karbon aktif dan zeolit, memiliki potensi sebagai adsorben yang efektif [6]. Penggunaan teknologi adsorpsi tidak hanya berfungsi untuk menyerap gas pengotor, tetapi juga dapat meningkatkan kadar metana ( $\text{CH}_4$ ) dalam biogas [7].

Karbon aktif dan zeolit merupakan dua adsorben efektif dalam purifikasi biogas. Karbon aktif dikenal karena luas permukaannya yang tinggi dan kemampuannya untuk menyerap gas-gas berbahaya, termasuk  $\text{H}_2\text{S}$ , yang dapat merusak peralatan dan mengurangi kualitas biogas. Penelitian oleh Pallalo dan Oskar (2023), menunjukkan bahwa karbon aktif dapat mengurangi kadar  $\text{H}_2\text{S}$  secara signifikan dalam biogas [8]. Sementara itu, zeolit memiliki struktur berpori yang memungkinkan selektivitas tinggi terhadap  $\text{CO}_2$ , menjadikannya pilihan yang baik untuk pemisahan gas, seperti yang dijelaskan oleh Pudi *et al.* (2022), yang menunjukkan bahwa zeolit dapat secara efektif menyerap  $\text{CO}_2$  tanpa mengganggu metana [9]. Penelitian sebelumnya oleh Suprianti *et al.* (2021), menunjukkan bahwa kombinasi karbon aktif dan zeolit dalam purifikasi biogas dapat meningkatkan efisiensi pemisahan gas, dengan hasil yang menunjukkan peningkatan kadar  $\text{CH}_4$  hingga 87,56% [10].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas metode adsorpsi dengan karbon aktif tempurung kelapa dan zeolit alam sebagai adsorben pada berbagai laju alir untuk meningkatkan kadar metana ( $\text{CH}_4$ ) pada biogas. Melalui pemahaman mendalam mengenai mekanisme proses adsorpsi, diharapkan dapat diidentifikasi adsorben dan laju alir yang lebih efisien dalam meningkatkan kualitas biogas.

## 2. Metode Penelitian

Lokasi pengambilan sampel biogas dan penelitian dilakukan di Peternakan Sapi Susu Segar, Desa Carangwulung, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang, Provinsi Jawa Timur. Penelitian ini menggunakan metode adsorpsi untuk meningkatkan kadar metana ( $\text{CH}_4$ ) dalam biogas. Adsorpsi dipilih karena merupakan metode yang ekonomis, mudah diterapkan, dan efektif dalam meningkatkan kadar metana ( $\text{CH}_4$ ) [10]. Pengambilan sampel biogas dilakukan pagi hari agar komposisi gas yang dihasilkan dapat terjaga dan dilakukan dengan hati-hati untuk memastikan representatif dan kualitas sampel yang akan dianalisis.

Parameter utama yang dianalisis dalam penelitian ini mencakup kadar metana ( $\text{CH}_4$ ) pada *inlet* dan *outlet* kolom adsorpsi. Pengukuran dilakukan menggunakan alat gas *chromatography* di laboratorium. Hasil pengukuran gas *chromatography* dinyatakan dalam satuan % vol (persen berdasarkan volume) yang menunjukkan jumlah gas dalam volume tertentu. Data hasil analisis gas diolah secara deskriptif kuantitatif, yakni dengan menghitung efektivitas peningkatan kadar metana ( $\text{CH}_4$ ) berdasarkan persentase perbandingan kadar metana ( $\text{CH}_4$ ) *inlet* dan *outlet* kolom adsorpsi. Rumus efektivitas peningkatan  $\text{CH}_4$  yang digunakan yaitu.

$$\% \text{CH}_4 = \frac{\% \text{CH}_4 \text{ output} - \% \text{CH}_4 \text{ input}}{\% \text{CH}_4 \text{ output}} \times 100\%$$

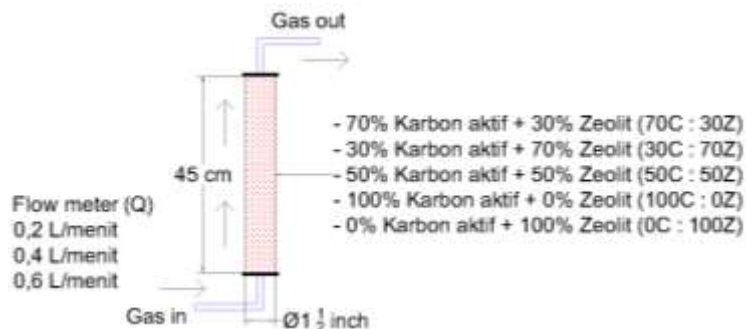
Hasil terbaik ditentukan berdasarkan nilai efektivitas tertinggi, yang mencerminkan laju alir dan kombinasi adsorben optimal dalam menyerap gas pengotor secara maksimal, sehingga meningkatkan kadar metana ( $\text{CH}_4$ ) secara signifikan.

### Prosedur Penelitian

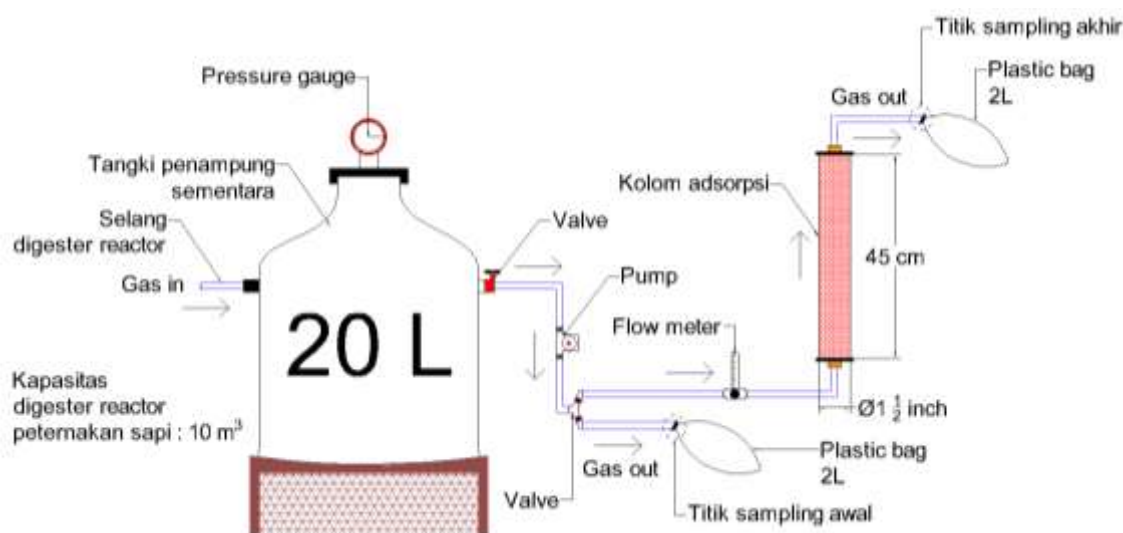
Proses aktivasi karbon aktif dari tempurung kelapa dan zeolit alam dimulai dengan menyiapkan bahan berukuran 8–16 mesh. Karbon dan zeolit kemudian diaktivasi dengan merendam dalam larutan kalium hidroksida (KOH) 25% selama 24 jam. Penggunaan KOH sebagai aktivator dipilih karena kemampuannya yang efektif membuka pori-pori dan meningkatkan luas permukaan adsorben [11], sehingga kapasitas adsorpsi terhadap gas pengotor seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  meningkat signifikan. Setelah perendaman, bahan dicuci dengan aquadest hingga mencapai pH netral untuk menghilangkan sisa larutan

kimia. Selanjutnya, karbon dan zeolit dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Suhu ini dipilih karena cukup untuk menghilangkan kelembapan tanpa merusak struktur pori bahan [12], sehingga menjaga kualitas adsorben tetap optimal selama proses purifikasi biogas.

Pada tahap running reaktor, masing-masing adsorben dengan massa 300 gram dimasukkan ke dalam kolom adsorpsi. Pemilihan massa adsorben 300 gram karena dinilai cukup untuk menyerap kadar gas pengotor [13] Kemudian kolom adsorpsi ditutup dengan rapat agar kedap udara dan dihubungkan dengan tangki penampung sementara yang dilengkapi *pressure gauge* untuk mencatat tekanan yang dihasilkan. Biogas hasil fermentasi dialirkan secara kontinu melalui selang penghubung dengan laju alir yang diatur menggunakan *flow meter* pada variasi 0,2; 0,4; dan 0,6 L/menit. Laju alir ini efektif dalam meningkatkan kadar metana (CH<sub>4</sub>) [14]. Sampel biogas diambil pada *inlet* dan *outlet* kolom adsorpsi untuk dianalisis kadar gasnya menggunakan gas chromatography. Ilustrasi rancangan reaktor dalam penelitian ini ditampilkan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.



**Gambar 1.** Desain Reaktor Kolom Adsorpsi  
Sumber: Peneliti (2025)



**Gambar 2.** Desain Rangkaian Reaktor Purifikasi Biogas  
Sumber: Peneliti (2025)

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Hasil Penelitian

Kandungan metana (CH<sub>4</sub>) dalam biogas menjadi faktor utama yang memengaruhi efisiensi dan kualitas proses pembakarannya. Biogas berkualitas baik memiliki kandungan metana sekitar 55-70% [15]. Kadar CH<sub>4</sub> yang tinggi akan meningkatkan nilai kalor biogas, sehingga menghasilkan proses pembakaran yang lebih efisien. Namun, jika biogas yang dihasilkan masih mengandung gas pengotor seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S, nilai kalor biogas akan menurun. Hal ini dapat menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna dan menurunkan efisiensi sistem pembakaran.

Pada penelitian ini, pengukuran kadar metana (CH<sub>4</sub>) diukur menggunakan alat gas *chromatography*. Hasil pengukuran gas *chromatography* dinyatakan dalam satuan % vol (persen berdasarkan volume) yang menunjukkan jumlah gas dalam volume tertentu. Kemudian pengukuran tekanan dilakukan untuk mengetahui berapa besar tekanan yang akan dialirkan menuju kolom adsorpsi. Hasil pengukuran kadar metana (CH<sub>4</sub>) pada *inlet* dan *outlet* kolom adsorpsi dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Hasil Pengukuran Kadar Biogas pada *Inlet* dan *Outlet* Kolom Adsorpsi

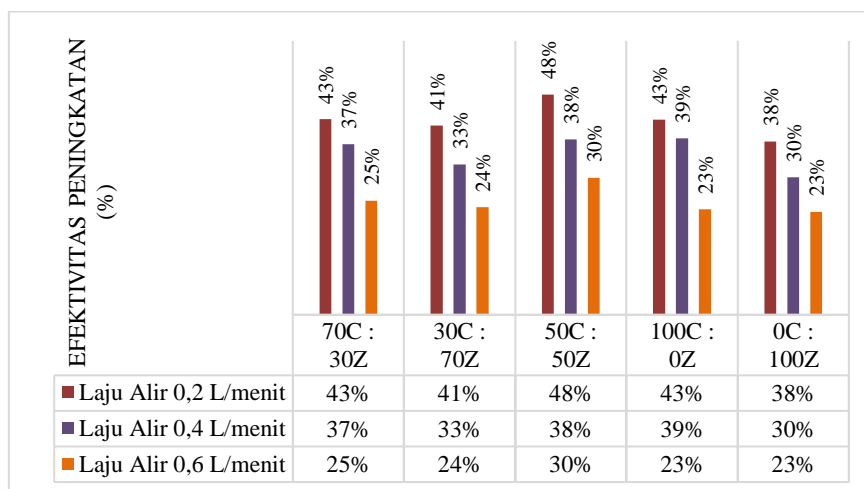
Komposisi Adsorben (%)	Massa Adsorben (gram)	Laju Alir (L/menit)	Tekanan (mbar)	<i>Inlet</i> CH <sub>4</sub> (%)	<i>Outlet</i> CH <sub>4</sub> (%)
70C:30Z	300	0,2	11	48	84
30C:70Z			11	48	82
50C:50Z			9	45	87
100C:0Z			10	47	82
0C:100Z			13	49	79
70C:30Z		0,4	9	47	75
30C:70Z			10	49	73
50C:50Z			9	48	78
100C:0Z			9	46	75
0C:100Z			11	51	73
70C:30Z	300	0,6	9	51	68
30C:70Z			10	52	68
50C:50Z			10	49	70
100C:0Z		0,6	10	50	65
0C:100Z			9	48	62

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan **Tabel 1** peningkatan kadar metana (CH<sub>4</sub>) setelah purifikasi menjadi indikator keberhasilan proses adsorpsi secara keseluruhan. Sebelum proses, kadar CH<sub>4</sub> dalam biogas berkisar antara 45% hingga 52%, yang masih tergolong rendah untuk keperluan energi yang lebih tinggi. Setelah proses adsorpsi, kadar CH<sub>4</sub> meningkat signifikan, terutama pada komposisi adsorben 50C:50Z dengan laju alir 0,2 L/menit, yang mampu meningkatkan kadar CH<sub>4</sub> hingga 87%. Pada laju alir 0,4 L/menit, peningkatan kadar CH<sub>4</sub> masih terjadi, namun lebih rendah. Komposisi 50C:50Z tetap menjadi yang paling efektif dengan kadar CH<sub>4</sub> naik dari 48% menjadi 78%. Sementara pada laju alir 0,6 L/menit, hasilnya menurun lebih jauh, dengan peningkatan kadar CH<sub>4</sub> pada komposisi 50C:50Z hanya dari 49% menjadi 70%. Penurunan efektivitas pada laju alir yang lebih tinggi ini disebabkan oleh waktu kontak gas dengan adsorben yang semakin singkat, sehingga proses penyerapan gas pengotor seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S tidak berlangsung optimal [16].

#### Efektivitas Peningkatan Kadar CH<sub>4</sub> pada Biogas

Grafik pengaruh antara variasi komposisi adsorben dengan laju alir biogas terhadap efektivitas peningkatan CH<sub>4</sub> dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Grafik Efektivitas Peningkatan Kadar CH<sub>4</sub>  
Sumber: Hasil Analisis (2025)

Pada **Gambar 3**, ditampilkan grafik efektivitas peningkatan  $\text{CH}_4$  yang memperlihatkan bahwa laju alir gas dan komposisi adsorben memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan proses pemurnian biogas. Efektivitas tertinggi diperoleh pada komposisi adsorben 50C:50Z dengan laju alir 0,2 L/menit, menghasilkan peningkatan kadar  $\text{CH}_4$  sebesar 48%. Menurut [17], peningkatan kadar  $\text{CH}_4$  ini bukan disebabkan oleh bertambahnya volume metana, melainkan karena penurunan kandungan  $\text{CO}_2$  dalam biogas. Dalam komposisi utama biogas yang terdiri atas  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$ , penurunan  $\text{CO}_2$  secara langsung meningkatkan persentase  $\text{CH}_4$  secara relatif. Oleh karena itu, peningkatan kadar  $\text{CH}_4$  menjadi indikator efektivitas proses adsorpsi. Namun, efektivitas cenderung menurun pada laju alir yang lebih tinggi, terutama pada 0,6 L/menit, dengan efektivitas terendah sebesar 23% pada komposisi 0C:100Z. Penurunan ini disebabkan oleh waktu tinggal (*residence time*) yang lebih singkat, sehingga interaksi antara molekul gas dan permukaan adsorben menjadi kurang optimal, dan gas seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  tidak sempat teradsorpsi secara sempurna.

Selain laju alir, komposisi adsorben juga berperan penting dalam menentukan hasil pemurnian. Campuran karbon aktif dan zeolit dalam perbandingan seimbang 50C:50Z menunjukkan kinerja terbaik karena kedua material tersebut saling melengkapi. Karbon aktif tempurung kelapa dan zeolit alam memiliki perannya masing-masing dalam mengadsorpsi gas pengotor seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$ , sehingga peningkatan kadar metana ( $\text{CH}_4$ ) dapat signifikan. Penelitian oleh Suprianti *et al.* (2021) mendukung hasil ini, di mana campuran 50:50 dapat meningkatkan kadar  $\text{CH}_4$  dari 23,63% menjadi 70,32% [10]. Sementara itu, komposisi 0C:100Z dengan laju alir 0,2 L/menit hanya menunjukkan peningkatan  $\text{CH}_4$  sebesar 38%, yang diduga karena struktur kristal berpori zeolit memungkinkan sebagian molekul  $\text{CH}_4$  ikut teradsorpsi, apalagi bila tekanan melebihi 12 mbar seperti yang dilaporkan oleh Gunawan (2017), di mana tekanan optimal untuk menghindari teradsorpsinya  $\text{CH}_4$  adalah 12 mbar [18].

Hasil penelitian ini juga diperkuat oleh studi sebelumnya. Harmiansyah *et al.* (2022) menunjukkan bahwa kombinasi karbon aktif dan zeolit mampu meningkatkan kualitas biogas dengan menurunkan kadar  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  secara signifikan, dengan tekanan minimum 7 mbar sebagai syarat aliran gas melalui adsorben [19]. Penurunan laju alir juga dikaitkan dengan efektivitas pemurnian yang lebih tinggi karena waktu kontak gas dengan adsorben menjadi lebih lama. Meskipun efektivitas peningkatan  $\text{CH}_4$  sebesar 48% dalam penelitian ini cukup baik, nilainya masih lebih rendah dibandingkan penelitian Suprianti *et al.* (2021) yang mencatat peningkatan sebesar 66% [10], dan Ritonga *et al.* (2021) yang melaporkan peningkatan hingga 136,5% dengan kombinasi adsorben yang sama [20]. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan waktu kontak, massa adsorben, serta luas permukaan adsorben yang digunakan. Secara teoritis, mekanisme adsorpsi yang terjadi merupakan fisisorpsi, di mana gaya Van der Waals mendominasi interaksi antara molekul gas dan permukaan adsorben. Efektivitas proses ini juga dipengaruhi oleh ukuran pori, luas permukaan, polaritas molekul gas, dan tekanan sistem, sehingga pemilihan adsorben dan pengaturan laju alir menjadi faktor kunci dalam meningkatkan kadar  $\text{CH}_4$  pada biogas hasil purifikasi.

Pada dasarnya, tekanan biogas sangat penting untuk diperhatikan karena berpengaruh langsung pada kestabilan nyala api dan efisiensi pembakaran kompor biogas. Dalam praktiknya tekanan kerja kompor biogas yang optimal berada di kisaran 14,5 hingga 31,9 mbar, yang mampu menghasilkan nyala api stabil dengan daya panas sekitar 3 kW [21]. Biogas dari peternakan sapi di Desa Carangwulung dengan *digester* berkapasitas 10 m<sup>3</sup> tercatat mampu mencapai tekanan hingga 70 mbar, yang sudah mencukupi untuk menyalakan kompor secara stabil. Hal serupa juga disampaikan oleh Nugraha *et al.* (2024) bahwa tekanan dari *digester* berkapasitas 10 m<sup>3</sup> dapat mencapai lebih dari 10 kPa atau sekitar 50 mbar secara konsisten [22]. Sementara itu, Achmad *et al.* (2018) menyatakan *digester* dengan kapasitas 12 m<sup>3</sup> mampu menghasilkan tekanan biogas paling optimal sebesar 0.4206 lbf/in<sup>2</sup> atau sekitar 29 mbar. Tekanan biogas dapat bervariasi tergantung pada bahan baku, kapasitas *digester*, dan kondisi fermentasi [21].

Laju alir biogas juga sangat penting untuk diperhatikan, umumnya laju alir biogas yang diperlukan untuk menyalakan dan mempertahankan nyala api kompor adalah sekitar 4 L/menit [23]. Sementara itu, menurut Pedoman Pengguna Biogas (2020), kompor biogas dengan satu tungku umumnya mengonsumsi sekitar 350 – 400 L/jam atau sekitar 5,83 – 6,67 L/menit. Oleh karena itu, meskipun purifikasi biogas dengan laju alir 0,2; 0,4; dan 0,6 L/menit serta tekanan yang dihasilkannya mampu meningkatkan kadar metana secara signifikan, laju alir tersebut masih di bawah standar minimum yang dibutuhkan untuk pembakaran langsung yang stabil. Sehingga diperlukan tangki penampung biogas setelah proses purifikasi agar tekanan dan laju alir gas yang digunakan untuk kompor dapat terpenuhi secara optimal. Dengan demikian, tekanan dan laju alir yang sesuai dapat dipertahankan untuk menghasilkan nyala api yang stabil dan menghindari fluktuasi yang dapat memadamkan api [24].



#### 4. Kesimpulan

Adsorpsi menggunakan kombinasi adsorben karbon aktif tempurung kelapa dan zeolit alam terbukti efektif dalam meningkatkan kadar  $\text{CH}_4$  dalam biogas. Percobaan yang dilakukan pada laju alir 0,2; 0,4; dan 0,6 L/menit menunjukkan bahwa laju alir rendah (0,2 L/menit) memberikan hasil paling optimal. Pada kondisi ini, komposisi adsorben 50C:50Z mampu meningkatkan kadar metana ( $\text{CH}_4$ ) dari 45% menjadi 87%, menghasilkan efektivitas peningkatan kadar  $\text{CH}_4$  sebesar 48%. Efektivitas yang tinggi pada laju alir rendah disebabkan oleh waktu kontak yang lebih lama antara gas dan adsorben, sehingga proses pemisahan gas pengotor berlangsung lebih maksimal.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting bagi masyarakat dengan menawarkan solusi purifikasi biogas yang lebih efisien dan ramah lingkungan menggunakan bahan lokal seperti karbon aktif tempurung kelapa dan zeolit alam. Selain itu, hasil ini membuka peluang pengembangan penelitian selanjutnya untuk mengoptimalkan desain reaktor adsorpsi dan skala produksi biogas berkualitas tinggi guna mendukung energi terbarukan di tingkat rumah tangga maupun industri kecil.

#### 5. Singkatan

KOH	Kalium Hidroksida
$\text{CO}_2$	Karbon Dioksida
$\text{H}_2\text{S}$	Hidrogen Sulfida
%	Persentase
ppm	Part Per Million
mbar	Milibar

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] Putra and N. M. Seniari, "Analisis Potensi Limbah Kotoran Sapi Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 18, pp. 2–7, 2024.
- [2] W. A. Wibowo, P. Paryanto, R. A. Lutfiani, and R. M. Putra, "Pemurnian Biogas Dari Gas  $\text{H}_2\text{S}$  Menggunakan Karbon Aktif Dari Buah Mangrove," *J. Inov. Tek. Kim.*, vol. 5, no. 1, pp. 2–5, 2020, doi: 10.31942/inteka.v5i1.3393.
- [3] N. T. Saputra, L. Kalsum, and R. Junaidi, "Pemurnian Biogas dari Co-Digestion Limbah Cair Industri Tahu dengan Kotoran Sapi Menggunakan Adsorben MEA Pada Kolom Isian," vol. VIII, no. 3, pp. 6608–6614, 2023.
- [4] M. J. B. Kabeyi and O. A. Olanrewaju, "Biomethane Production and Applications," *Anaerob. Dig. - Biotechnol. Environ. Sustain.*, 2024, doi: 10.5772/intechopen.112059.
- [5] A. K. Samlawi and H. Sajali, "Efektivitas Penggunaan Arang Tempurung Kelapa, Arang Amerika, Arang Kayu Laban, dan Arang Kayu Galam Terhadap Pemurnian Biogas," vol. 6, no. 2, pp. 162–173, 2021, doi: 10.20527/sjmekinematika.v6i2.200.
- [6] F. N. Rahmat, "Analisis Pemanfaatan Sampah Organik Menjadi Energi Alternatif Biogas," no. February 2023, pp. 0–4, 2021, doi: 10.14710/jebt.2023.16497.
- [7] L. M. Basri, H. S. Tirta, and Y. A. Padang, "Pengurangan Kandungan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  Dalam Biogas Menggunakan Karbon Aktif Sekam Padi," *Din. Tek. Mesin*, vol. 05, no. 5, pp. 1–5, 2023.
- [8] F. Palallo and I. Oskar, "Pengaruh Ukuran Arang Aktif Sebagai Filter Terhadap Reduksi Hidrogen Sulfida Pada Biogas," *J. Nas. Tek. Mesin Cycloid*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2023.
- [9] A. Pudi, M. Rezaei, V. Signorini, M. P. Andersson, M. G. Baschetti, and S. S. Mansouri, "Hydrogen Sulfide Capture and Removal Technologies: A Comprehensive Review of Recent Developments and Emerging trends," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 298, no. June, p. 121448, 2022, doi: 10.1016/j.seppur.2022.121448.
- [10] Y. Suprianti, P. Iriani, and A. F. Nugraha, "Uji Kinerja Campuran Adsorben Karbon Aktif dan Zeolit untuk Pemisahan Karbon Dioksida dari Biogas dengan Metode Adsorpsi," vol. 5, no. 1, pp. 18–26, 2021.
- [11] Y. W. Hydhayat, M. A. S. A. Rifai, and S. Sani, "Karbon Aktif Dari Limbah Daun Jati Menggunakan Aktivator Larutan Koh," *J. Tek. Kim.*, vol. 16, no. 2, pp. 87–92, 2022, doi: 10.33005/jurnal\_tekkim.v16i2.3050.
- [12] A. Askaputra and A. T. Yuliansyah, "Pengaruh Variasi Suhu Hidrotermal dan Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) terhadap Kemampuan Hydrochar sebagai Adsorben pada Proses Adsorpsi Limbah Cair Metilen Biru," *J. Rekayasa Proses*, vol. 14, no. 2, p. 160, 2020, doi: 10.22146/jrekpros.57394.

- [13] E. Apriyanti, "Adsorpsi CO<sub>2</sub> Menggunakan Zeolit Aplikasi Pada Pemurnian Biogas," *J. Univ. Pandanaran*, vol. 10, no. 22, pp. 81–91, 2012.
- [14] F. Fourqoniah, L. Kalsum, and S. Yulianti, "Biogas Purification by Adsorption Method Using Activated Carbon and Zeolite Adsorbents," *Equilib. J. Chem. Eng.*, vol. 7, no. 2, p. 153, 2023, doi: 10.20961/equilibrium.v7i2.77835.
- [15] F. Manta, K. D. Artika, D. Suanggana, and P. D. Tondok, "Analisis Campuran Substrat Kotoran Sapi Dan Limbah Organik Pasar Terhadap Produktivitas Biogas," *Elem. J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 31–39, 2022, doi: 10.34128/je.v9i1.192.
- [16] Y. Handayani, K. A. Ridwan, and I. Febriana, "Pemurnian Biogas Kotoran Sapi dan Limbah Cair Tahu Media Adsorben Karbon Aktif dan Silika Gel," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 7, pp. 21367–21374, 2023, [Online]. Available: <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/9895%0Ahttps://jptam.org/index.php/jptam/article/download/9895/8019>
- [17] F. S. P. Putra, "Pengaruh Jumlah Lapisan Zeolit Terhadap Kandungan Gas CO<sub>2</sub> Dalam Proses Purifikasi Biogas Sistem Continue," 2012.
- [18] K. S. Gunawan, "Optimisasi Desain Pressure Swing Adsorption Sebagai Carbon Capture Pada Kasus PLTU Paiton Dan PLTG Muara Tawar," 2017.
- [19] Harmiansyah, L. P. Afisna, S. D. Atmaja, F. Qalbina, and R. Efendi, "Analisis Pengaruh Adsorbent Padat Terhadap Kualitas Kandungan Biogas," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 7, no. 2, pp. 108–119, 2022, doi: 10.20527/sjmekinematika.v7i2.238.
- [20] A. M. Ritonga, M. Masrukhi, and A. Mafrukhi, "Peningkatan Kualitas Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Purifier Bertingkat Seri Menggunakan Adsorben Arang Aktif Dan Zeolit," *Rona Tek. Pertan.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–14, 2021, doi: 10.17969/rtp.v14i1.17321.
- [21] N. Achmad, Kasidi, and S. Mahendra, "Analisa Kapasitas Dan Tekanan Biogas Pada Digester Volume 12 M<sup>3</sup> Di Kelompok Peternak Sapi Di Desa Besito Kecamatan Gebog ...," *Senadimas*, vol. 12, pp. 96–102, 2018,
- [22] R. A. Nugraha, Y. H. Arita, M. R. A. Marendra, A. A. Nanda, and E. Apriaskar, "Desain Sistem Pemantauan Tekanan Digester Biogas Berbasis Internet of Things Studi Kasus: Digester Biogas 10 m<sup>3</sup> di Desa Rejosari, Kabupaten Demak," *J. Teknol.*, vol. 12, no. November, pp. 68–78, 2024, doi: 10.31479/jtek.v12i1.355.
- [23] N. Tawaf, "Perancangan Mesin Kompresi Biogas untuk Pemenuhan Kebutuhan Biogas di Kabupaten Sumbawa," *Pros. Semin. Nas. IPPeMas*, pp. 747–751, 2020, [Online]. Available: <http://e-journalppmunsa.ac.id/index.php/ippemas2020/article/view/245>
- [24] Rozaq, Abdur. "Perancangan Filter Purifikasi Biogas Menggunakan Wet Scrubber." *Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya* (2016).