

## Optimalisasi Kualitas Biogas: Penyisihan Zat Pengotor dari Limbah Cair Tahu dengan Metode Adsorpsi

Besse Sri Wahyuni<sup>1</sup>, Musdania<sup>2</sup>, C. Selry Tanri<sup>3</sup>, Rakhmad Armus<sup>4\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>*Sekolah Tinggi Teknologi Nusantara Indonesia, Departemen Teknik Lingkungan, Makassar, Indonesia*

\*[rakhmad.armus@stitek nusindo.ac.id](mailto:rakhmad.armus@stitek nusindo.ac.id)

### ARTICLE INFO

Article history:  
Received: 11-5-2025  
Revised: 20-5-2025  
Accepted: 22-5-2025  
Available online: 25-5-2025

### ABSTRAK

Gas metana ( $\text{CH}_4$ ) merupakan gas yang dihasilkan oleh aktivitas bakteri anaerobik atau hasil fermentasi dari bahan-bahan organik yang dapat terurai. Biogas mengandung metana,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  dan gas-gas lain dalam jumlah kecil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat daya serap adsorben silika gel dalam menyisihkan zat pengotor biogas terhadap limbah cair industri tahu dengan metode adsorpsi. Penelitian dilakukan dengan uji coba di Laboratorium dan dianalisis secara kuantitatif dengan metode adsorpsi menggunakan adsorben silika gel yang telah diaktifkan dengan konsentrasi NaOH 1N; 0,5 N; 0,25 N; 0,125 N; dan 0,0625 N untuk penyisihan  $\text{CO}_2$  sedang silika gel tanpa pengaktifan NaOH untuk menyisihkan  $\text{H}_2\text{O}$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan  $\text{CO}_2$  pada konsentrasi NaOH 1 N (0,016%), 0,5 N (0,013%), 0,25 N (0,017%), 0,125 N (0,020%), dan 0,0625 N (0,016%) dengan persentase penurunan masing-masing 0,006%; 0,009%; 0,005%; 0,002%; dan 0,006% dari kontrol 0,022%. Sedangkan  $\text{H}_2\text{O}$  tidak terdeteksi karena mengalami penguapan. Dari hasil penelitian tersebut maka penyisihan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dengan metode adsorpsi perlu ditentukan waktu kontak adsorpsi sehingga zat pengotor biogas yang terserap semakin besar.

**KATA KUNCI:** biogas; energi terbarukan; adsorpsi; limbah air tahu; zat pengotor

### ABSTRACT

Methane gas ( $\text{CH}_4$ ) is a gas produced by the activity of anaerobic bacteria or the result of fermentation of organic materials that can be decomposed. Biogas contains methane,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  and other gases in small amounts. This study aims to determine the level of absorption of silica gel adsorbents in removing biogas impurities from tofu liquid waste by the adsorption method. The research was conducted with a trial in the Laboratory and analyzed quantitatively with the adsorption method using silica gel adsorbent that had been activated with NaOH concentrations of 1N; 0.5 N; 0.25 N; 0.125 N; and 0.0625 N for  $\text{CO}_2$  removal while silica gel without NaOH activation to remove  $\text{H}_2\text{O}$ . The results of the study showed that the  $\text{CO}_2$  content at NaOH concentrations of 1 N (0.016%), 0.5 N (0.013%), 0.25 N (0.017%), 0.125 N (0.020%), and 0.0625 N (0.016%) with a percentage decrease of 0.006%; 0.009%; 0.005%; 0.002%; and 0.006% from the control of 0.022%. While  $\text{H}_2\text{O}$  was not detected because it evaporated. From the results of the study, the removal of  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$  by the adsorption method needs to determine the adsorption contact time so that the biogas impurities absorbed are greater.

**KEYWORDS:** biogas; renewable energy; adsorption; tofu liquid waste; impurities



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

## 1. PENDAHULUAN

Permintaan akan kebutuhan energi setiap tahun terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi yang semakin cepat. Pertumbuhan ini tidak hanya disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk, tetapi juga oleh

perkembangan industri, urbanisasi, dan perubahan gaya hidup yang mendorong konsumsi energi yang lebih besar [1]. Selama bertahun-tahun, energi fosil, yang mencakup minyak bumi, gas alam, dan batu bara telah menjadi sumber energi utama untuk memenuhi kebutuhan energi global. Menurut laporan dari *International Energy Agency* (IEA), pada tahun 2022, sekitar 80% dari total konsumsi energi dunia berasal dari sumber energi fosil, yang terdiri dari Minyak Bumi sekitar 31%, Gas Alam 24%, Batu Bara 25% dari total konsumsi energi. Energi fosil ini telah mendominasi pasar energi dunia karena kemudahan akses dan biaya produksi yang relatif rendah [2]. Selain itu, penggunaan energi fosil juga berkontribusi terhadap masalah lingkungan, seperti polusi udara dan perubahan iklim, yang semakin mendesak untuk diatasi. Oleh karena itu, demi memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat dan menjaga keberlanjutan lingkungan, para peneliti dan ilmuwan di seluruh dunia terus berupaya mengembangkan sumber energi alternatif [3],[4].

Seperti halnya di Indonesia, untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak [5]. Salah satu sumber energi alternatif yang cukup populer adalah biogas. Biogas merupakan gas yang dihasilkan oleh bakteri apabila bahan organik mengalami proses fermentasi dalam reaktor (biodigester) dalam kondisi anaerob (tanpa udara) [6].

Biogas dapat dihasilkan dari berbagai limbah biomassa berupa limbah pertanian, limbah peternakan, limbah perairan, sampah organik dan limbah industri tahu [7]. Sebagaimana diketahui bahwa limbah industri tahu mengandung gas-gas seperti gas nitrogen ( $N_2$ ), oksigen ( $O_2$ ), hidrogen sulfida ( $H_2S$ ), amonia ( $NH_3$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan metana ( $CH_4$ ) [8]. Selain itu limbah cair tersebut mengandung bahan organik tinggi yang dapat menghasilkan energi yang dapat diperbaharui serta dijamin kontinuitas ketersediaannya dan ramah lingkungan, begitu pula keberlanjutan keberadaan biogas [9]. Proses fermentasi anaerobik yang terjadi dalam kondisi tanpa oksigen memungkinkan mikroorganisme menguraikan bahan organik tersebut menjadi gas metana ( $CH_4$ ) dan karbon dioksida ( $CO_2$ ). Selain itu, biogas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan untuk keperluan memasak, pemanasan, dan pembangkit listrik, sehingga berkontribusi terhadap pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Pengolahan limbah ini juga membantu mengurangi pencemaran lingkungan dan memberikan solusi berkelanjutan bagi pengelolaan limbah.

Potensi pengembangan biogas di Indonesia masih cukup besar. Hal tersebut mengingat di Indonesia saat ini terdapat 84.000 industri tahu dan jumlah limbah cair yang dihasilkan mencapai 20 juta m<sup>3</sup> per tahun. Limbah industri tahu dari satu meter kubik limbah menjadi 6.500 liter biogas (Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT) [10].

Penelitian bertujuan untuk mengoptimasi konsentrasi adsorben dalam penyisihan zat pengotor dari limbah cair air tahu agar kualitas biogas menjadi lebih optimal. Penggunaan silika gel dalam menyerap  $H_2O$  memiliki tingkat serapan yang tinggi karena pori silika gel yang hanya mampu menyerap molekul air [11]. Sementara pada proses penyerapan senyawa  $CO_2$  dilakukan pengikatan silika gel dengan larutan NaOH, sehingga adsorben tersebut dapat selektif terhadap  $CO_2$ . Hal ini karena gugus silanol pada permukaan silika gel dapat terikat dengan NaOH [12]. Berdasar penelitian sebelumnya, [13] telah melakukan pemuatan amina pada silika gel komersial (SG-PEI) yang menunjukkan 245 mg  $CO_2/g$  adsorbent dalam menyerap  $CO_2$ . Lain pula dengan silika gel yang tergrafting amina (SG-APTES) dari abu bagasse menunjukkan 6,01 mmol  $\gamma$ -aminopropil/gram sampel yang berarti  $CO_2$  yang terserap juga tinggi.

## 2. METODE

Beberapa metode proses pemurnian gas metana seperti pengeringan, kristalisasi, pertukaran ion, dan adsorpsi telah diteliti lebih mendalam, namun dengan metode adsorpsi paling banyak diminati untuk diteliti karena metode ini efisien, biaya relatif murah, sederhana dan dapat bekerja pada konsentrasi gas rendah. Metode adsorpsi menggunakan adsorben silika gel tanpa pengikatan larutan NaOH dalam menyisihkan  $H_2O$  dan silika gel dengan pengikatan larutan NaOH untuk menyisihkan  $CO_2$  dalam biogas yang diolah dari limbah cair tahu.

Penelitian dilakukan dengan metode *cleansing* yaitu mengadakan penelitian pemurnian biogas dengan metode adsorpsi dilakukan secara fisika dan kimia (*composite adsorption*) menggunakan adsorben silika gel. Metode penelitian dibagi menjadi 4 tahap yaitu tahap pengumpulan data, tahap persiapan, tahap penentuan efektivitas biogas, dan tahap analisis dan penarikan kesimpulan dari penelitian.

### a. Pembuatan larutan NaOH

Banyaknya gram yang akan ditimbang untuk setiap normalitas adalah 1 N = 10 g; 0,5 N = 5 g; 0,25 N = 2,5 g; 0,125 N = 1,25 g; dan 0,0625N = 0,625 g kemudian masing-masing konsentrasi dilarutkan dalam 250 ml air pada labu erlenmeyer.

Rumus penentuan massa NaOH:

$$m NaOH = N \times V \times BM NaOH \quad (1)$$

Keterangan:

m = massa NaOH (g)

N = normalitas

V = volume air dalam 1 liter (l)

BM = berat molekul NaOH (g/mol)

b. Pengikatan silika gel dengan larutan NaOH

1. Massa NaOH dengan variasi konsentrasi yang telah dilarutkan, kemudian silika gel dibagi dalam lima bagian dengan massa yang sama.
2. Bagian-bagian silika gel tersebut diaktifkan dengan larutan NaOH selama 1 jam. Silika gel dipisahkan dengan larutan NaOH, lalu dikeringkan dalam oven selama 4 jam pada suhu 100 °C.

c. Pembuatan biogas dari limbah cair tahu

1. Pemeriksaan awal di lapangan berupa parameter pH dan suhu sampel yang akan diteliti.
2. Masukkan sampel sebanyak 90 liter ke dalam biodigester, aduk, kemudian tutup.
3. Diamkan selama 2-3 minggu. Setiap minggu dilakukan pemeriksaan parameter pH dan suhu. Pemeriksaan ini guna mengetahui baik tidaknya syarat proses fermentasi terbentuknya biogas.

Untuk menghitung tekanan menggunakan rumus:

$$P = \rho \times g \times h \quad (2)$$

Keterangan:

P = Tekanan (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = densitas air (kg/m<sup>3</sup>)

g = gaya gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

h = tinggi (m)

4. Biogas yang terbentuk ditampung pada kolom penampung, kemudian dilewatkan pada packed coloum adsorber yang berisi silika gel tanpa pengikatan larutan NaOH untuk penyerapan senyawa H<sub>2</sub>O.
  5. Untuk pengikatan senyawa CO<sub>2</sub> dengan menggunakan silika gel yang telah diikat dengan larutan NaOH. Biogas diinteraksikan dengan adsorber silika geldengan normalitas NaOH 1 N selama 30 menit.
  6. Pengulangan prosedur (e) untuk adsorber silika gel dengan normalitas 0,5 N; 0,25 N; 0,125 N; dan 0,0625 N. Lalu gas yang teradsorpsi ditampung pada balon penampung.
- d. Prosedur pemeriksaan sampel biogas
1. Siapkan balon gas yang berisi sampel biogas, letakkan di atas meja
  2. Siapkan syringe sampling gas ukuran 3 ml
  3. Ambil sampel gas sebanyak 1 ml dengan cara menusuk balon gas dengan syringe
  4. Injek syringe di bagian inlet GCMS
  5. Tekan tombol start di GCMS
  6. Tunggu waktu Residence Time (RT) selama 10 menit ( suhu isothermal 50 °C, tanpa Solvent Delay)
  7. Lalu baca chromatogram sampel
  8. Print chromatogram sampel dan spectrum massanya

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang memanfaatkan limbah cair tahu dari salah satu tahap dalam pembuatan tahu yaitu proses pencetakan/pengepresan sebagai bahan utama produksi biogas dengan menggunakan aktivator rumen sapi dalam waktu penguraian selama 24 hari. Selama proses tersebut dilakukan pengukuran sifat fisik seperti suhu, pH dan tekanan setiap 3 hari.

Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui tingkat daya serap adsorben silika gel dalam menyisihkan zat pengotor biogas dengan metode adsorpsi. Parameter gas yang akan diadsorpsi yaitu H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub>. Gas yang telah teradsorpsi dianalisis dengan Gas Chromatography & Mass Spectrometer (GC-MS) 7890A Agilent.

#### 3.1 Hasil Pengamatan

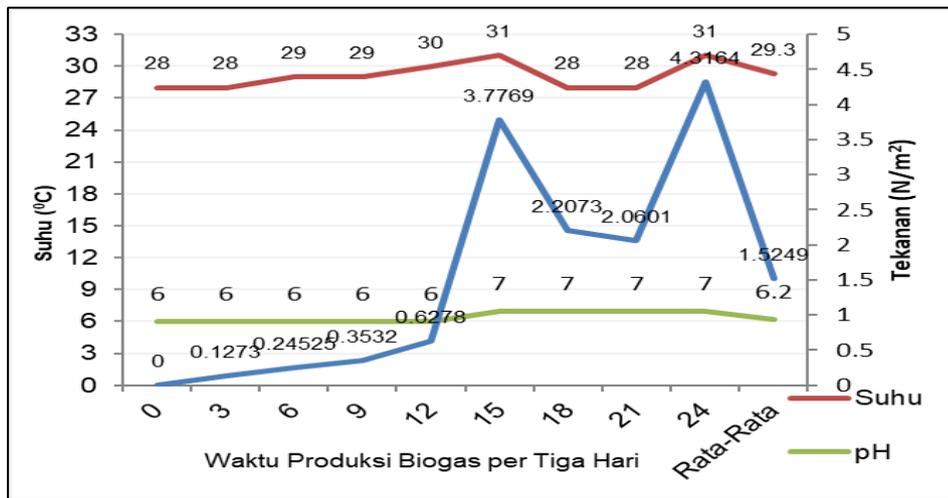
1. Suhu

Berdasarkan hasil pengukuran suhu setiap tiga hari dengan menggunakan termometer bahwa pada awal dekomposisi suhu pada kisaran 28 °C dan mengalami peningkatan sampai hari ke-15 pada suhu 31 °C. Kemudian turun selama 6 hari dan kembali meningkat pada hari puncak produksi biogas. Meskipun kondisi suhu berfluktuatif dengan suhu rata-rata 29,1 °C namun masih berada pada kisaran suhu proses dekomposisi yang baik yaitu suhu mesophilic antara 20 – 50 °C . Kondisi fluktuatif suhu tersebut seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perubahan suhu, pH, dan tekanan produksi biogas

Waktu (Hari)	pH	Suhu (°C)	Tekanan (N/m <sup>2</sup> )	Volume (L)
0	6	28	0	0
3	6	28	0,13734	1.65.104
6	6	29	0,24525	9.29.103
9	6	29	0,35316	6.45.103
12	6	30	0,62784	3.64.103

Ketika suhu mengalami penurunan di bawah suhu 28°C, aktivitas bakteri juga menurun sehingga produksi biogas pun akan menurun. Akan tetapi, saat suhu kembali naik aktivitas bakteri berlangsung dengan baik.



**Gambar 1.** Grafik perubahan suhu, pH, dan tekanan produksi biogas per tiga hari

Kerja dari bakteri penghasil biogas tergantung pada suhu di dalam digester. Perubahan suhu yang terlalu ekstrem di dalam digester akan mengakibatkan penurunan populasi bakteri sehingga terjadi penurunan produksi biogas secara cepat. Karena itu, penempatan digester biogas juga harus tepat. Penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan seperti suhu udara, kelembapan, dan paparan sinar matahari saat memilih lokasi untuk digester. Suhu optimal untuk aktivitas bakteri penghasil biogas biasanya berkisar antara 30°C hingga 40°C untuk proses mesofilik, dan 50°C hingga 60°C untuk proses termofilik. Penempatan digester di lokasi yang terlindung dari suhu ekstrem, seperti di dalam bangunan atau di area dengan naungan, dapat membantu menjaga suhu yang stabil. Dengan memperhatikan sirkulasi udara dan drainase di sekitar digester untuk mencegah akumulasi kelembapan yang berlebihan, yang dapat menyebabkan masalah seperti anaerobiosis yang tidak diinginkan dan pertumbuhan mikroorganisme pengganggu.

2. Tekanan

Dari hasil pengukuran tekanan setiap 3 hari dengan menggunakan manometer U dengan fluida air (cm H<sub>2</sub>O) bahwa pada awal dekomposisi sampai hari ke-12 tekanan pada kisaran 0,6278 N/m<sup>2</sup>. Hal ini menandai bahwa bakteri mulai beradaptasi terhadap kondisi lingkungan (suhu dan pH) sebelum terjadi produksi biomassa. Kondisi pertumbuhan bakteri tersebut dikenal sebagai *lag phase*. Setelah tahap ini berakhir, Tiga hari kemudian tekanan meningkat drastis. Peningkatan produksi gas terjadi karena aktivitas bakteri yang memasuki fase kedua pertumbuhan bakteri (*Exponensial Growth Phase*), bahan baku terurai lebih banyak sehingga menghasilkan gas yang lebih besar pula. Produksi gas yang secara eksponen dipengaruhi kenaikan suhu dan pH. Proses penguraian bahan baku tersebut terdiri dalam tiga tahap yaitu tahap hidrolisis, *Asidogenesis*, dan *Metanogenesis* [15]. Akan tetapi, produksi gas mulai menurun hingga 1 N/m<sup>2</sup> selama 6 hari akibat penurunan suhu secara drastis. Sebaliknya tekanan meningkat kembali seiring dengan kenaikan suhu. Kondisi naik turunnya tekanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Produksi gas dapat berfluktuasi secara signifikan tergantung pada beberapa faktor, termasuk kandungan padatan volatil dalam bahan baku, posisi penempatan digester yang mempengaruhi suhu dan sirkulasi udara, frekuensi pengadukan yang memastikan pencampuran homogen, serta aktivitas mikroba dalam digester yang berperan penting dalam proses fermentasi.

### 3. pH

Dari hasil pengukuran pH atau derajat keasaman yang dilakukan dengan menggunakan kertas pH, maka pada awal dekomposisi sampai pada hari ke-12 nilai pH di bawah pH netral. Akan tetapi pada hari ke-15 sampai pada puncak produksi biogas nilai pH 7. Kondisi naik turunnya nilai pH seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

pH dalam digester berpengaruh terhadap kinerja bakteri dalam proses fermentasi. Pada saat awal fermentasi, pH akan turun di bawah 6 atau lebih rendah akibat terbentuknya asam organik. Namun setelah 2-3 minggu, pH akan kembali naik seiring dengan pertumbuhan bakteri metanogenik. Jika pH turun di bawah 6,2 maka bakteri methanogen akan keracunan dan akibatnya produksi biogas turun. Hal ini dapat dicegah dengan penambahan kapur.

### 3.2 Perbandingan Kandungan H<sub>2</sub>O dan CH<sub>4</sub> Sebelum dan Sesudah Adsorpsi

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kandungan H<sub>2</sub>O tidak terdapat dalam biogas sedangkan kandungan CH<sub>4</sub> sebelum dan sesudah adsorpsi mengalami perubahan konsentrasi.

**Tabel 2.** Kandungan H<sub>2</sub>O dan CH<sub>4</sub> sebelum dan sesudah adsorpsi

Parameter Gas	Pra Adsorpsi (%)	Post Adsorpsi (%)
H <sub>2</sub> O	0	0
CH <sub>4</sub>	99,97	49,43

Hal ini dapat diinterpretasikan bahwa dari tabel di atas menunjukkan bahwa kandungan H<sub>2</sub>O dalam biogas tidak terdeteksi secara signifikan karena komposisi H<sub>2</sub>O dalam biogas tidak melebihi 2 % (lihat tabel 2) sedangkan kandungan senyawa metana sebelum adsorpsi 99,97%, namun setelah adsorpsi turun sampai 49,43%. Selain itu, gas H<sub>2</sub>O juga tidak ditemukan karena mengalami penguapan. Sebagaimana diketahui bahwa gas CH<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>O terbentuk dari reaksi *Metanogen Hidrogenotropik*. Dari interpretasi sebelumnya maka dapat di analisis bahwa rendahnya kandungan H<sub>2</sub>O dalam biogas, yang tidak melebihi 2%, menunjukkan bahwa proses pengolahan biogas berhasil mengurangi kelembapan. Hal ini penting karena keberadaan H<sub>2</sub>O dalam biogas dapat mempengaruhi efisiensi pembakaran dan kualitas energi yang dihasilkan. Kelembapan yang tinggi dapat menyebabkan korosi pada peralatan dan menurunkan nilai kalor dari biogas.

Penurunan kadar metana dari 99,97% menjadi 49,43% setelah proses adsorpsi menunjukkan bahwa proses ini sangat efektif dalam menghilangkan campuran gas infuritas dari metana. Penurunan ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk interaksi antara metana dan media adsorpsi yang digunakan. Proses adsorpsi ini mungkin dirancang untuk menangkap metana dengan lebih efisien, sehingga menghasilkan gas yang lebih bersih dan lebih aman untuk digunakan.

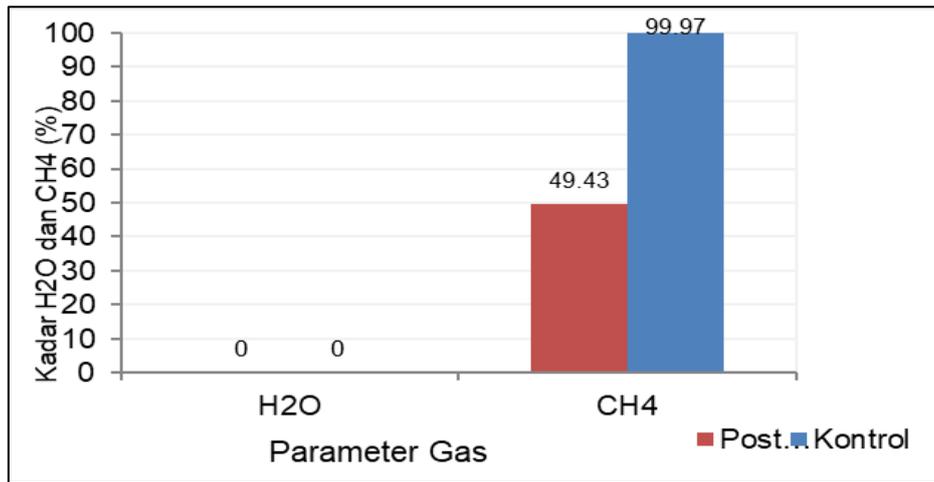
Penguapan gas H<sub>2</sub>O yang tidak terdeteksi menunjukkan bahwa pada suhu dan tekanan tertentu, air dapat dengan mudah menguap dari campuran gas. Hal ini juga menunjukkan bahwa proses yang digunakan dalam pengolahan biogas mungkin melibatkan pemanasan atau kondisi yang mendukung penguapan, sehingga membantu mengurangi kandungan kelembapan.

Reaksi *Metanogen Hidrogenotropik* yang menghasilkan CH<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>O adalah proses biologis yang terjadi dalam lingkungan anaerobik. Metanogen ini mengubah senyawa organik menjadi gas metana dengan bantuan hidrogen. Proses ini sangat penting dalam produksi biogas, dan pemahaman tentang reaksi ini dapat membantu dalam meningkatkan efisiensi produksi biogas. Dengan mengoptimalkan kondisi untuk metanogen, seperti suhu dan pH, produksi metana dapat ditingkatkan.

Hasil ini memiliki implikasi penting untuk pengembangan teknologi biogas yang lebih efisien. Dengan memahami hubungan antara kandungan H<sub>2</sub>O, metana, dan proses adsorpsi, peneliti dapat merancang sistem yang lebih baik untuk menghasilkan biogas berkualitas tinggi. Ini juga dapat membuka jalan untuk aplikasi yang lebih luas, termasuk penggunaan biogas sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan.

Secara keseluruhan, analisis ini menunjukkan pentingnya pengendalian kandungan H<sub>2</sub>O dan metana dalam biogas untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas energi. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi teknik adsorpsi yang lebih efektif dan optimasi proses metanogen untuk menghasilkan biogas yang lebih bersih dan lebih efisien sesuai dengan reaksi berikut.





Gambar 2. Grafik kandungan H<sub>2</sub>O dan CH<sub>4</sub> sebelum dan sesudah adsorpsi

### 3.3 Perbandingan Konsentrasi CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> Sebelum dan Sesudah Adsorpsi

Dari Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan CO<sub>2</sub> sebelum adsorpsi sebesar 0,022 % akan tetapi setelah adsorpsi pada silika gel yang telah diaktivasi dengan senyawa NaOH dengan konsentrasi 1 N; 0,5 N; 0,25 N; 0,125 N; dan 0,0625 N mengandung CO<sub>2</sub> yang berbeda-beda pula.

Tabel 3. Kandungan CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> sebelum dan sesudah adsorpsi

Parameter Gas	Kontrol (%)	Post Adsorpsi (%)				
		Konsentrasi NaOH + Silika Gel				
		1 N	0,5 N	0,25 N	0,125 N	0,0625 N
CO <sub>2</sub>	0,022	0,016	0,013	0,017	0,020	0,016
CH <sub>4</sub>	99,97	39,37	45,33	56,41	51,21	53,16

Persentase kandungan CO<sub>2</sub> pada silika gel dengan konsentrasi 1 N dan 0,625 N sama besar yaitu 0,016 % yang berarti selisih penurunan 0,006% dari kontrol. Sedangkan konsentrasi 0,5 N (0,013%), 0,25 N (0,017%), dan 0,125 N (0,020%) dengan persentase selisih penurunan masing-masing 0,009%, 0,005%, dan 0,002% dari kontrol.

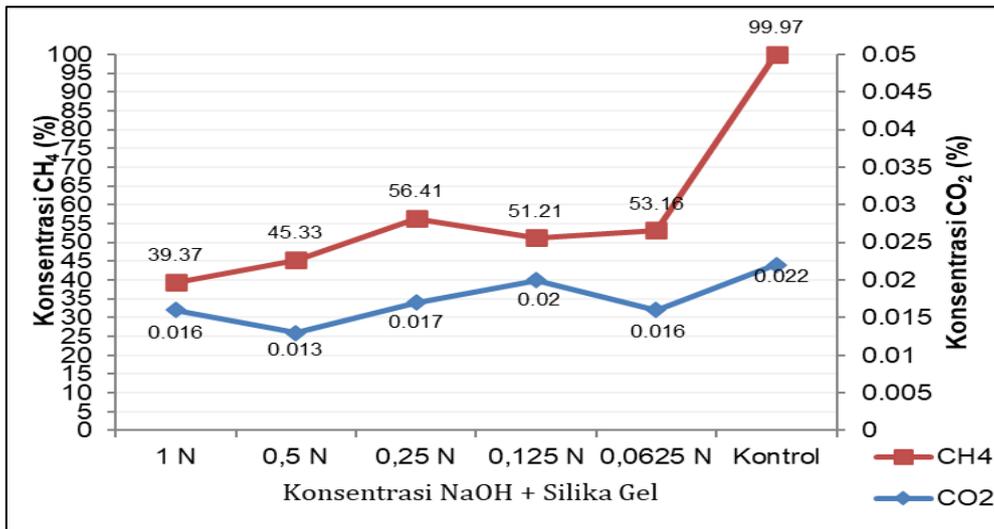
Konsentrasi 1 N dan 0,625 N; Kedua konsentrasi ini menunjukkan persentase kandungan CO<sub>2</sub> yang sama, yaitu 0,016%. Penurunan sebesar 0,006% dari kontrol menunjukkan bahwa pada konsentrasi ini, silika gel masih cukup efektif dalam menyerap CO<sub>2</sub>, meskipun tidak ada perbedaan signifikan antara kedua konsentrasi tersebut. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa setelah mencapai titik tertentu, peningkatan konsentrasi tidak lagi meningkatkan kemampuan silika gel untuk menyerap CO<sub>2</sub> secara signifikan.

Konsentrasi 0,5 N; Persentase kandungan CO<sub>2</sub> pada konsentrasi ini tercatat sebesar 0,013%, dengan selisih penurunan 0,009% dari kontrol. Penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi 1 N dan 0,625 N menunjukkan bahwa pada konsentrasi yang lebih rendah, silika gel mungkin memiliki kapasitas yang lebih baik dalam menyerap CO<sub>2</sub>. Ini bisa disebabkan oleh peningkatan rasio permukaan terhadap volume, yang memungkinkan lebih banyak interaksi antara silika gel dan CO<sub>2</sub>.

Konsentrasi 0,25 N; Pada konsentrasi ini, persentase kandungan CO<sub>2</sub> adalah 0,017%, dengan selisih penurunan 0,005% dari kontrol. Meskipun persentase CO<sub>2</sub> lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi 0,5 N, penurunan yang lebih kecil menunjukkan bahwa kemampuan silika gel dalam menyerap CO<sub>2</sub> mulai menurun, mungkin karena saturasi atau pengaruh faktor lain yang mengurangi efektivitas penyerapannya.

Konsentrasi 0,125 N; Dengan persentase kandungan CO<sub>2</sub> sebesar 0,020% dan selisih penurunan 0,002%, konsentrasi ini menunjukkan hasil terendah dalam hal penurunan CO<sub>2</sub>. Hal ini menandakan bahwa pada konsentrasi yang sangat rendah, silika gel kurang efektif dalam menyerap CO<sub>2</sub>. Ini mungkin disebabkan oleh kurangnya interaksi yang cukup antara gas dan permukaan silika gel, yang berkurang seiring dengan penurunan konsentrasi.

Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa ada hubungan yang kompleks antara konsentrasi silika gel dan kemampuannya untuk menyerap CO<sub>2</sub>. Konsentrasi yang lebih tinggi tidak selalu berarti penyerapan yang lebih baik, dan ada titik optimal di mana silika gel dapat berfungsi paling efektif. Penurunan persentase CO<sub>2</sub> yang bervariasi pada setiap konsentrasi memberikan informasi penting untuk aplikasi praktis dalam pengendalian emisi gas rumah kaca dan pengembangan material penyerap yang lebih efisien.



**Gambar 3.** Kandungan CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> sebelum dan sesudah adsorpsi

Dengan demikian, daya adsorpsi yang paling besar pada silika gel dengan konsentrasi 0,5 N dan daya adsorpsi yang paling rendah pada silika gel dengan konsentrasi 0,25 N. Kondisi fluktuasi tersebut seperti pada Gambar 3. Pada Gambar 3 hasil penjabaran penelitian yang ingin diungkapkan adalah tentang sifat dari materi silika gel yang mempunyai sifat dasar sebagai deksikan yaitu kemampuan menyerap uap air pada bahan yang akan di tentukan beratnya. Namun dengan penelitian yang dilakukan, sifat dari silika gel akan dinaikkan kemampuannya sebagai adsorben yang mampu menyerap gas yang dianggap sebagai gas pengotor pada proses purifikasi gas methana.

Pada proses peningkatan kemampuan adsorben silika gel dilakukan metode aktivasi dengan melibatkan larutan NaOH sebagai aktivator. Aktivator senyawa NaOH akan membentuk natrium silikat yang akan mengikat CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> yang pada akhirnya akan membentuk senyawa baru berupa endapan natrium karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Dengan terbentuknya endapan natrium karbonat maka akan mengurangi beban pengotor yang ikut bersama senyawa methana sehingga dimungkinkan gas methana yang dihasilkan akan lebih murni.

Dengan mencermati gambar grafik yang disajikan akan nampak bahwa ada pengaruh secara signifikan konsentrasi pada setiap adsorben terhadap setiap laju penurunan kandungan CO<sub>2</sub> setelah adsorpsi. Dari konsentrasi adsorben 1 N hingga 0,5 N terlihat cukup jelas bahwa terdapat nilai penurunan sampai 0.013%. Dari lima parameter ukur yang diteliti terdapat titik kulminasi kemampuan menyerap adsorben yaitu berkisar 0,5 N. Hal ini mengindikasikan untuk sampel adsorben 4 gram mempunyai kemampuan maksimal menyerap gas CO<sub>2</sub> sebesar 0,013 % pada konsentrasi NaOH 0,5 N.

Proses adsorpsi tersebut dipengaruhi oleh waktu kontak adsorpsi yang berbeda-beda dan tekanan biogas yang kecil sehingga kandungan CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> yang terserap berbeda-beda. Selain itu, permeabilitas dan distribusi ukuran adsorben yang tidak merata berpengaruh dalam proses pengikatan setiap adsorben terhadap CO<sub>2</sub> secara tidak sempurna sehingga daya adsorpsinya pun berbeda. Daya adsorpsi pada adsorben ini juga tergantung pada interaksi antara permukaan adsorben dan gas. Luas permukaan tergantung pada ukuran adsorben. Semakin kecil ukuran adsorben semakin luas permukaan sehingga semakin besar daya adsorpsinya. Adsorben silika gel yang digunakan memiliki ukuran 2 – 4 mm (9-16 mesh).

Akibat faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi tersebut menentukan perubahan warna adsorben yang berbeda-beda pula yang menandakan adanya sifat reversible adsorben. Sebagaimana diketahui bahwa dua pertiga metan berasal dari asam asetat yang diubah oleh *methanogen acetotrophic*. Sepertiga lainnya hasil reduksi karbon dioksida oleh hidrogen, asam asetat yang memiliki 2 atom C, 4 atom H, dan 2 atom O terurai membentuk dua senyawa baru yaitu CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>. Selanjutnya kedua senyawa tersebut dalam proses adsorpsi di mana adsorben yang mengandung natrium silika dan uap air bereaksi dengan CO<sub>2</sub> membentuk natrium karbonat dan uap air, sehingga dapat menaikkan atau menurunkan kandungan metana tergantung jumlah CO<sub>2</sub> yang terserap pada setiap adsorben. Hasil dari proses adsorpsi yaitu CH<sub>4</sub> nampak berfluktuatif disebabkan oleh kandungan CO<sub>2</sub> yang berfluktuasi setelah teradsorpsi oleh adsorben.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian dengan pemanfaatan limbah cair tahu sebagai biogas dengan campuran isi rumen sapi adalah tidak terdeteksi H<sub>2</sub>O karena mengalami penguapan, daya serap silika gel yang paling tinggi dalam menyisihkan CO<sub>2</sub> dengan konsentrasi NaOH 0,5 N adalah 0,013%.

Selama ini proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan karbon aktif, besi bubuk, dan zeolit. Namun, bahan tersebut kurang efektif dalam mengadsorpsi CO<sub>2</sub>. Hal ini dikarenakan karbon aktif memiliki selektivitas yang rendah terhadap gas asam. Begitu pula daya adsorpsi karbon aktif terhadap kandungan H<sub>2</sub>O relatif kecil. Lain halnya dengan besi bubuk tidak dapat diregenerasi sehingga biaya operasional mahal karena konsumsi adsorben besar. Sedangkan kelemahan zeolit adalah pada kapasitas adsorpsinya yang akan menjadi banyak berkurang ketika berada pada lingkungan yang mengandung H<sub>2</sub>O. Hal ini dikarenakan adanya molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, NaO dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalis dari zeolit. Selain itu, zeolit yang terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika dari batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam yang mengandung banyak pengotor serta kristalinitasnya kurang baik. Kekurangan-kekurangan zeolit tersebut perlu diaktivasi dan atau dimodifikasi sebelum digunakan.

Penggunaan silika gel dalam menyerap H<sub>2</sub>O memiliki tingkat serapan yang tinggi karena pori silika gel yang hanya mampu menyerap molekul air [14]. Sementara pada proses penyerapan senyawa CO<sub>2</sub> dilakukan pengikatan silika gel dengan larutan NaOH, sehingga adsorben tersebut dapat selektif terhadap CO<sub>2</sub>. Hal ini karena gugus silanol pada permukaan silika gel dapat terikat dengan NaOH. Berdasar penelitian sebelumnya [13] telah melakukan pemuatan amina pada silika gel komersial (SG-PEI) yang menunjukkan 245 mg CO<sub>2</sub>/g adsorbent dalam menyerap CO<sub>2</sub>. Lain pula dengan silika gel yang tergrafting amina (SG-APTES) dari abu bagasse menunjukkan 6,01 mmol γ-aminopropil/gram sampel yang berarti CO<sub>2</sub> yang terserap juga tinggi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Siagian dkk., *Energi Baru Terbarukan Sebagai Energi Alternatif*. Yayasan Kita Menulis, 2023.
- [2] A. E. Setyono dan B. F. T. Kiono, "Dari energi fosil menuju energi terbarukan: potret kondisi minyak dan gas bumi Indonesia tahun 2020–2050," *J. Energi Baru Dan Terbarukan*, vol. 2, no. 3, hlm. 154–162, 2021.
- [3] H. Tjiwidjaja dan R. Salima, "Dampak Energi Fosil Terhadap Perubahan Iklim Dan Solusi Berbasis Energi Hijau," *J. Wil. KOTA DAN Lingkung. BERKELANJUTAN*, vol. 2, no. 2, hlm. 166–172, 2023.
- [4] D. J. Arent dkk., "Challenges and opportunities in decarbonizing the U.S. energy system," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 169, hlm. 112939, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112939>.
- [5] Y. Yudiantono, W. Jaka, dan A. Adiarso, "Dekarbonisasi sektor ketenagalistrikan sampai 2050 dalam kerangka kebijakan energi nasional," *J. Energi Baru Dan Terbarukan*, vol. 4, no. 2, hlm. 66–82, 2023.
- [6] L. Deng, Y. Liu, dan W. Wang, *Biogas technology*. Springer, 2020.
- [7] V. D. Chalisty dan M. Baharudin, "Pengaruh Penambahan Bioaktivator Propionic Terhadap Kualitas Pupuk Organik Cair Urin Sapi dan Limbah Cair Tahu," *J. SAINS Peternak. Nusant.*, vol. 4, no. 02, hlm. 13–24, 2024.
- [8] M. Fauzzia, I. Rahmawati, dan I. N. Widiyasa, "Penyisihan amoniak dan kekeruhan pada sistem resirkulasi budidaya kepiting dengan teknologi membran biofilter," *J. Teknol. Kim. Dan Ind.*, hlm. 155–161, 2013.
- [9] M. O. Okwu, O. D. Samuel, O. B. Otanocha, P. P. Balogun, O. J. Tega, dan E. Ojo, "Design and development of a bio-digester for production of biogas from dual waste," *World J. Eng.*, vol. 17, no. 2, hlm. 247–260, 2020.
- [10] M. R. Maulana dan B. D. Marsono, "Penerapan Teknologi Membran untuk Mengolah Limbah Cair Industri Tahu (Studi Kasus: UKM Sari Bumi, Kabupaten Sumedang)," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, hlm. F54–F60, 2021.
- [11] M. Fathurrahman, A. Taufiq, D. Widiastuti, F. Dwi, dan F. Hidayat, "Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Tongkol Jagung sebagai Adsorben Ion Logam Cu (II) Synthesis and Characterization of Silica Gel from Corn Cob Ash As Adsorbent of Cu (II) Metal Ion," *No Novemb.*, hlm. 89–95, 2020.
- [12] N. Utari, I. Sudiarta, dan P. Suarya, "Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Vulkanik Gunung Agung melalui Teknik Sol-Gel," *J. Chem.*, vol. 14, no. 1, hlm. 30–36, 2020.
- [13] T. Sakpal dan L. Lefferts, "Structure-dependent activity of CeO<sub>2</sub> supported Ru catalysts for CO<sub>2</sub> methanation," *J. Catal.*, vol. 367, hlm. 171–180, 2018.
- [14] H. Fahmi dan A. L. Nurfalah, "Analisa daya serap silika gel berbahan dasar abu sekam padi," *J. Ipteks Terap.*, vol. 10, no. 3, hlm. 176–182, 2016.
- [15] G. R. A. Samosir dan M. M. Martgrita, "Analisis Pendahuluan Pemanfaatan Konsorsium Bakteri Termofilik dari Kotoran Sapi Untuk Produksi Biogas," *J. Appl. Technol. Inform. Indones.*, vol. 1, no. 1, 2021.