

## Analisis Pengaruh Kotoran Sapi Pada Digester Terhadap Produksi Metana Dan Nilai Kalor Biogas Berbasis Limbah Cair Tahu

Bertand Nibroos Qobus<sup>\*1</sup>, M. Hermansyah<sup>2</sup>, Safril Kartika Wardana<sup>3</sup>, Sahrul Effendy<sup>4</sup>, Idha Silviyati<sup>5</sup>  
Politeknik Negeri Sriwijaya<sup>1</sup>

e-mail: [bertandnibroosq01@gmail.com](mailto:bertandnibroosq01@gmail.com)<sup>\*1</sup>, [hermanshermans929@gmail.com](mailto:hermanshermans929@gmail.com)<sup>2</sup>, [safril@polsri.ac.id](mailto:safril@polsri.ac.id)<sup>3</sup>,  
[sahrul\\_e@polsri.ac.id](mailto:sahrul_e@polsri.ac.id)<sup>4</sup>, [Idha.silviyati@polsri.ac.id](mailto:Idha.silviyati@polsri.ac.id)<sup>5</sup>

### ABSTRAK

Limbah cair tahu merupakan limbah organik yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas melalui proses fermentasi anaerob. Penambahan kotoran sapi sebagai inokulum diharapkan dapat meningkatkan aktivitas bakteri metanogen sehingga produksi metana dan kualitas biogas meningkat. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh persentase penambahan kotoran sapi terhadap komposisi biogas, produksi metana, dan nilai kalor biogas berbasis limbah cair tahu. Penelitian dilakukan menggunakan digester tipe batch berkapasitas 100 L dengan volume substrat 80 L, suhu fermentasi 33°C, waktu fermentasi 4 hari, serta variasi penambahan kotoran sapi sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60%. Parameter yang diamati meliputi volume substrat, komposisi biogas (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dan CO), serta nilai kalor biogas. Kandungan metana meningkat dari 22,1% menjadi 63,4%, sedangkan nilai kalor meningkat dari 7,91 MJ/m<sup>3</sup> menjadi 22,70 MJ/m<sup>3</sup>. Kandungan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S meningkat, O<sub>2</sub> menurun, sedangkan CO berada pada kisaran 470,3–910,2 ppm. Variasi penambahan kotoran sapi sebesar 60% menghasilkan kualitas biogas terbaik dengan kandungan metana dan nilai kalor tertinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kotoran sapi berpengaruh positif terhadap peningkatan produksi metana dan kualitas biogas, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan sekaligus alternatif pengolahan limbah organik.

**Kata kunci :** Biogas; Kotoran Sapi; Limbah Cair Tahu; Metana; Nilai Kalor.

### ABSTRACT

Tofu liquid waste is an organic waste that has the potential to be used as a raw material for biogas through an anaerobic fermentation process. The addition of cow dung as an inoculum is expected to increase the activity of methanogenic bacteria, thereby increasing methane production and biogas quality. This study aims to analyze the effect of the percentage of cow dung addition on biogas composition, methane production, and the calorific value of tofu liquid waste-based biogas. The study was conducted using a 100 L batch-type digester with a substrate volume of 80 L, a fermentation temperature of 33°C, a fermentation time of 4 days, and variations in cow dung addition of 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, and 60%. The parameters observed included substrate volume, biogas composition (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, and CO), and biogas calorific value. The methane content increased from 22.1% to 63.4%, while the calorific value increased from 7.91 MJ/m<sup>3</sup> to 22.70 MJ/m<sup>3</sup>. CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S content increased, O<sub>2</sub> decreased, while CO remained in the range of 470.3–910.2 ppm. A 60% increase in cow dung yielded the best biogas quality, with the highest methane content and calorific value. The results showed that the addition of cow dung positively increased methane production and biogas quality, thus offering potential for development as a renewable energy source and an alternative for organic waste processing.

**Keywords :** Biogas; Calorific Value; Methane; Tofu Wastewater; Cow Manure.

### PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk, industri, dan aktivitas ekonomi, sementara ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang tidak terbarukan masih cukup tinggi. Kondisi tersebut mendorong pengembangan energi baru terbarukan (EBT) sebagai upaya menjaga ketahanan energi dan mengurangi dampak pencemaran lingkungan (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024). Salah satu sumber EBT yang berpotensi dikembangkan adalah biogas, yaitu gas hasil fermentasi anaerob bahan organik oleh mikroorganisme tanpa oksigen. Pemanfaatan berbagai limbah organik sebagai

bahan baku biogas tidak hanya menghasilkan energi alternatif, tetapi juga mendukung pengelolaan limbah yang lebih ramah lingkungan (Alengebawry et al., 2024; Heiker et al., 2021).

Biogas terutama terdiri atas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), dengan sejumlah kecil gas lainnya. Kandungan metana menjadi salah satu indikator utama kualitas biogas karena menentukan energi yang dihasilkan melalui pembakaran (Nurhilal et al., 2020). Semakin tinggi kandungan metana, semakin besar nilai kalor biogas sehingga semakin baik digunakan sebagai bahan bakar alternatif (Monica et al., 2025).

Limbah cair tahu merupakan salah satu limbah organik yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku biogas karena mengandung protein, karbohidrat, lemak, dan senyawa organik yang dapat dimanfaatkan mikroorganisme dalam fermentasi anaerob (Apsari et al., 2025). Namun, kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi menyebabkan pembuangan limbah cair tahu secara langsung berpotensi mencemari lingkungan. Volume limbah cair industri tahu di Indonesia pada tahun 2024 diproyeksikan mencapai 153.586.868,34  $\text{m}^3$ , sehingga pemanfaatannya sebagai bahan baku biogas dapat menjadi alternatif pengelolaan limbah sekaligus menghasilkan energi terbarukan (Cahyani et al., 2024).

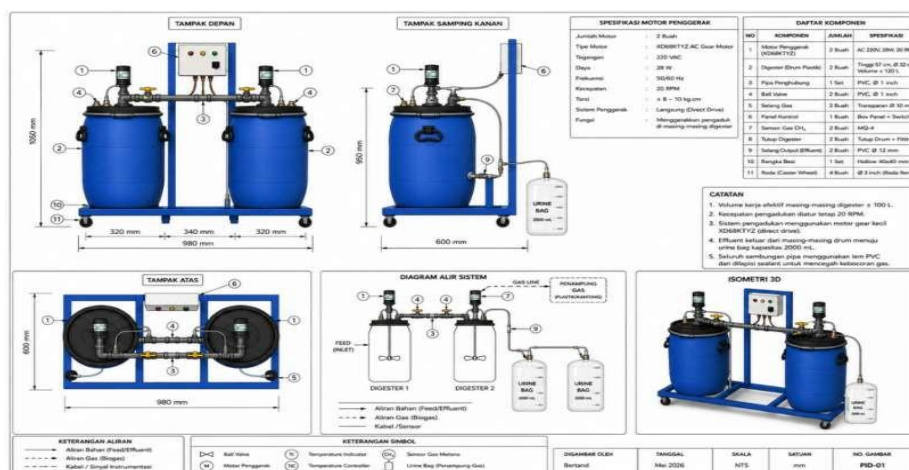
Kotoran sapi juga berpotensi digunakan dalam produksi biogas karena mengandung mikroorganisme anaerob, termasuk bakteri metanogen yang berperan dalam pembentukan metana (Iweka et al., 2021). Penambahan kotoran sapi sebagai inokulum dapat membantu mempercepat fermentasi anaerob dan meningkatkan pembentukan biogas (Apsari et al., 2025). Proses digesti anaerob sendiri dipengaruhi oleh faktor seperti suhu, pH, komposisi nutrisi, dan aktivitas mikroorganisme (Ajao et al., 2024; Kumar et al., 2024).

Sejumlah penelitian menunjukkan potensi campuran limbah cair tahu dan kotoran sapi dalam meningkatkan kualitas biogas. (Nurhilal et al., 2020) melaporkan kandungan metana sebesar 2,806% pada komposisi tertentu, sedangkan (Monica et al., 2025) memperoleh kandungan metana sebesar 58% volume dengan nilai kalor 20,76  $\text{MJ/m}^3$  melalui penambahan kotoran sapi. (Febriansyah et al., 2023) juga menemukan kandungan metana sebesar 67,59% pada campuran kotoran sapi, limbah cair tahu, dan kulit pisang.

Meskipun demikian, penelitian yang secara bersamaan menganalisis pengaruh persentase penambahan kotoran sapi terhadap komposisi biogas, produksi metana, dan nilai kalor biogas berbasis limbah cair tahu masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis komposisi biogas serta pengaruh persentase penambahan kotoran sapi terhadap produksi metana dan nilai kalor biogas berbasis limbah cair tahu. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai peningkatan kualitas biogas sekaligus mendukung pemanfaatan limbah organik sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada April–Juni 2026 di Laboratorium Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang. Bahan yang digunakan terdiri atas limbah cair tahu sebagai bahan baku utama dan kotoran sapi segar sebagai inokulum fermentasi anaerob. Peralatan yang digunakan meliputi digester biogas tipe *batch* berkapasitas 100 L, gelas ukur, penampung gas (*urine bag*), pengaduk, dan timbangan.



Gambar 1. Digester Biogas Tipe Batch

Tabel 1. Alat yang digunakan

| No | Alat                    | Jumlah | Ukuran |
|----|-------------------------|--------|--------|
| 1  | Digester Biogas         | 1      | -      |
| 2  | HACH Calorimeter DR900  | 1      | -      |
| 3  | Spektrofotometri UV-Vis | 1      | -      |
| 4  | Urine bag               | 6      | 2 L    |

Penelitian menggunakan digester tipe *batch* dengan volume total 100 L, volume substrat 80 L, dan ruang gas (*headspace*) 20 L. Proses fermentasi dilakukan selama 4 hari (96 jam) pada temperatur 33°C dengan kecepatan pengadukan 20 rpm. Variabel bebas berupa persentase penambahan kotoran sapi terhadap total volume substrat 80 L, yaitu 10% (8 L), 20% (16 L), 30% (24 L), 40% (32 L), 50% (40 L), dan 60% (48 L). Variabel terikat yang diamati meliputi volume biogas, komposisi biogas yang terdiri atas CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dan CO, serta nilai kalor biogas.

Tabel 2. Variabel Tetap

| No | Variabel                                    |
|----|---------------------------------------------|
| 1. | Volume Digester : 100 Liter                 |
| 2. | Jenis Digester : <i>Digester Tipe Batch</i> |
| 3. | Volume Substrat : 80 Liter                  |
| 4. | Volume Ruang Gas : 20 Liter                 |
| 5. | Waktu Fermentasi : 4 Hari (96 Jam)          |
| 6. | Temperatur : 33°C                           |
| 7. | Jenis Substrat Utama : Limbah Cair Kedelai  |

Tahap penelitian diawali dengan preparasi bahan baku berupa limbah cair tahu dan kotoran sapi segar. Kotoran sapi ditentukan sesuai dengan variasi perlakuan, sedangkan volume limbah cair tahu disesuaikan hingga total substrat mencapai 80 L pada setiap perlakuan. Kedua bahan kemudian dicampurkan hingga homogen sebelum dimasukkan ke dalam digester. Digester selanjutnya ditutup dan seluruh sambungan dipastikan kedap udara. Proses fermentasi dilakukan pada temperatur 33°C selama 96 jam dengan pengadukan setiap dua hari sekali selama 15 menit pada kecepatan 20 rpm. Biogas yang terbentuk selama proses fermentasi ditampung menggunakan *urine bag*.

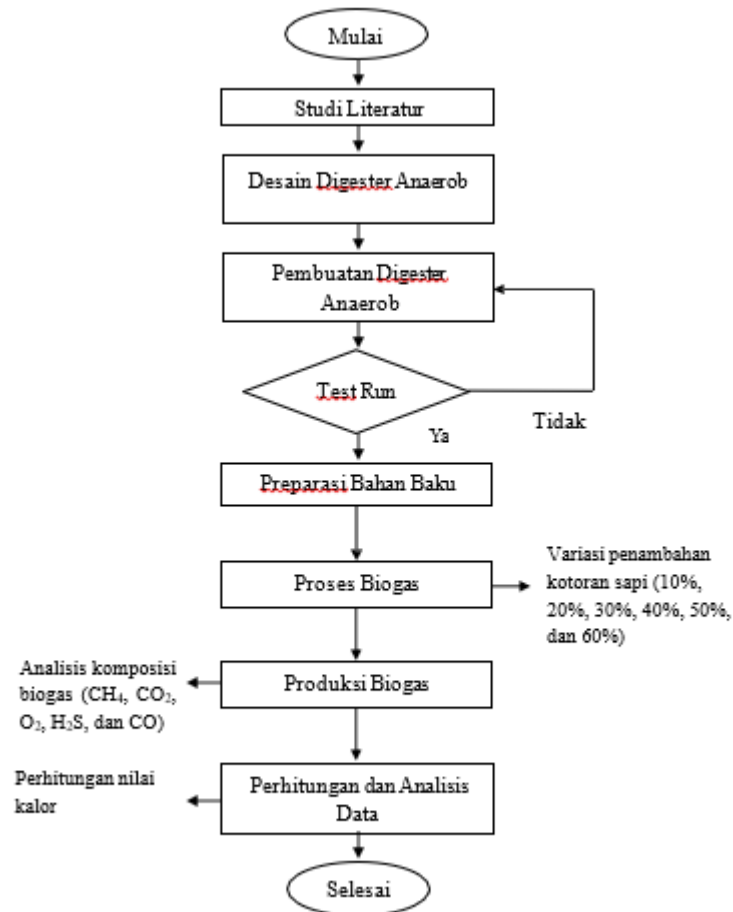
Tabel 3. Variabel Bebas

| No | Limbah Cair Tahu (L) | Penambahan Kotoran Sapi (%) |
|----|----------------------|-----------------------------|
| 1. | 80                   | 10                          |
| 2. | 80                   | 20                          |
| 3. | 80                   | 30                          |
| 4. | 80                   | 40                          |
| 5. | 80                   | 50                          |
| 6. | 80                   | 60                          |

Pengamatan dilakukan terhadap volume biogas yang dihasilkan dan komposisinya pada setiap variasi penambahan kotoran sapi. Sampel biogas dianalisis untuk mengetahui kandungan CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dan CO menggunakan *gas analyzer* dengan metode *Multi Gas Detector Analyzer* di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya. Selanjutnya, nilai kalor biogas dihitung berdasarkan persentase kandungan metana (CH<sub>4</sub>) yang diperoleh dari hasil analisis komposisi biogas pada masing-masing variasi perlakuan. Seluruh tahapan penelitian dilakukan pada variasi penambahan kotoran sapi sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60% untuk mengetahui pengaruhnya terhadap produksi metana dan nilai kalor biogas berbasis limbah cair tahu.

Tabel 4. Variabel Terikat

| No | Variabel                           | Satuan               |
|----|------------------------------------|----------------------|
| 1. | Produksi Metana (CH <sub>4</sub> ) | (%)                  |
| 2. | Nilai Kalor Biogas                 | (MJ/m <sup>3</sup> ) |



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

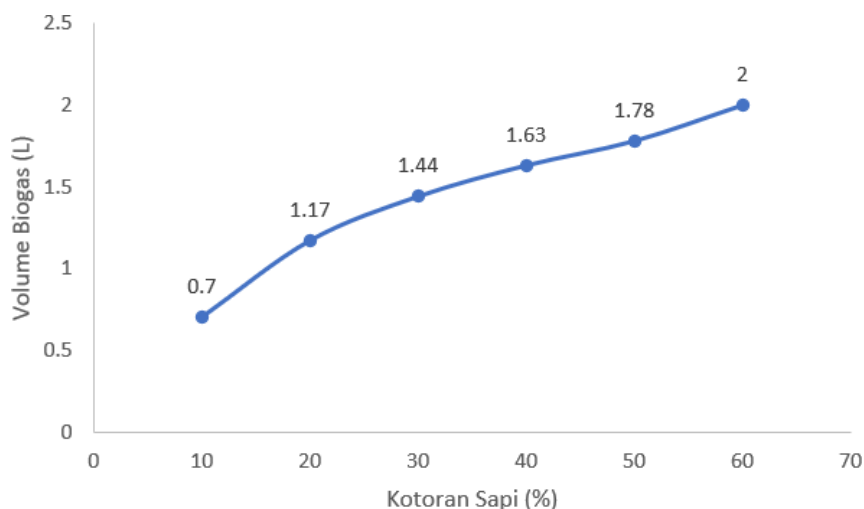
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menganalisis pengaruh penambahan kotoran sapi sebesar 10–60% terhadap produksi metana dan nilai kalor biogas berbasis limbah cair tahu. Fermentasi dilakukan selama 4 hari (96 jam) pada temperatur 33°C menggunakan digester *batch*. Parameter yang dianalisis meliputi estimasi volume biogas, komposisi CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dan CO, serta nilai kalor biogas.

Tabel 5. Volume Biogas Hasil Fermentasi Limbah Cair Tahu pada Berbagai Variasi Penambahan Kotoran Sapi

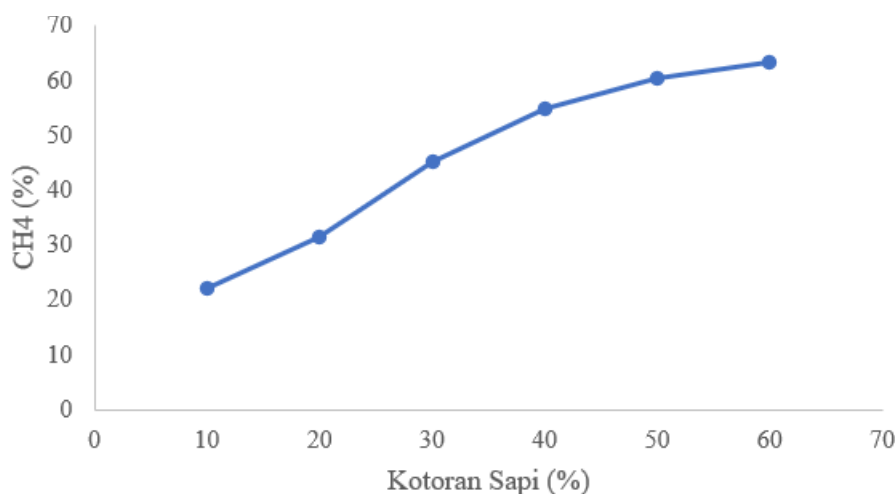
| No | Persentase Kotoran Sapi (%) | Volume Substrat Awal (L) | Volume Substrat Akhir (L) | Volume Biogas (L) |
|----|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|
| 1  | 10                          | 80                       | 79,8                      | 0,70              |
| 2  | 20                          | 80                       | 79,6                      | 1,17              |
| 3  | 30                          | 80                       | 79,4                      | 1,44              |
| 4  | 40                          | 80                       | 79,2                      | 1,63              |
| 5  | 50                          | 80                       | 79,0                      | 1,78              |
| 6  | 60                          | 80                       | 78,8                      | 2,00              |

## Volume Biogas



**Gambar 3.** Grafik Pengaruh Persentase Penambahan Kotoran Sapi terhadap Volume Biogas yang dihasilkan dari Limbah Cair Tahu

Hasil penelitian menunjukkan bahwa estimasi volume biogas meningkat seiring bertambahnya persentase kotoran sapi. Volume biogas pada penambahan kotoran sapi 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60% berturut-turut sebesar 0,70; 1,17; 1,44; 1,63; 1,78; dan 2,00 L. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kotoran sapi berperan sebagai inokulum yang menyediakan mikroorganisme anaerob untuk membantu menguraikan bahan organik limbah cair tahu menjadi biogas.



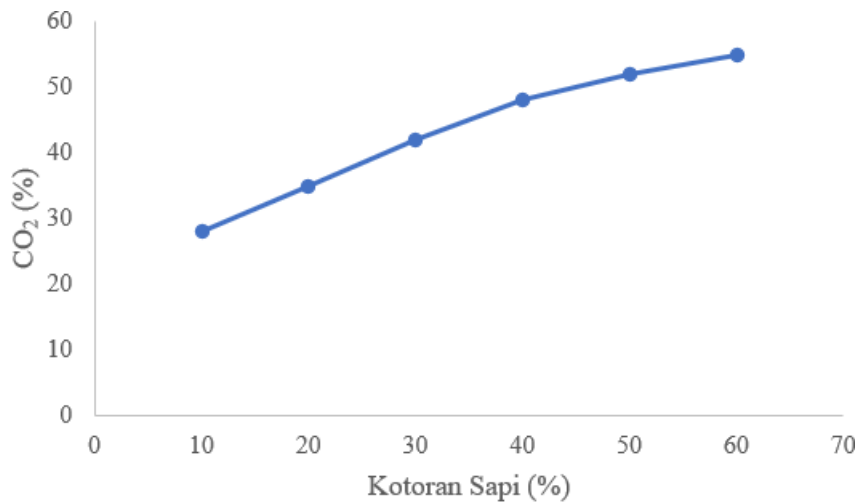
**Gambar 4.** Pengaruh % Kotoran Sapi terhadap Kadar CH<sub>4</sub> yang dihasilkan pada Limbah Cair Tahu

Kotoran sapi mengandung berbagai mikroorganisme, termasuk bakteri metanogen, yang berperan dalam tahapan hidrolisis, asidogenesis, asetonogenesis, dan metanogenesis. Semakin tinggi penambahan kotoran sapi, aktivitas mikroorganisme dalam proses fermentasi semakin optimal sehingga produksi biogas meningkat. Hasil ini sejalan dengan Purboyo dan Fahrudin (2024) yang melaporkan bahwa penambahan kotoran sapi pada limbah cair tahu dapat meningkatkan produksi biogas. Arifan et al. (2021) juga menyatakan bahwa *co-digestion* limbah organik dengan kotoran ternak dapat meningkatkan produksi biogas melalui keseimbangan nutrisi dan aktivitas mikroorganisme yang lebih baik. Selain itu, Budiyo dan Syaichurrozi (2020) menjelaskan bahwa limbah cair tahu memiliki kandungan bahan organik tinggi yang berpotensi menghasilkan biogas.

## Komposisi Biogas

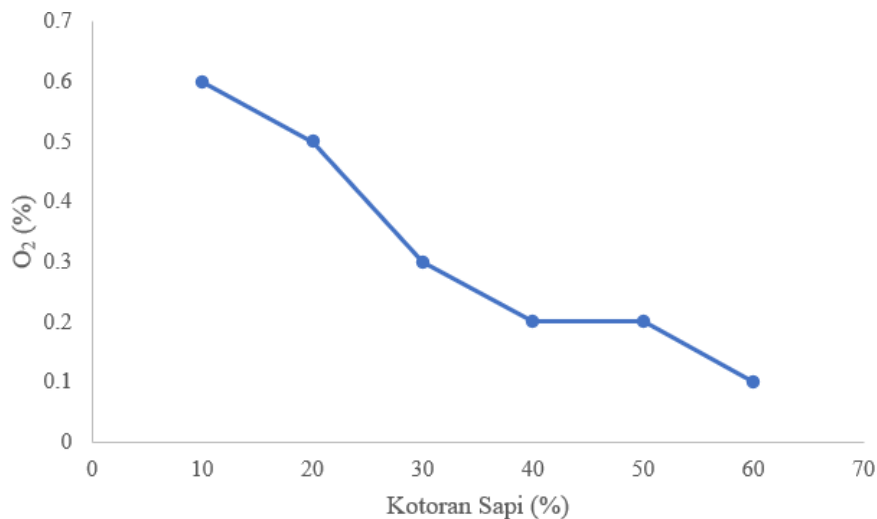
Penambahan kotoran sapi memberikan perubahan terhadap komposisi biogas yang dihasilkan. Kandungan CH<sub>4</sub> meningkat dari 22,1% pada penambahan 10% menjadi 63,4% pada penambahan 60%.

Peningkatan tersebut menunjukkan semakin optimalnya aktivitas bakteri metanogen dalam mengubah bahan organik menjadi metana. Hasil ini sejalan dengan (Monica et al., 2025) yang menyatakan bahwa penambahan inokulum dan kondisi fermentasi yang sesuai dapat meningkatkan aktivitas bakteri metanogen. (Uddin dan Wright, 2023) juga menjelaskan bahwa keberhasilan digesti anaerob dipengaruhi oleh optimalnya tahapan hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis.



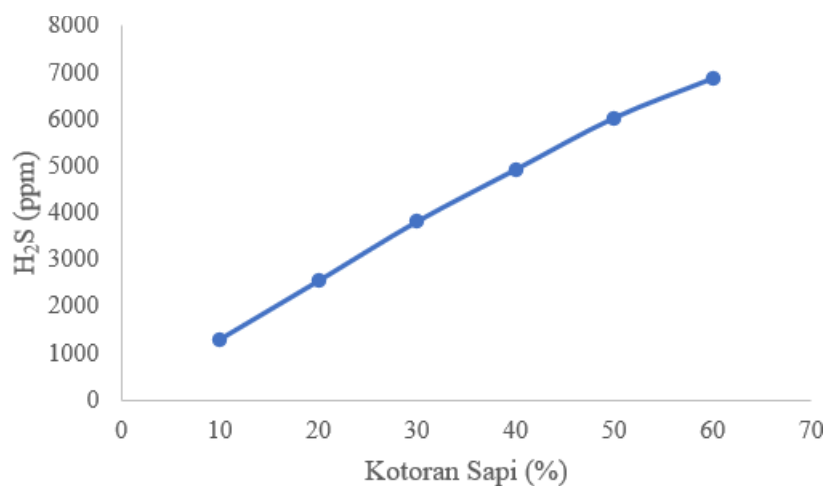
**Gambar 5.** Pengaruh % Kotoran Sapi terhadap Kadar CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada Limbah Cair Tahu

Kandungan CO<sub>2</sub> juga meningkat dari 28% menjadi 55% seiring peningkatan penambahan kotoran sapi. CO<sub>2</sub> merupakan salah satu produk degradasi bahan organik selama proses digesti anaerob dan jumlahnya dipengaruhi oleh karakteristik substrat serta aktivitas mikroorganisme (Kumar et al., 2024). Meskipun CO<sub>2</sub> meningkat, kualitas biogas tetap mengalami peningkatan karena kandungan CH<sub>4</sub> juga meningkat secara signifikan.



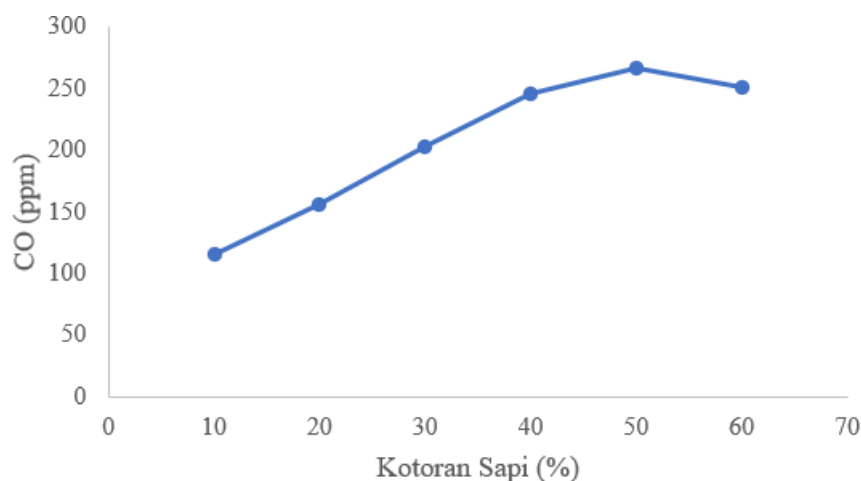
**Gambar 6.** Pengaruh Kotoran Sapi (%) terhadap Kadar O<sub>2</sub> yang dihasilkan pada Limbah Cair Tahu

Sebaliknya, kandungan O<sub>2</sub> menurun dari 0,6% pada penambahan kotoran sapi 10% menjadi 0,1% pada penambahan 60%. Penurunan ini menunjukkan kondisi fermentasi semakin anaerob dan mendukung aktivitas bakteri metanogen. Kondisi anaerob merupakan faktor penting dalam produksi biogas, sebagaimana dijelaskan oleh (Adeleye, 2023).



**Gambar 7.** Pengaruh Kotoran Sapi (%) terhadap Kadar H<sub>2</sub>S yang dihasilkan pada Limbah Cair Tahu

Kandungan H<sub>2</sub>S mengalami peningkatan yang cukup signifikan, yaitu dari 1.301 ppm pada penambahan 10% menjadi 6.871 ppm pada penambahan 60%. Peningkatan tersebut berkaitan dengan semakin banyaknya bahan organik dan senyawa sulfur yang dapat diuraikan selama fermentasi. (Vu et al., 2022) menjelaskan bahwa H<sub>2</sub>S terbentuk akibat aktivitas bakteri pereduksi sulfat dan dipengaruhi oleh kandungan sulfur bahan baku. Kandungan H<sub>2</sub>S yang tinggi perlu diperhatikan karena dapat menyebabkan korosi pada peralatan biogas, sehingga diperlukan proses pemurnian sebelum biogas dimanfaatkan (Mutegoa dan Sahini, 2023).



**Gambar 8.** Pengaruh Kotoran Sapi (%) terhadap Kadar CO yang dihasilkan pada Limbah Cair Tahu

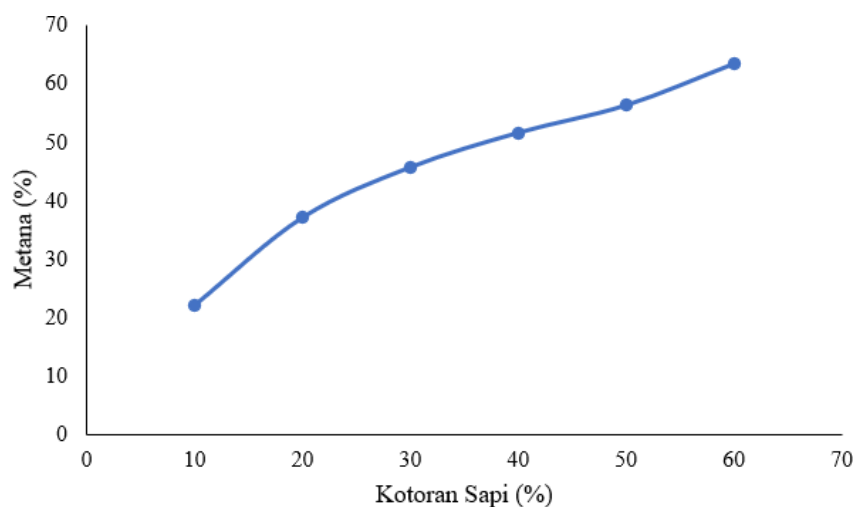
Sementara itu, kandungan CO berada pada kisaran 470,3–910,2 ppm. Kandungan CO meningkat hingga 910,2 ppm pada penambahan kotoran sapi 50%, kemudian menurun menjadi 801,1 ppm pada penambahan 60%. Perubahan tersebut relatif kecil dibandingkan perubahan CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>. (Calbry-Muzyka et al., 2022) menyatakan bahwa CO merupakan gas jejak dalam biogas sehingga tidak menjadi parameter utama dalam menentukan kualitas energi biogas.

**Tabel 6.** Komposisi Biogas pada Berbagai Variasi Penambahan Kotoran Sapi

| No | Persentase Kotoran Sapi (%) | CH <sub>4</sub> (%) | CO <sub>2</sub> (%) | O <sub>2</sub> (%) | H <sub>2</sub> S (ppm) | CO (ppm) |
|----|-----------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------------|----------|
| 1  | 10                          | 22,1                | 28                  | 0,6                | 1301                   | 470,3    |
| 2  | 20                          | 37,1                | 30                  | 0,6                | 1435                   | 531,6    |
| 3  | 30                          | 45,7                | 39                  | 0,5                | 1671                   | 647,1    |
| 4  | 40                          | 51,6                | 43                  | 0,3                | 2111                   | 781,3    |
| 5  | 50                          | 56,3                | 50                  | 0,2                | 4390                   | 910,2    |

|   |    |      |    |     |      |       |
|---|----|------|----|-----|------|-------|
| 6 | 60 | 63,4 | 55 | 0,1 | 6871 | 801,1 |
|---|----|------|----|-----|------|-------|

## Produksi Metana

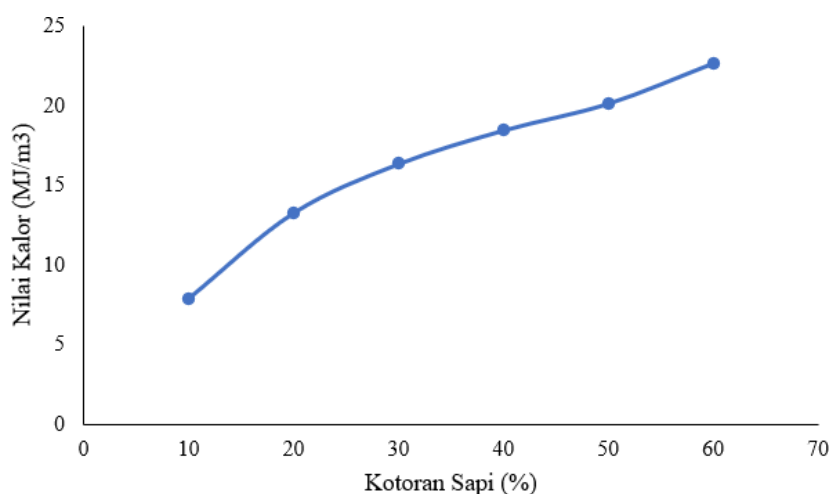


**Gambar 9.** Grafik Pengaruh Kotoran Sapi (%) terhadap Produksi Metana ( $\text{CH}_4$ )

Kandungan metana menunjukkan peningkatan konsisten pada seluruh variasi perlakuan, yaitu 22,1% pada penambahan kotoran sapi 10%, 37,1% pada 20%, 45,7% pada 30%, 51,6% pada 40%, 56,3% pada 50%, dan mencapai 63,4% pada 60%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase kotoran sapi, semakin optimal aktivitas mikroorganisme metanogen dalam proses fermentasi.

Kotoran sapi berperan sebagai inokulum yang menyediakan mikroorganisme anaerob sehingga proses konversi bahan organik limbah cair tahu menjadi metana berlangsung lebih efektif. Kandungan metana tertinggi sebesar 63,4% diperoleh pada penambahan kotoran sapi 60% dan berada dalam kisaran umum biogas berkualitas baik, yaitu sekitar 50–70%. (Uddin dan Wright, 2023) menyatakan bahwa kandungan metana merupakan indikator utama kualitas biogas karena berhubungan langsung dengan kemampuan biogas menghasilkan energi. Hasil ini juga sejalan dengan (Monica et al., 2025) dan (Iweka et al., 2021) yang menunjukkan bahwa kotoran sapi dapat meningkatkan aktivitas bakteri metanogen dan pembentukan metana.

## Nilai Kalor Biogas



**Gambar 10.** Grafik Pengaruh Kotoran Sapi (%) terhadap Nilai Kalor Biogas yang dihasilkan Limbah Tahu

Nilai kalor biogas meningkat seiring bertambahnya persentase kotoran sapi. Nilai kalor berturut-turut sebesar 7,91  $\text{MJ/m}^3$  pada penambahan 10%, 13,28  $\text{MJ/m}^3$  pada 20%, 16,36  $\text{MJ/m}^3$  pada 30%, 18,47  $\text{MJ/m}^3$  pada 40%, 20,16  $\text{MJ/m}^3$  pada 50%, dan mencapai 22,70  $\text{MJ/m}^3$  pada 60%. Peningkatan nilai kalor berkaitan

langsung dengan peningkatan kandungan  $\text{CH}_4$  karena metana merupakan komponen biogas yang memberikan kontribusi energi terbesar.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan kotoran sapi tidak hanya meningkatkan kandungan metana, tetapi juga meningkatkan potensi energi biogas. (Monica et al., 2025) melaporkan bahwa peningkatan kandungan metana diikuti oleh peningkatan nilai kalor biogas. (Obileke et al., 2024) juga menyatakan bahwa kualitas energi biogas sangat dipengaruhi oleh kandungan metana yang terbentuk selama fermentasi. (Adeleye, 2023) menambahkan bahwa kandungan metana berpengaruh langsung terhadap nilai kalor, efisiensi pembakaran, dan potensi pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar.

Secara keseluruhan, penambahan kotoran sapi sebesar 60% memberikan hasil terbaik, dengan estimasi volume biogas sebesar 2,00 L, kandungan  $\text{CH}_4$  sebesar 63,4%, dan nilai kalor sebesar 22,70  $\text{MJ/m}^3$ . Namun, perlakuan tersebut juga menghasilkan kandungan  $\text{H}_2\text{S}$  tertinggi sebesar 6.871 ppm, sehingga diperlukan proses pemurnian untuk menurunkan  $\text{H}_2\text{S}$  sebelum biogas digunakan sebagai bahan bakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan persentase kotoran sapi cenderung meningkatkan produksi metana dan nilai kalor biogas berbasis limbah cair tahu, sekaligus menunjukkan pentingnya pengendalian gas pengotor dalam pemanfaatan biogas.

**Tabel 7.** Nilai Kalor Biogas

| No | Persentase Kotoran Sapi (%) | $\text{CH}_4$ (%) | Nilai Kalor ( $\text{MJ/m}^3$ ) |
|----|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 1  | 10                          | 22,1              | 7,91                            |
| 2  | 20                          | 37,1              | 13,28                           |
| 3  | 30                          | 45,7              | 16,36                           |
| 4  | 40                          | 51,6              | 18,47                           |
| 5  | 50                          | 56,3              | 20,16                           |
| 6  | 60                          | 63,4              | 22,70                           |

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan kotoran sapi pada limbah cair tahu berpengaruh terhadap peningkatan produksi dan kualitas biogas. Volume biogas meningkat dari 0,70 L pada penambahan kotoran sapi 10% menjadi 2,00 L pada 60%, sedangkan kandungan metana meningkat dari 22,1% menjadi 63,4%. Penambahan kotoran sapi juga meningkatkan kandungan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$ , sementara kandungan  $\text{O}_2$  menurun. Kandungan CO meningkat hingga variasi 50% dan kemudian menurun pada variasi 60%.

Penambahan kotoran sapi sebesar 60% menghasilkan kualitas biogas terbaik dengan kandungan metana tertinggi sebesar 63,4% dan nilai kalor sebesar 22,70  $\text{MJ/m}^3$ . Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan persentase kotoran sapi dapat meningkatkan kandungan metana dan nilai kalor biogas, sehingga berpotensi meningkatkan pemanfaatan limbah cair tahu sebagai sumber energi alternatif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adeleye, A. O. (2023). Maximizing Efficiency in Biogas Production: A Comprehensive Review of Operational Parameters. *Nigerian Research Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 8(1).
- Ajao, M. O., Olunboji, O. A., & Olusola, E. O. (2024). Effect of Silicon Oxide Nanoadditive on Biogas and Methane Yield of Anaerobic Digestion of Cow Dung and Sheep Dung. *Journal of Systematic, Evaluation and Diversity Engr. (JSEDE)*, 4(5), 1–16.
- Apsari, P. A. D., Munandar, R., Wahyuni, A., Makhrus, M., Kamilatunnisa, L., & Solihin, I. (2025). Analisis Campuran Limbah Kotoran Sapi dan Tahu dalam Menghasilkan Biogas di Desa Sukamulia. *Journal of Science Technology and Education*, 1(1), 1–10.
- Cahyani, N. K. D., Jumari, J., Hariyati, R., Rahadian, R., Rahim, A., Zega, E., Kholifah, R. W. N., Barber, P. H., Putro, S. P., & Soeprobowati, T. R. (2024). Utilizing Environmental DNA to Identify Eukaryotic Diversity in Mangrove Sediments at Demak, Central Java, Indonesia. *ILMU KELAUTAN: Indonesian*

- Journal of Marine Sciences*, 29(4), 543–556. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.29.4.543-556>
- Calbry-Muzyka, A., Madi, H., Rusch-Pfund, F., Gandiglio, M., & Biollaz, S. (2022). Biogas Composition from Agricultural Sources and Organic Fraction of Municipal Solid Waste. *Renewable Energy*, 181, 1000–1007.
- Febriansyah, A., Alfarobi, J., Ridwan, K. A., Salamah, L., Putra, R. A., & Sari, S. I. A. (2023). Pengaruh Penambahan Limbah Cair Tahu dan Kulit Pisang terhadap Biogas dari Kotoran Ternak sebagai Solusi Energi Alternatif Masa Depan. *Jurnal Penelitian Sains*, 25(2), 103–108.
- Iweka, S. C., Owuama, K. C., Chukwuneke, J. L., & Falowo, O. A. (2021). Optimization of Biogas Yield from Anaerobic Co-Digestion of Corn-Chaff and Cow Dung Digestate: RSM and Python Approach. *Heliyon*, 7(11).
- Kumar, D. J. P., Mishra, R. K., Chinnam, S., Binnal, P., & Dwivedi, N. (2024). A Comprehensive Study on Anaerobic Digestion of Organic Solid Waste: A Review on Configurations, Operating Parameters, Techno-Economic Analysis and Current Trends. *Biotechnology Notes*, 5, 33–49.
- Monica, L., Wiranata, M. A., Prakoso, D., Bow, Y., Reka, I., Manggala, A., & Daniar, R. (2025). Analisis Produksi Biogas dari Limbah POME dan Kotoran Sapi dengan EM-4 pada Digester terhadap Nilai Kalor. *Jurnal Penelitian Sains*, 27(3C), 1–7.
- Mutegoa, E., & Sahini, M. G. (2023). Approaches to Mitigation of Hydrogen Sulfide during Anaerobic Digestion Process—A Review. *Heliyon*, 9, 1–18.
- Nurhilal, M., Purwiyanto, P., & Aji, G. M. (2020). Pengaruh Komposisi dan Waktu Fermentasi Campuran Limbah Industri Tahu dan Kotoran Sapi terhadap Kandungan Gas Methane pada Pembangkit Biogas. *Jurnal Teknologi Terapan*, 6(1), 47–54.
- Obileke, K., Makaka, G., Tangwe, S., & Mukumba, P. (2024). Improvement of Biogas Yields in an Anaerobic Digestion Process via Optimization Technique. *Environment, Development and Sustainability*, 27, 15025–15051.
- Uddin, M. M., & Wright, M. M. (2023). Anaerobic digestion fundamentals, challenges, and technological advances. *Physical Sciences Reviews*, 8(9), 2819–2837. <https://doi.org/10.1515/psr-2021-0068>
- Vu, H. P., Nguyen, L. N., Wang, Q., Ngo, H. H., Liu, Q., Zhang, X., & Nghiem, L. D. (2022). Hydrogen sulphide management in anaerobic digestion: A critical review on input control, process regulation, and post-treatment. *Bioresource Technology*, 346, 126634. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126634>