

Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi dan Molase Kulit Pisang Sebagai Efektifitas Produksi Biogas di Desa Daero Kabupaten Pulau Morotai

Muhammad Fahmi Aja¹, Hasrul Saleh², Siti Hanian Bilo³

^{1,3}Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pasifik Morotai, Maluku Utara

²Program Studi Teknik Industri, Universitas Pasifik Morotai, Maluku Utara

*Koresponden email: hasrul.saleh24@gmail.com

Diterima: 29 September 2025

Disetujui: 14 Oktober 2025

Abstract

The community's dependence on kerosene remains a major issue, especially in disadvantaged, frontier, and outermost (3T) areas such as Morotai Island Regency. This study focuses on the utilisation of fresh cow dung waste combined with banana peel molasses as raw materials for biogas production. The research methods used were quantitative descriptive and experimental with trials on three digester designs. Based on the results of the study, the three digester designs showed significant differences, where RD1 was less than optimal because the low pH (6) caused unstable CH₄ production, 0 psi pressure, (CO₂, CO = 0), RD2 was the best design with neutral pH (7), stable mesophilic temperature (25–31 °C), high pressure (34 psi), and consistent CH₄ production increasing to 10,100 ppm, while RD3 was still able to produce fairly high CH₄ (8,731 ppm) despite relatively acidic pH. Regression analysis shows that in RD1, pH greatly affects CH₄ (R² = 0.899), while in RD2 and RD3, temperature is the dominant factor (R² > 0.997) in increasing methane production. In general, neutral pH and mesophilic temperature conditions proved to be most conducive to methanogenic bacterial activity, with RD2 as the most optimal digester design producing high-quality biogas with a neutral pH of 7, temperature of 31°C and pressure of 34 psi, and CH₄ consistently increasing to 10,100 ppm.

Keywords: cow dung waste, molasses, banana peel, biogas production

Abstrak

Ketergantungan masyarakat terhadap minyak tanah masih menjadi persoalan utama, terutama di daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T) seperti Kabupaten Pulau Morotai. Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan limbah kotoran sapi segar yang dikombinasikan dengan molase kulit pisang sebagai bahan dasar pembuatan biogas. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dan eksperimen dengan uji coba pada tiga rancangan digester. Berdasarkan hasil penelitian bahwa ketiga rancangan digester menunjukkan perbedaan signifikan, dimana RD1 kurang optimal karena pH rendah (6) menyebabkan produksi CH₄ tidak stabil, tekanan 0 psi, (CO₂, CO = 0), RD2 menjadi rancangan terbaik dengan kondisi pH netral (7), suhu mesofilik stabil (25–31 °C), tekanan tinggi (34 psi), serta produksi CH₄ konsisten meningkat hingga 10.100 ppm, sedangkan RD3 masih mampu menghasilkan CH₄ cukup tinggi (8.731 ppm) meskipun pH relatif asam. Analisis regresi menunjukkan bahwa pada RD1 pH sangat berpengaruh terhadap CH₄ (R² = 0,899), sementara pada RD2 dan RD3 suhu menjadi faktor dominan (R² > 0,997) dalam meningkatkan produksi metana. Secara umum, kondisi pH netral dan suhu mesofilik terbukti paling mendukung aktivitas bakteri metanogen, dengan RD2 sebagai rancangan digester paling optimal menghasilkan biogas berkualitas dengan nilai pH netral 7, suhu 31°C dan tekanan 34 psi, serta CH₄ konsisten meningkat hingga 10.100 ppm.

Kata Kunci: limbah kotoran sapi, molase, kulit pisang, produksi biogas

1. Pendahuluan

Energi merupakan persoalan yang krusial di dunia salah satunya Indonesia. Hampir semua aktivitas yang lahir tidak terlepas dari energi yang kita gunakan. Misalnya bahan bakar yang kita gunakan untuk penerangan, kendaraan, memasak dan lainnya. Program Menteri ESDM tentang kebijakan pemakaian minyak tanah ke *Liquified Petroleum Gas* (LPG) merupakan upaya pengurangan subsidi yang selama ini menjadi beban negara yang tidak mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan menjadi tanda tanya besar terhadap cadangan minyak saat ini [1]. Energi fosil merupakan hasil alam yang tidak dapat diperbaharui dan sewaktu-waktu akan habis penting untuk mengambil tindakan energi alternatif [2].

Ketergantungan terhadap minyak tanah masih menjadi problem yang mendasar disetiap wilayah di Indonesia, salah satunya di daerah 3T Kabupaten pulau Morotai. Kebutuhan akan minyak tanah sejalan dengan kebutuhan pokok lainnya. Itu artinya bahwa bahan bakar menjadi kebutuhan utama masyarakat Morotai dalam pemenuhan kehidupan sehari-hari. Kelangkaan BBM yang terjadi akan menghambat aktivitas pemenuhan kehidupan masyarakat. Untuk mengatasi problem tersebut yaitu melalui pembuatan biogas portebel sebagai Green energi [3]. Desa daeo merupakan salah satu desa di kabupaten pulau morotai yang memiliki potensi peternakan sapi, namun limbah kotoran sapi yang berasal dari peternakan belum dimanfaatkan. Kotoran sapi bila dikelola dengan baik akan memiliki nilai energi yang dapat menunjang masyarakat daeo dan menjadi salah satu solusi terhadap kelangkaan minyak tanah [4]. Biogas merupakan gas yang bersifat mudah terbakar dan terbentuk dari proses fermentasi bahan organik oleh mikroorganisme anaerob. Proses ini berlangsung melalui dekomposisi tanpa oksigen, sehingga menghasilkan gas dengan komponen utama metana (CH₄) dan karbondioksida(CO₂) [5-6].

Kotoran sapi dapat diolah menjadi biogas, karena memiliki nutrisi yang seimbang serta mudah diencerkan dan diolah secara biologis[7]. Proses pembuatan biogas melibatkan kontak antara mikroorganisme dengan substrat sebagai bahan baku proses produksi biogas. Sehingga memiliki peran penting terhadap hasil dari biogas[8]. Suhu merupakan salah satu parameter yang dapat menentukan hasil dari produksi biogas. Karena aktivitas mikroorganisme membutuhkan suhu yang stabil sehingga proses penguraian berjalan efektif. Terdapat dua kondisi suhu yaitu mesofilik dan termofilik. Pada suhu mesofilik bekerja pada kisaran 28-45 0C dengan kondisi optimum 35-45 0C sedangkan pada kondisi termofilik bekerja pada suhu 50-60 0C[9]. Sedangkan untuk parameter pH merupakan barometer yang dapat menentukan proses produksi biogas berjalan efektif dan tidaknya dalam suatu proses. Karena pH akan mempengaruhi aktivitas mikroba pada proses yang melibatkan mikroorganisme seperti pembuatan biogas[10]. Parameter pH yang optimum untuk proses fermentasi anaerobik adalah 7-7,5 (netral) akan semakin tinggi CH₄ yang di hasilkan dan semakin sedikit CO₂ yang di produksi[11-16]. Sehingga melalui penelitian ini potensi dan energi yang terbuang dapat dimanfaatkan dan dikelola semaksimal mungkin untuk menjadi sumber energi alternatif yang terbaharukan.

2. Metode Penelitian

Pembuatan digester

Bahan baku dalam pembuatan digester yaitu bata, semen, besi dan pasir. Untuk meminimalisir kebocoran pada digester, maka penggunaan material Pasir yang digunakan dalam pembuatan digester yaitu pasir hitam Tobelo karena memiliki agregat halus dan daya rekat lebih tinggi sehingga penggunaan pada pembuatan beton lebih halus dan tidak memiliki pori oleh karen itu sangat cocok digunakan pada pembuatan digester.

Pembuatan Molase

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan molase yaitu kulit pisang yang matang dicuci bersih, kemudian di potong kecil-kecil dengan ukuran 3 cm bertujuan untuk memudahkan dalam proses pengalusan menggunakan blender. Kulit pisang yang telah di potong dimasukan kedalam blender sebanyak 40% lalu di tambahkan larutan gula sebanyak 20% dan air sebanyak 40%. Setelah dilakukan pengalusan, larutan dimasukan kedalam wadah yang kedap udara dan sinar matahari untuk dilakukan proses fermentasi selama 10 hari.

Pembuatan Biogas

Bahan baku pembuatan biogas yaitu kotoran sapi segar yang diperoleh dari kandang peternakan sapi Desa Daeo dicampurkan dengan air dan Molase dengan perbandingan komposisi bahan sebagai berikut.

Tabel 1. Komposisi Bahan Untuk Rangkaian Digester

Rangkaian Digester	Kotoran Sapi (Kg)	Air (Liter)	Molase (Liter)
RRD1	25	20	1
RRD2	50	50	3
RRD3	70	25	5

Bahan Penelitian :

Kotoran Sapi, Kulit Pisang, Air

Alat Penelitian :

Rangkaian Digester biogas, Thermometer, pH Meter, Timbangan, Gelas Ukur, Pressure Gauge

Rancangan Digester



Gambar 1. Rancangan Digester

Uji Regresi Linier Sederhana

Pengujian Pengaruh PH dan Suhu terhadap CH₄ dengan menggunakan uji regresi linier sederhana. Persamaan yang digunakan dalam pengujian regresi linear sederhana adalah sebagai berikut.

Persamaan Korelasi

$$r = \frac{\sum x.y - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sqrt{[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}][\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}]}} \quad (1)$$

Keterangan:

- n = Jumlah subjek
- ΣX = Jumlah hasil variable pertama
- ΣY = Jumlah hasil variable kedua
- ΣXY = Jumlah hasil kali X dan Y

Persamaan Regresi

$$Y = a + bx \quad (2)$$

$$b = \frac{\sum x.y - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

$$a = \frac{\sum y}{n} - b \cdot \frac{\sum x}{n}$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Rancangan Digester 1

Berdasarkan hasil pengamatan pada Rancangan Digester 1 dengan nilai pH awal 7, suhu 25 °C, tekanan, CO₂ dan CO dengan nilai 0. Hal menunjukan tidak adanya waktu fermentasi sehingga proses penguraian oleh bakteri. Memasuki hari ke-10, terjadi penurunan pH menjadi 6, sedangkan suhu meningkat hingga 30,2 °C. Namun, tekanan masih belum terbentuk 0 psi . Produksi CO₂ sudah mulai terlihat dengan metana CH₄ sebesar 5.179 ppm, CO₂ sebesar 1100 ppm, dan CO sebesar 324 ppm. Pada hari ke-20, pH tetap rendah di angka 6 dan suhu stabil di 30 °C. Akan tetapi, tekanan tetap tidak terbentuk 0 psi . Produksi CH₄ mengalami penurunan signifikan menjadi 635 ppm, meskipun CO₂ masih tercatat 1.020 ppm dan CO meningkat menjadi 640 ppm. Secara keseluruhan, RD1 menunjukkan performa yang kurang stabil. Produksi metana relatif tinggi pada hari ke-10, namun menurun drastis pada hari ke-20. Kondisi ini menunjukkan adanya kemungkinan reaksi proses fermentasi, yang dapat disebabkan oleh akumulasi gas

pengotor (seperti CO), ketidakseimbangan pH yang turun ke kondisi asam, atau faktor lain yang menghambat aktivitas bakteri. Hal ini sejalan dengan temuan bahwa pH rendah (≤ 6) cenderung menekan proses metanogenesis karena bakteri metanogen lebih optimal bekerja pada pH netral (7,0–7,5) [24]. Selain itu, akumulasi senyawa penghambat seperti CO dan amonia juga dapat mengganggu kestabilan fermentasi anaerob dan menurunkan produksi metana [25].

Tabel 2. Hasil Pengamatan RD1

	Hari	pH	Tekanan	Suhu	CH ₄	CO ₂	CO
RD1	0	7	0	25	0	0	0
	10	6	0	30,2	5179	1100	324
	20	6	0	30	635	1020	640

Sumber: Hasil Penelitian 2025

3.2 Hasil Pengujian Rancangan Digester 2

Berdasarkan hasil pengamatan di tabel RD2 Pada hari ke-0, nilai pH 7, suhu 25 °C, tekanan 0 psi dan produksi gas (CH₄, CO₂, CO = 0), Ini menunjukkan proses fermentasi belum berlangsung. Pada hari ke-10, Nilai pH pada angka 7, menunjukkan kondisi lingkungan masih ideal bagi bakteri metanogen. Suhu meningkat ke 29 °C, yang masih dalam rentang mesofilik optimal (25–35 °C). Pada tahap ini mulai terbentuk tekanan 10 psi, mengindikasikan akumulasi gas di dalam digester. Metana CH₄ sebesar 6.273 ppm, CO₂ sebesar 807 ppm, dan CO sebesar 452 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri metanogen sudah aktif menghasilkan metana dalam jumlah signifikan. Hari ke-20 pH tetap pada angka 7, menegaskan kestabilan kondisi fermentasi. Suhu meningkat ke 31 °C dan masih dalam rentang optimal. Tekanan meningkat drastis hingga 34 psi, seiring dengan kenaikan produksi metana menjadi 10.100 ppm. Kandungan CO₂ juga naik menjadi 1.325 ppm, sedangkan CO sedikit meningkat ke 507 ppm. Peningkatan metana yang konsisten dengan tekanan tinggi menunjukkan bahwa RD2 memiliki performa yang sangat baik dalam menghasilkan biogas. Dari data tabel diatas dapat disimpulkan bahwa RD2 menunjukkan performa paling stabil dengan pH 7, suhu mesofilik optimal (25–35 °C) tekanan 34 psi, serta produksi CH₄ 10.100 ppm. Hal ini menandakan bahwa kondisi dalam digester RD2 sangat mendukung aktivitas bakteri metanogen, sehingga dapat menghasilkan biogas dengan kualitas dan kuantitas yang baik [26].

Tabel 3. Hasil Pengamatan RD2

	Hari	pH	Tekanan	Suhu	CH ₄	CO ₂	CO
RD2	0	7	0	25	0	0	0
	10	7	10	29	6273	807	452
	20	7	34	31	10.100	1325	507

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

3.3 Hasil Pengujian Rancangan Digester 3

Berdasarkan **Tabel 3** hasil pengamatan diatas Pada hari ke-0, Nilai pH berada pada angka 6, tekanan dengan angka 0, suhu 25 °C, dan kandungan gas (CH₄, CO₂, dan CO = 0). Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme masih berada pada fase adaptasi (lag phase) sehingga belum terbentuk biogas. Pada hari ke-10, proses fermentasi mulai aktif kenaikan tekanan menjadi 4 psi dan suhu meningkat menjadi 30,2 °C. Peningkatan suhu ini terjadi akibat aktivitas mikroba yang mulai mendegradasi bahan organik. Nilai pH tetap di angka 6, meskipun masih berada pada kondisi sedikit asam. Produksi gas metana (CH₄) terdeteksi dalam jumlah cukup tinggi, yaitu 8145 ppm, yang menandakan bahwa bakteri metanogen telah mulai berkembang. Gas CO₂ juga muncul sebesar 932 ppm, yang merupakan hasil samping dari tahap asidogenesis dan asetogenesis. Sementara itu, gas CO relatif kecil yaitu 73 ppm, sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas biogas. Pada hari ke-20, produksi biogas pada RD3 semakin meningkat dengan tekanan mencapai 20 psi dan suhu 31,3 °C, yang masih berada dalam rentang optimum untuk pertumbuhan bakteri mesofilik. Kandungan CH₄ meningkat menjadi 8.731 ppm, meskipun peningkatannya tidak sebesar pada interval sebelumnya, yang menandakan bahwa proses metanogenesis telah memasuki fase stabil. Konsentrasi CO₂ menurun menjadi 683 ppm, mengindikasikan terjadinya konversi CO₂ menjadi CH₄ oleh bakteri metanogen, sementara kadar CO sedikit menurun menjadi 67 ppm dan tetap berada pada level rendah. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa RD3 mampu menghasilkan biogas dengan kandungan CH₄ yang cukup tinggi meskipun kondisi pH relatif rendah (pH 6). Peningkatan tekanan yang signifikan dari hari ke-0 hingga hari ke-20 mencerminkan akumulasi gas

yang terus berlangsung, sedangkan penurunan CO₂ dan stabilisasi CH₄ mengonfirmasi bahwa metanogenesis berjalan dengan baik. Namun demikian, pengaturan pH agar lebih mendekati netral (6,8–7,2) diperkirakan dapat meningkatkan produksi metana secara lebih optimal, sesuai dengan laporan bahwa bakteri metanogen tumbuh paling baik pada kondisi pH netral hingga sedikit basa dan suhu mesofilik [26].

Tabel 4. Hasil Pengamatan RD3

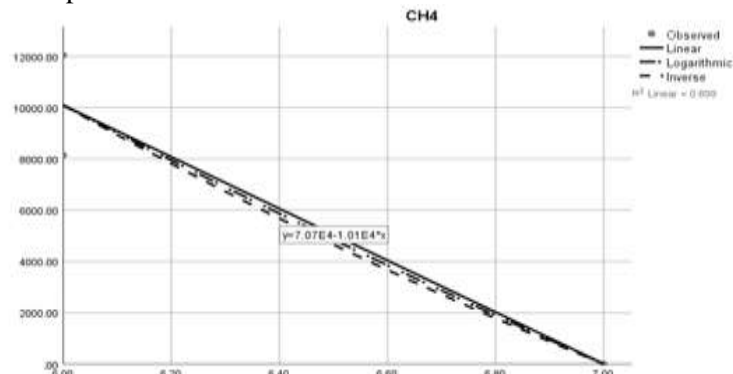
	Hari	pH	Tekanan	Suhu	CH ₄	CO ₂	CO
RD3	0	6	0	25	0	0	0
	10	6	4	30,2	8145	932	73
	20	6	20	31,3	8731	683	67

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

3.4 Pengujian pengaruh pH dan Suhu terhadap CH₄

Pengujian pengaruh pH dan Suhu terhadap Produksi CH₄ pada penelitian dilakukan menggunakan analisis regresi sederhana, dengan objek pengujian berupa rancangan digester 1 hingga 3. Uji analisis korelasi yaitu pengujian korelasi sederhana antara variabel Independen PH (X1) dan Suhu (X2), dan variabel dependen yaitu CH₄ (Y). Pengaruh pH dan Suhu terhadap CH₄ (Rancangan Digester 1)

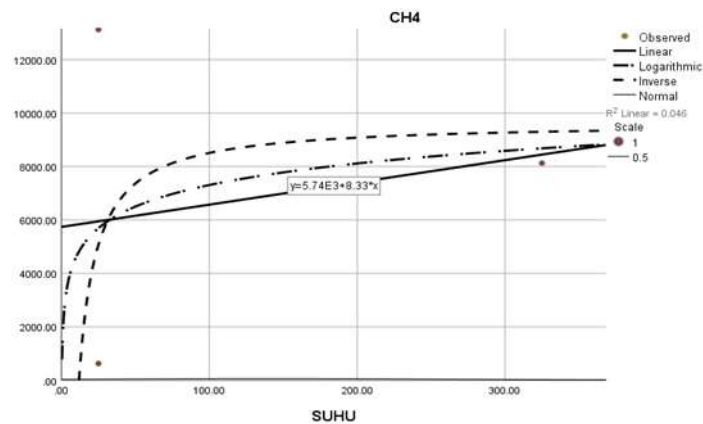
1. Pengaruh PH terhadap CH₄



Gambar 5 . Grafik Uji Linier Pengaruh pH terhadap CH₄

Analisis regresi linear sederhana dilakukan untuk melihat hubungan antara pH dan produksi metana (CH₄). Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai R = 0,948 yang menunjukkan adanya korelasi sangat kuat antara pH dengan CH₄. Nilai R² = 0,899 mengindikasikan bahwa sekitar 89,9% variasi produksi CH₄ dapat dijelaskan oleh variabel pH, sedangkan sisanya sebesar 10,1% dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model. Nilai Adjusted R² = 0,799 menegaskan bahwa meskipun sudah disesuaikan dengan jumlah variabel, kemampuan model dalam menjelaskan masih tetap tinggi.

2. Pengaruh Suhu terhadap CH₄



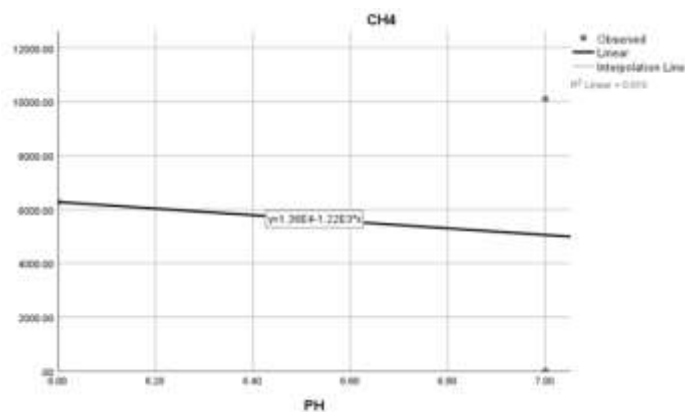
Gambar 6 . Grafik Uji Linier Pengaruh Suhu terhadap CH₄

Analisis regresi sederhana dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu (SUHU) terhadap kadar metana (CH₄). Ringkasan model (Model Summary) menunjukkan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,215 dengan koefisien determinasi (R²) sebesar 0,046. Hal ini menunjukkan bahwa suhu hanya mampu menjelaskan 4,6% variasi kadar CH₄, sedangkan sisanya sebesar 95,4% dipengaruhi oleh variabel lain di luar model. Nilai Adjusted R² sebesar -0,908 mengindikasikan bahwa model regresi yang terbentuk kurang layak digunakan sebagai alat prediksi karena kemampuannya terhadap data sangat rendah.

Nilai R² Linear = 0,046 pada grafik menegaskan lemahnya hubungan antara suhu dan CH₄. Sebaran data yang luas serta keberadaan outlier semakin memperlemah kesesuaian model regresi. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa meskipun secara matematis terdapat kecenderungan hubungan positif, suhu tidak berpengaruh nyata terhadap kadar CH₄. Faktor lain di luar suhu lebih dominan dalam menentukan variasi kadar CH₄ pada penelitian ini.

a. Pengaruh pH dan Suhu terhadap CH₄ (Rancangan Digester 2)

1. Pengaruh pH terhadap CH₄

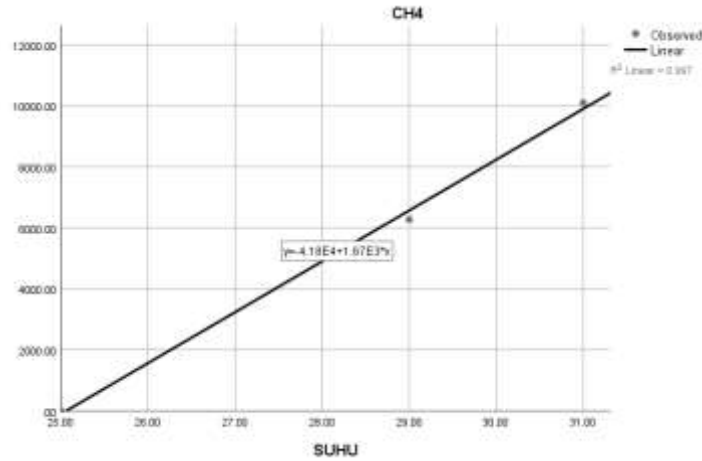


Gambar 7 . Grafik Uji Linier Pengaruh pH terhadap CH₄

Analisis regresi linier sederhana dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel independen X (pH) terhadap variabel dependen Y (CH₄). Hasil analisis regresi linear sederhana antara variabel pH sebagai prediktor dan CH₄ sebagai variabel dependen menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,138, yang mengindikasikan adanya hubungan yang sangat lemah antara pH dan kadar CH₄. Nilai R² = 0,019 menunjukkan bahwa hanya 1,9% variasi CH₄ yang dapat dijelaskan oleh pH, sedangkan 98,1% variasi lainnya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model.

Konstanta sebesar 13.611 menunjukkan bahwa apabila pH bernilai nol, maka kadar CH₄ diperkirakan sebesar 13.611 satuan. Sementara itu, koefisien regresi untuk pH adalah -1223, yang berarti setiap kenaikan 1 unit pH diprediksi menurunkan kadar CH₄ sebesar 1223 satuan. Arah hubungan negatif ini sesuai dengan kecenderungan bahwa peningkatan pH berasosiasi dengan penurunan CH₄. Namun demikian, hasil uji signifikansi menunjukkan bahwa baik konstanta (Sig = 0,854) maupun koefisien pH (Sig = 0,912) tidak signifikan pada taraf 5%. Nilai *t* yang sangat kecil (-0,140) juga mendukung bahwa pH tidak memiliki pengaruh nyata terhadap kadar CH₄. Dengan demikian, meskipun model regresi menunjukkan adanya hubungan negatif, hubungan tersebut sangat lemah dan tidak signifikan secara statistik. Secara keseluruhan, hasil analisis ini mengindikasikan bahwa pH bukanlah faktor dominan dalam memengaruhi kadar CH₄. Variasi kadar CH₄ lebih banyak ditentukan oleh faktor lain yang tidak dianalisis dalam model ini, seperti kondisi lingkungan, ketersediaan substrat organik, serta aktivitas mikroorganisme penghasil metana.

2. Pengaruh Suhu terhadap CH₄



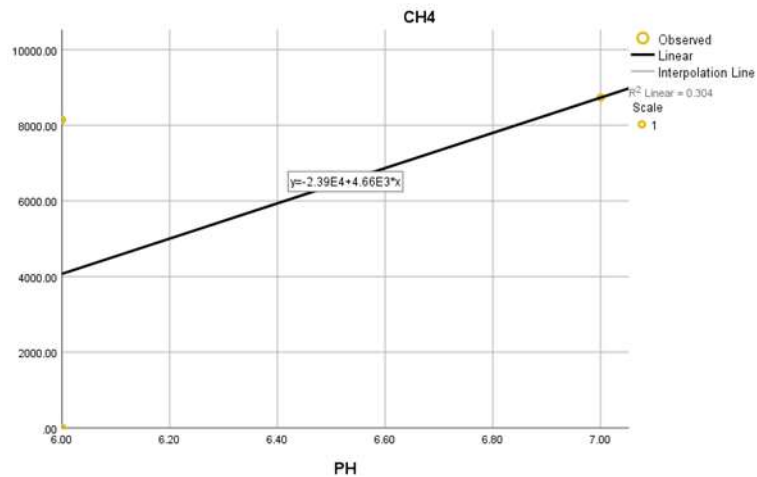
Gambar 7 . Grafik Uji Linier Pengaruh PH terhadap CH₄

Hasil analisis regresi linear sederhana menunjukkan bahwa variabel X (SUHU) berpengaruh sangat kuat terhadap variable Y metana (CH₄). Hal ini dapat dilihat dari nilai R = 0.999, yang berarti terdapat hubungan positif yang hampir sempurna antara suhu dengan CH₄. Selain itu, nilai R Square = 0.997 mengindikasikan bahwa sebesar 99,7% variasi perubahan konsentrasi CH₄ dapat dijelaskan oleh variabel suhu, sementara sisanya hanya 0,3% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Nilai Adjusted R Square = 0.995 juga memperkuat validitas model dengan menunjukkan bahwa korelasi yang tinggi ini tidak semata-mata disebabkan oleh jumlah data.

Koefisien regresi suhu sebesar 1666.893 menunjukkan bahwa setiap kenaikan suhu 1°C akan meningkatkan kadar CH₄ sebesar kurang lebih 1667 satuan. Hal ini mengindikasikan bahwa suhu memiliki pengaruh yang positif dan kuat terhadap pembentukan CH₄. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu berpengaruh signifikan terhadap perubahan konsentrasi CH₄. Garis regresi yang menanjak menegaskan bahwa peningkatan suhu akan diikuti dengan peningkatan kadar CH₄. Dengan kata lain, terdapat hubungan linier positif yang konsisten antara kedua variabel. Hasil ini sejalan dengan teori bahwa kenaikan suhu dapat mempercepat aktivitas biologis maupun kimiawi yang menghasilkan metana (CH₄). Secara umum, peningkatan suhu dapat meningkatkan laju metabolisme mikroorganisme penghasil metana (metanogen), sehingga konsentrasi CH₄ yang terbentuk akan meningkat. Hal ini relevan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa suhu merupakan salah satu faktor lingkungan utama yang mengontrol laju pembentukan gas metana [27].

b. Pengaruh PH dan Suhu terhadap CH₄ (Rancangan Digester 3)

1. Pengaruh PH terhadap CH₄

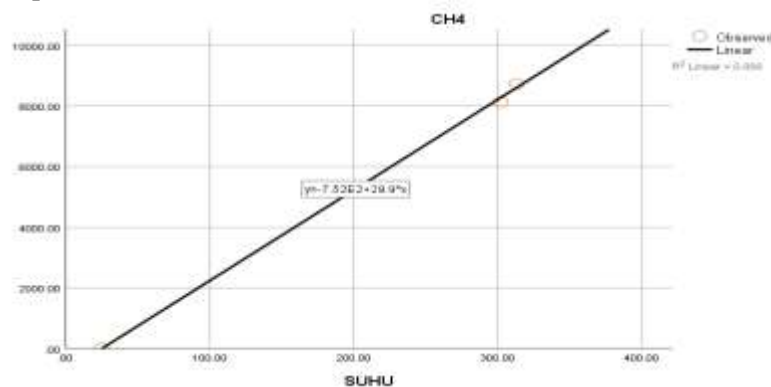


Gambar 8 . Grafik Uji Linier Pengaruh pH terhadap CH₄

Analisis regresi linier sederhana dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel independen X (pH) terhadap variabel dependen Y (CH_4). Berdasarkan hasil analisis regresi linear sederhana antara pH terhadap produksi gas metana (CH_4), diperoleh nilai korelasi (R) sebesar 0,551 yang menunjukkan adanya hubungan positif dengan kekuatan sedang. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,304 menandakan bahwa pH hanya mampu menjelaskan 30,4% variasi yang terjadi pada CH_4 , sedangkan 69,6% sisanya dipengaruhi oleh variabel lain di luar model

Visualisasi grafik regresi memperlihatkan adanya kecenderungan hubungan searah (positif) antara pH dan CH_4 , dimana semakin tinggi nilai pH maka semakin meningkat pula konsentrasi CH_4 . Meskipun demikian, jumlah data observasi yang terbatas serta rendahnya nilai Adjusted R^2 (-0,392) menunjukkan bahwa model regresi ini belum representatif untuk menjelaskan hubungan antara pH dan CH_4 secara komprehensif. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa variabel pH memiliki kecenderungan hubungan positif terhadap CH_4 , tetapi belum terbukti signifikan secara statistik dan tidak cukup kuat untuk dijadikan prediktor tunggal. Diperlukan penambahan variabel lain maupun data yang lebih banyak untuk memperoleh model yang lebih valid dan reliabel.

2. Pengaruh Suhu terhadap CH_4



Gambar 9 . Grafik Uji Linier Pengaruh Suhu terhadap CH_4

Analisis regresi linier sederhana dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel independen X (Suhu) terhadap variabel dependen Y (CH_4). Hasil uji menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi (R) sebesar 1.000, yang berarti terdapat hubungan yang sangat kuat antara suhu dengan kadar CH_4 . Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.999 mengindikasikan bahwa sebesar 99.9% variasi CH_4 dapat dijelaskan oleh suhu, sedangkan sisanya sebesar 0.1% dijelaskan oleh variabel lain di luar model.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan limbah kotoran sapi segar dengan tambahan molase kulit pisang sebagai bahan dasar biogas menemukan bahwa performa ketiga rancangan digester menunjukkan perbedaan signifikan, dimana RD1 kurang optimal karena pH rendah 6 menyebabkan produksi CH_4 tidak stabil dan tekanan gas tidak terbentuk, RD2 menjadi rancangan terbaik dengan kondisi pH netral (7), suhu mesofilik stabil (25–31 °C), tekanan tinggi (34 psi), serta produksi CH_4 konsisten meningkat hingga 10.100 ppm, sedangkan RD3 masih mampu menghasilkan CH_4 cukup tinggi (8.731 ppm) meskipun pH relatif asam. Analisis regresi menunjukkan bahwa pada RD1 pH sangat berpengaruh terhadap CH_4 ($R^2 = 0,899$), sementara pada RD2 dan RD3 suhu menjadi faktor dominan ($R^2 > 0,997$) dalam meningkatkan produksi metana. Secara umum, kondisi pH netral dan suhu mesofilik terbukti paling mendukung aktivitas bakteri metanogen, dengan RD2 sebagai rancangan digester paling optimal menghasilkan biogas berkualitas.

5. Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Direktorat Resiset Teknologi dan Pengabdian Masyarakat (DRTPM) Kementerian Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan pendanaan pada penelitian ini.

6. Referensi

- [1] Cristiano, Djema Maria, et al. "H₂S adsorption on nanostructured iron oxide at room temperature for biogas purification: Application of renewable energy." *Renewable Energy* 154 (2020): 151-160.

- [2] Budi, Setyo, R. Achmad Djazuli, and Andriani Eko Prihatiningrum. "AGROEKOSISTEM." (2018).
- [3] Yücenur, G. Nilay, et al. "An integrated solution with SWARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility." *Renewable Energy* 145 (2020): 2587-2597.
- [4] Dhaniswara, Trisna Kumala, and Medya Ayunda Fitri. "Pengaruh Perlakuan Awal Sampah Organik terhadap Produksi Biogas secara Anaerobic Digestion." *Journal of Research and Technology* 3.2 (2017): 23-31.
- [5] Megawati, Megawati. "Pengaruh penambahan EM4 (Effective Microorganism4) pada pembuatan biogas dari eceng gondok dan rumen sapi." *Jurnal Bahan Alam Terbarukan* 3.2 (2014): 42-49.
- [6] Wardana, Lalu Ali, et al. "Pemanfaatan Limbah Organik (Kotoran Sapi) Menjadi Biogas dan Pupuk Kompos." *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA 4.1* (2021): 201-207.
- [7] Putra, I. Putu Satria Udyana, et al. "Perancangan Media Informasi Berbasis Video Dokumenter Pengenalan Produk Bio Gas Kelompok Tani Simantri Sandakan, Sulangai, Petang." *ASPIRASI: Publikasi Hasil Pengabdian dan Kegiatan Masyarakat* 2.1 (2024): 247-261.
- [8] Apriandi, Nanang, et al. "Produksi Biogas Dari Kotoran Sapi Menggunakan Digester Anaerobik Tipe Batch Skala Kecil: Pengaruh Hydraulic Retention Time (HRT) Terhadap Kualitas Biogas." *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)* 12.1 (2023): 166-176.
- [9] Sari, Mega Anita, M. Ramdhan Kirom, and Ahmad Qurthobi. "Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Produksi Biogas Pada Reaktor Anaerobic Buffled Reactor (ABR)." *eProceedings of Engineering* 5.3 (2018).
- [10] Aja, M. F., Kapita, H., & Idrus, S. (2023). Pemanfaatan Nira Aren Sebagai Pengganti Bahan Bakar Alternatif Yang Terbarukan. *Jurnal Teknik SILITEK*, 3(02), 108-114.
- [11] Aqsa, Ichlasul. *Produksi Biogas Pada Variasi Campuran Serbuk Gergaji Dan Kotoran Sapi Menggunakan Metode Intermitten Mixing= Biogas Production On Variations Of Mixed Saw Powder And Cow Dung Using Intermitten Mixing Method*. Diss. Universitas Hasanuddin, 2022.
- [12] Hakim, Andi Nuradiyah, Jumrin Raking, and Ismail Marzuki. "Potensi Pemanfaatan Limbah Pasar Kubis-Kubisan (*Brassica Oleracea L*), Pisang (*Musa Paradisiaca*), Dan Umbi Akar (*Tuber Rhizogenum*) Sebagai Bahan Baku Energi Terbarukan Biogas." *Jurnal Jaring SainTek* 5.2 (2023): 79-88.
- [13] Setiawan, Dimas Daffa, And Zalzabillah Tiananda. "Pra Rancangan Pabrik Biogas Dengan Kapasitas Bahan Baku Limbah Makanan 14.000 Ton/Tahun." (2022).
- [14] Marbun, Julia Agatha. "Perencanaan Unit Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) pada IPAL Eksisting Industri Kelapa Sawit di Riau." (2019).
- [15] Irawan, Dwi, and Eko Suwanto. "Pengaruh EM4 (Effective Microorganism) terhadap produksi biogas menggunakan bahan baku kotoran sapi." *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 5.1 (2017).
- [16] Deressa, Leta, et al. "Production of biogas from fruit and vegetable wastes mixed with different wastes." *Environment and Ecology Research* 3.3 (2015): 65-71.
- [17] Soeprijanto, Soeprijanto, et al. "Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Biogas Menggunakan Digester Fixed Dome untuk Pembangunan Berkelanjutan Masyarakat Pedesaan." *JPP IPTEK (Jurnal Pengabdian dan Penerapan IPTEK)* 8.1 (2024): 27-34.
- [18] Heryadi, Eko, et al. "Pemanfaatan Kotoran Sapi (Kosa) Sebagai Bahan Bakar Biogas Di Desa Tani Bhakti." *Jurnal Chemurgy* 8.1 (2024): 53-58.
- [19] Herdianto, Agung, and Mawan Eko Defriatno. "Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Biogas Di Desa Ledokombo." *Indonesian Journal of Community Service Science and Technology* 1.1 (2024): 7-14.
- [20] Agustin, Reynafa, Nabila Wahyu Azizah, and Soeprijanto Soeprijanto. "Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang dan Kangkung Air untuk Biogas Menggunakan Bioreaktor Anaerobik." *Proceeding Technology of Renewable Energy and Development Conference*. Vol. 3. No. 1. 2023.
- [21] Mudiarta, I. Made, Yohanes Setiyo, and I. Wayan Widia. "Kajian Proses Fermentasi Bioslurry Kotoran Sapi dengan Penambahan Molase." *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian* 3.1 (2018).
- [22] Sari, Ayu Lingga Ratna, and Siti Maria Ulva. "Analisis Tekanan Biogas Dari Kotoran Sapi Pada Miniatur Reaktor Biogas Dari Galon Bekas." *Jurnal Sains Benuanta* 2.1 (2023): 51-57.
- [23] Febriansyah, Akbar, et al. "Pengaruh Penambahan Limbah Cair Tahu dan Kulit Pisang terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Ternak sebagai Solusi Energi Alternatif Masa Depan." *Jurnal Penelitian Sains* 25.2 (2023): 103-108.]
- [24] Li, Y., et al. (2022). Effect of initial pH on anaerobic digestion of cattle manure: microbial community dynamics and methane yield. *AMB Express*, 12(1), 86.

-
- [25] Li, J., et al. (2024). Ammonia inhibition in anaerobic digestion of organic waste: mechanisms and strategies. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(12), 14678–14692.
- [26] Appels, L., Baeyens, J., Degrève, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 755–781.
- [27] Rohma S, Novia fani, Muchamad A.N. “Pengaruh Rasio Substrat Ampas Ganyong dan PH Terhadap Tekanan dan waktu Retensi Biogas. Jurnal SEOI-Fakultas Teknik Universitas Sahid Jakarta. Vol 3 edisi 2 Tahun 2021.