



Analisis kualitas dan kuantitas biogas dari kotoran sapi dengan penambahan limbah cairan jagung

Analysis of the quality and quantity of biogas from cow dung with the addition of corn waste water

Febrian Purnama*, I Made Mara, I Wayan Joniarta

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 085961433808

*E-mail: febrianpurnama16@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received

Accepted

Available online

Keywords:

Biogas

Cow Dung

Corn Waste Water (Nejayote)



ABSTRACT

Biogas is one of the alternative energies that can be utilized to meet fuel energy needs. It originates from the fermentation process of biomass, such as cow dung. This research focuses on producing biogas from cow dung with the addition of corn waste water to determine the influence of adding corn waste water on the quality and quantity of the generated biogas. Treatments were applied by varying the composition of cow dung with corn waste water (A, B, C) and cow dung with water (D) as a control. The successive compositions created were composition A (1:1_j), composition B (1:2_j), composition C (1:3_j), and composition D (1:1_a), each repeated three times, and the study was conducted for 30 days. The research results indicate that with the addition of corn waste water, the highest quantity of biogas was obtained in composition A, amounting to 1168.08 cm³, while the lowest quantity was obtained in composition B, totaling 791.21 cm³. Regarding the quality testing of biogas with the addition of corn waste water, the highest quality was observed in composition A at 49.76%, whereas the lowest quality was found in composition B at 23%. However, in composition D, which consists of cow dung biogas with water demonstrated superior quality and quantity, with a quality value of 52.82% and a quantity of 1384.05 cm³. The data obtained suggest that corn waste water may not be as effective as a supplementary material for the mixture of cow dung biogas.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan populasi dan perekonomian, kebutuhan energi juga akan semakin meningkat. Oleh karena itu, dibutuhkan energi alternatif yang ramah lingkungan dan dapat dimanfaatkan secara efisien. Energi alternatif tersebut dapat diolah dari limbah industri peternakan, salah satunya berupa kotoran sapi.

Industri peternakan sapi menghasilkan limbah yang cukup besar setiap harinya. Berdasarkan data dari dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Provinsi Nusa Tenggara Barat, pada tahun 2021 jumlah populasi sapi di NTB mencapai 1.320.551 ekor (Aulia, 2022). Seekor sapi dengan bobot 454 kg mampu menghasilkan kotoran sapi dan urine sebanyak 30 kg per hari (Fathurrohman, 2015). Dengan jumlah kotoran sapi yang dihasilkan, maka akan menghasilkan limbah yang begitu banyak. Limbah tersebut dapat mencemari lingkungan jika tidak diolah dengan baik. Kotoran sapi dapat diolah menjadi energi alternatif berupa biogas. Biogas merupakan energi alternatif yang handal, dapat dihasilkan dari matri organik seperti kotoran hewan, dedaunan kering, limbah organik pasar, air limbah rumah tangga, limbah industri makanan, dan sumber lainnya. Jumlah biogas yang dihasilkan bervariasi tergantung pada jenis biomassa atau limbah yang digunakan (Saputra dkk, 2023).

Biogas merupakan gas yang mudah terbakar dan dihasilkan melalui proses fermentasi bahan organik oleh bakteri anaerob. Meskipun semua jenis bahan organik dapat diproses untuk menghasilkan biogas, hanya bahan organik homogen seperti kotoran dan urine hewan ternak yang cocok untuk digunakan dalam sistem biogas (Usman dkk, 2020).

Gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) merupakan kandungan terbesar pada biogas. Konsentrasi metana (CH_4) dalam biogas menentukan kandungan energinya (nilai kalor). Namun, untuk meningkatkan kualitas biogas yang dihasilkan karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S), dan kandungan air harus dihilangkan (Santoso dkk, 2019).

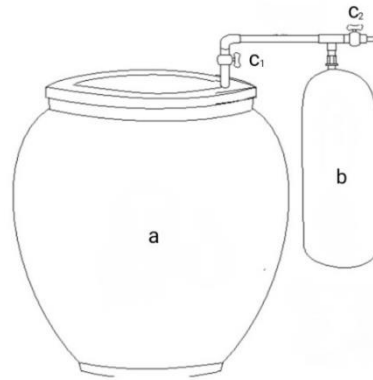
Jagung merupakan salah satu komoditas penting di NTB. Berdasarkan data dari dinas pertanian tahun 2022, diketahui bahwa produksi jagung di NTB pada tahun 2021 mencapai 1.839.898 ton. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa dalam pengolahannya akan menghasilkan limbah yang tidak dapat diabaikan. Di Indonesia, jagung digunakan sebagai bahan dasar industri makanan dan minuman, tepung, pakan ternak, minyak, dan lain sebagainya. Di Indonesia, penanaman jagung mulai digencarkan dalam rangka swasembada pangan di Indonesia (Wulandari dan Jaelani, 2019). Jagung sering diolah menjadi bahan makanan, seperti jagung goreng, emping jagung, tepung jagung dan lain sebagainya. Dalam prosesnya akan melalui proses nikstamalisasi. Proses nikstamalisasi merupakan proses perebusan jagung dengan pencampuran alkali (Zakiyah dkk, 2022). Proses penambahan alkali mampu membuat lapisan luar (perikap) dari jagung terkelupas (Safitri dkk, 2019). Tujuan dari penghilangan kulit ari pada jagung adalah untuk membuat tekstur jagung agar lebih renyah dan lebih mudah diolah (Wahyuni, 2011). Menurut Shubhaneel et al. (2018), tepung jagung menyumbang 12% dari total produksi tepung di mana mengalami penumbuhan 5,5% setiap tahunnya. Teknologi yang tersedia saat ini dalam pengolahan limbah tepung jagung tidak spesifik terhadap karakteristik limbah cairan jagung yang jumlahnya besar, pH rendah, dan padatan yang mudah terdegradasi di lingkungan.

Potensi pengolahan limbah cairan jagung menjadi biogas seperti pada penelitian Valero et al. (2020) di mana melakukan penelitian skala laboratorium tentang potensi produksi gas metana dari nejayote (limbah cairan jagung) dengan metode mikroaerasi (penambahan sejumlah kecil udara ke dalam lingkungan anaerobik) dengan campuran 30 gr/L deep soil, 300 gr/L pupuk kotoran sapi, 150 gr/L kotoran babi, 1,5 gr/L Na_2CO_3 , serta 1 L air keran. Hasil penelitiannya menunjukkan metode mikroaerasi meningkatkan persentase asam asetat dan asam butirat untuk proses metanogenik sebesar 62%. Hasil produksi metana menunjukkan produksi gas metana 55% lebih tinggi.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh komposisi dari penambahan limbah cairan jagung terhadap produksi biogas kotoran sapi berdasarkan kualitas dan kuantitas biogas. Limbah cairan jagung diharapkan mampu untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas biogas dari kotoran sapi.

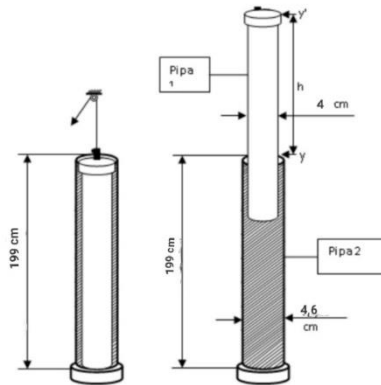
2. METODE PENELITIAN

Tahap awal merupakan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan. Sebelum melakukan pencampuran sesuai komposisi yang ditentukan, dilakukan pengukuran pH dari limbah cairan jagung dan air. Setelah pengukuran pH dilakukan pencampuran dengan kotoran sapi dengan komposisi A, B, dan C antara kotoran sapi dengan limbah cairan jagung serta D merupakan variabel kontrol berupa kotoran sapi dengan air, dimana secara berturut-turut perbandingannya adalah 1:1_j, 1:2_j, 1:3_j, dan 1:1_a. Sebelum dimasukkan ke dalam digester semua pH dari substrat yang dicampur harus diubah menjadi 7 sesuai dengan yang ditentukan. Digester yang digunakan terbuat dari jerigen yang memiliki volume 5 liter dan pengisian substrat sebesar 70% dari kapasitas jerigen. Digester disimpan di ruangan yang terhindar dari sinar matahari secara langsung dan menggunakan temperatur lingkungan. Skema dari alat digester dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Rancang alat pembuat biogas.

Proses fermentasi dilakukan selama 30 hari serta dalam rentang waktu tersebut dilakukan pengamatan dan pengukuran seperti: pH substrat sebelum dan setelah dari digaster, temperatur lingkungan, volume biogas yang dihasilkan, dan pengujian kualitas biogas. Pengujian kualitas biogas dilakukan dengan analisis laboratorium menggunakan alat *gas chromatograph*. Pengukuran volume biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi dapat dilakukan dengan cara metode Archimedes. Rancang alat pengukur volume biogas ditunjukkan pada gambar 2.2. Biogas dimasukkan ke dalam silinder yang berbenam air, saat biogas dimasukkan ke dalam silinder, maka silinder yang terendam pada air akan terangkat sesuai dengan massa atau volume yang dimiliki oleh gas, sehingga volume gas dapat ditentukan dengan menghitung volume tabung yang terangkat (Anggraeni, 2011).



Gambar 2.2. Rangkaian alat ukur volume gas (Tira dkk, 2018).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengukuran pH

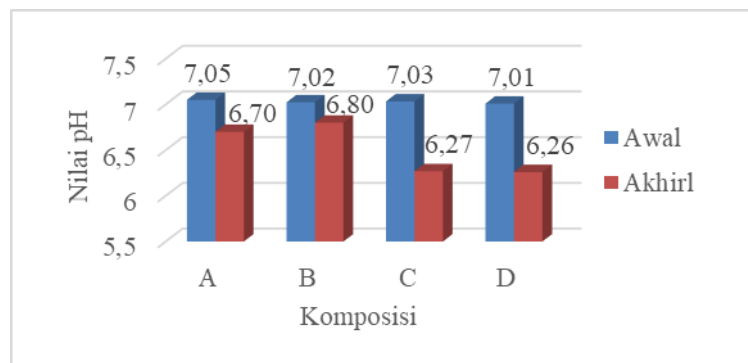
Proses penelitian diawali dengan pembuatan substrat sesuai dengan variabel, yang kemudian dimasukan ke dalam digaster untuk menjalani proses fermentasi secara anaerob. Sebelum dimasukan ke dalam digaster, dilakukan proses pengukuran pH cairan, pH setelah pencampuran, dan pengontrolan pH menjadi 7. Selanjutnya, setelah 30 hari proses fermentasi secara anaerob maka dilakukan pengukuran pH akhir dari substrat. Hasil pengukuran pH seperti ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Pengukuran pH.

Komposisi	Cairan	Campuran	pH 7 ($\pm 0,1$)	pH akhir
A _{1:1j}	11,83	8,88	7,05	6,7
B _{1:2j}	11,84	9,97	7,02	6,80
C _{1:3j}	11,82	11,35	7,03	6,27
D _{1:1a}	7,20	6,77	7,01	6,26

Hasil Pengukuran pH pada limbah cairan jagung, menunjukkan bahwa cairan bersifat basa dengan nilai pH berkisar 11,8 dan pH air bernilai 7,2. Setelah dilakukan pencampuran dari komposisi A, B, C, dan D, didapatkan nilai pH campuran dengan rentang nilai berkisar 6-11,35. Pada setiap komposisi, dilakukan

penyesuaian pH dengan nilai tetapan $7 \pm 0,1$ melalui penambahan asam sulfat (H_2SO_4) dan/atau kapur ($CaCO_3$) pada semua komposisi yang dibuat. Pada akhir penelitian, menunjukkan bahwa substrat setiap komposisi mengalami penurunan nilai pH, mengindikasikan bahwa kondisi substrat dalam digaster bersifat asam. Perbandingan antara nilai rata-rata pH awal substrat dengan nilai pH akhir dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.1. Diagram perbandingan pH awal dan pH akhir.

Dalam proses fermentasi anaerob, nilai pH memiliki pengaruh yang signifikan terhadap produksi biogas. Dalam penelitian ini, pH awal ditetapkan dengan nilai 7, dengan toleransi 0,1. Menurut Rittman dan McCarty (2001), pengaturan pH dalam proses anaerob sangat penting, karena rentang yang diinginkan dalam pembentukan metanogen berkisar 5,5 sampai 7,6. Oleh karena itu, maka nilai pH dalam penelitian ini sudah memenuhi syarat untuk pembentukan metanogen. Hasil penelitian Yonathan dkk (2013) menyatakan bahwa pada pH netral, pembentukan bakteri metana (metanogen) mengalami pertumbuhan yang optimal, sehingga berdampak pada produksi biogas.

Pada akhir penelitian, pH menunjukkan penurunan nilai hingga 6,2-6,8. Hal ini sesuai dengan pernyataan Rahmalia (2009), yang menyatakan bahwa penurunan pH menunjukkan terjadinya proses degradasi senyawa organik dalam substrat menjadi asam-asam organik, menyebabkan substrat menjadi asam.

3.2 Pengukuran volume biogas

Pengukuran volume biogas yang terbentuk diukur menggunakan persamaan berikut:

$$V = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot h$$

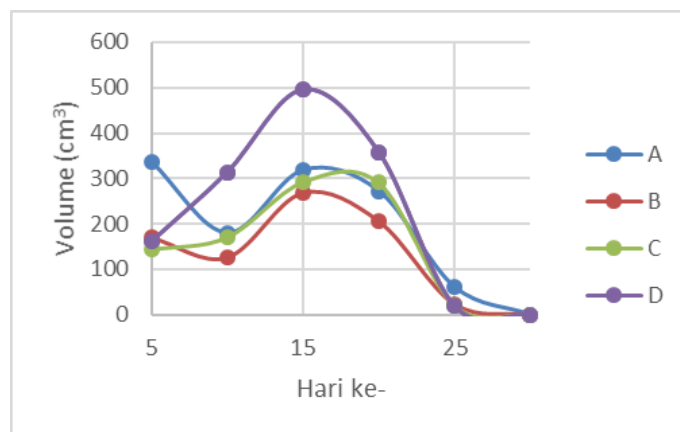
Dimana V = Volume biogas (cm^3)

π = 3,14

d = Diameter pipa 1 (0,4 cm)

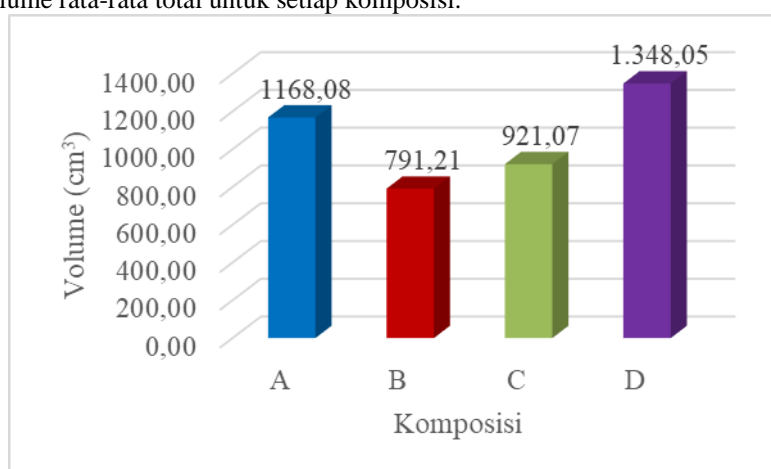
h = tinggi pipa 1 yang terangkat (cm)

Berdasarkan hasil pengukuran biogas menunjukkan bahwa, untuk semua komposisi yang dibuat, sudah menghasilkan biogas pada hari ke-5, di mana komposisi A menghasilkan volume tertinggi dan mencapai puncak produksi biogasnya. Volume rata-rata tertinggi untuk komposisi B, C, dan D didapatkan pada hari ke-15. Pada hari ke-20 produksi biogas mengalami penurunan dan berhenti menghasilkan biogas pada hari ke-30. Hal ini sesuai dengan fase pertumbuhan mikroorganisme, di mana pada tahap awal bakteri metanogen masih mengalami tahap penyesuaian dengan keadaan lingkungan hidup seperti pH dan temperatur. Fase selanjutnya, bakteri metanogen mengalami pertumbuhan karena mengkonsumsi nutrisi yang terkandung di dalam substrat sehingga menyebabkan peningkatan produksi biogas. Selanjutnya bakteri metanogen mengalami tahap stasioner, di mana jumlah produksi biogas cenderung konstan dikarenakan jumlah bakteri yang tumbuh sebanding dengan jumlah bakteri yang mati. Pada fase terakhir, bakteri metanogen mengalami kekurangan nutrisi sehingga bakteri mati, yang mana mengakibatkan penurunan produksi biogas. Fase pertumbuhan mikroorganisme terdiri dari fase adaptasi, fase pertumbuhan, fase stasioner, dan fase kematian (Moat et al., 2002).



Gambar 3.2. Grafik volume biogas.

Produksi total rata-rata biogas terbesar didapatkan pada komposisi D, diikuti oleh komposisi A, komposisi C, dan komposisi B, dengan nilai secara berturut-turut 1348,05 cm³, 1168,08 cm³, 921,07 cm³, dan 791,21 cm³. Berikut diagram volume rata-rata total untuk setiap komposisi.



Gambar 3.3. Diagram total volume rata-rata biogas.

Dari data total produksi volume rata-rata menunjukkan bahwa terdapat jumlah yang berbeda-beda untuk setiap komposisi. Hal ini terjadi karena perbedaan penambahan cairan dan sifat fisik dari substrat yang dibuat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Mara dan Alit (2011) bahwa variasi dari komposisi yang dibuat dapat mempengaruhi jumlah biogas yang diproduksi oleh masing-masing substrat.

3.3 Kualitas biogas

Parameter kualitas biogas ditentukan berdasarkan kandungan gas metana (%). Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dengan menggunakan alat gas chromatograph kandungan gas metana rata-rata dari biogas kotoran sapi dengan penambahan limbah cairan jagung seperti tercantum pada tabel 4.3. Data hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa persentase gas metana pada komposisi A, C, dan D memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Sedangkan pada komposisi B, persentase gas metana memiliki nilai terendah.

Tabel 3.2. Persentase rata-rata kandungan gas metana (CH₄).

Nama Sampel	Methane (CH ₄) Content (%)
KOMPOSISI-A	49,76
KOMPOSISI-B	23,00
KOMPOSISI-C	42,28
KOMPOSISI-D	52,82

Perbandingan kandungan gas metana antara biogas kotoran sapi dan limbah cairan jagung (A, B, dan C) dengan biogas kotoran sapi dan air (D) yang berfungsi sebagai kontrol menunjukkan bahwa komposisi D

memiliki kandungan gas metana yang lebih besar. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor, salah satunya tingkat viskositas substrat. Menurut penelitian Saleh dkk (2016), jika rasio campuran substrat terlalu encer dapat mengakibatkan penurunan konsentrasi gas metana. Selain itu, faktor penambahan nutrisi yang terkandung dalam substrat yang dibuat juga mempengaruhi produksi gas metana.

Kandungan sulfat (SO_4^{2-}) pada limbah cairan jagung juga berpengaruh terhadap produksi gas metana. Menurut McCartney dan Oleszkiewicz (1993), pada suatu substrat yang mengandung sulfat, maka akan terbentuk bakteri pereduksi sulfat. Bakteri ini dapat bersaing dengan mikroorganisme metanogen yang terlibat dalam proses fermentasi, yang mana bakteri pereduksi sulfat juga menggunakan hidrogen dan asetat pada proses anaerobik. Selain itu, dalam proses anaerob, sulfat akan direduksi menjadi sulfida (S^{2-}) oleh bakteri pereduksi sulfat. Sulfida bersifat merusak berbagai kelompok bakteri sehingga menghambat aktivitas bakteri tersebut (Chen et al., 2007).

3.4 Analisis varians

3.4.1 Analisis varians kuantitas biogas

Tabel 3.3. Anova kuantitas biogas.

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	F_{crit} ($\alpha=5\%$)
Komposisi Substrat	93085,43	3,00	31028,48	17,99	2,80
Produksi Biogas	1110752,00	5,00	222150,40	128,83	2,41
Interaction	174544,78	15,00	11636,32	6,75	1,88
Within	82767,39	48,00	1724,3206		
Total	1461149,60	71,00			

Berdasarkan proses analisis pengaruh penambahan cairan terhadap volume (kuantitas) biogas yang didapatkan, diketahui bahwa $F_{hitung}(17,99) > F_{tabel}(2,80)$ pada komposisi bahan isian, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang mana terdapat pengaruh penambahan cairan yang nyata pada komposisi bahan isian A, B, C, dan D. Pada hasil produksi biogas didapatkan $F_{hitung}(128,83) > F_{tabel}(2,41)$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang mana terdapat pengaruh penambahan cairan yang nyata pada hasil produksi dari hari ke-5 sampai hari ke-30. Hipotesis H_0 ditolak dan H_1 diterima juga terjadi pada interaksi antara komposisi bahan isian dengan produksi biogas di mana nilai $F_{hitung}(6,75) > F_{tabel}(1,88)$ yang artinya terdapat pengaruh yang nyata terhadap penambahan cairan. Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai komposisi mana saja yang mendapatkan pengaruh yang nyata maka dilakukan uji lanjut menggunakan pengujian Duncan.

Tabel 3.4. Uji Duncan kuantitas biogas.

Komposisi	Rerata Kualitas \pm SD
A	194,68 \pm 134,24 ^b
B	131,87 \pm 100,84 ^a
C	153,51 \pm 121,26 ^a
D	224,67 \pm 181,71 ^c

Keterangan: a,b, dan c: notasi yang menunjukkan berbeda nyata; bc: notasi yang menunjukkan tidak berbeda nyata. ($a < b < c$).

Berdasarkan data hasil perhitungan uji lanjut menggunakan uji Duncan diketahui bahwa komposisi A berbeda nyata dengan komposisi B, C, dan D. Komposisi B berbeda nyata dengan komposisi A dan D, tetapi tidak berbeda nyata dengan komposisi C. Komposisi C berbeda nyata dengan komposisi A dan D, tetapi tidak berbeda nyata dengan komposisi B. Komposisi D berbeda nyata dengan komposisi A, B, dan C.

3.4.2 Analisis varians kualitas biogas

Tabel 3.5. Anova kualitas biogas.

Source of Variation	SS	df	MS	F-hitung	F crit ($\alpha=5\%$)
Between Group	0,1520	3	0,0507	43,9042	4,0700
Within Group	0,0092	8	0,0012		
Total	0,1612	11			

Berdasarkan proses analisis pengaruh penambahan cairan terhadap kandungan CH₄ (kualitas) biogas yang didapatkan, diketahui bahwa $F_{hitung}(43,9042) > F_{tabel}(4,0700)$ pada komposisi bahan isian, maka H₀ ditolak dan H₁ diterima yang mana terdapat perbedaan nyata antara komposisi bahan isian A, B, C, dan D terhadap kualitas biogas dari penambahan cairan. Berdasarkan hasil perhitungan anova yang menunjukkan perbedaan nyata maka untuk mengetahui komposisi mana saja yang memiliki perbedaan maka dilakukan uji lanjut berupa uji Duncan.

Tabel 3.6. Uji Duncan kualitas biogas.

Komposisi	Rerata Kualitas \pm SD
A	0,50 \pm 0,0000 ^{bc}
B	0,24 \pm 0,0319 ^a
C	0,44 \pm 0,0600 ^b
D	0,53 \pm 0,000 ^c

Keterangan: a,b, dan c: notasi yang menunjukkan berbeda nyata; bc: notasi yang menunjukkan tidak berbeda nyata. (a<b<c).

Berdasarkan uji lanjut menggunakan uji Duncan maka diketahui bahwa komposisi B berbeda nyata dengan komposisi A, C, dan D. Komposisi C berbeda nyata dengan komposisi B dan D tetapi tidak berbeda nyata dengan komposisi A. komposisi A berbeda nyata dengan komposisi B tetapi tidak berbeda nyata dengan komposisi C dan D. Komposisi D berbeda nyata dengan komposisi B dan C tetapi tidak berbeda nyata dengan komposisi A.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan data yang diperoleh, bahwa penambahan limbah cairan jagung mampu mempengaruhi kualitas dan kuantitas biogas.
2. Pada penambahan limbah cairan jagung, volume tertinggi didapatkan oleh komposisi A yang di mana nilai volume yang didapatkan sebesar 1168,08 cm³ dan volume terendah didapat pada komposisi B dengan nilai 791,21 cm³. Produksi biogas secara rata-rata dimulai pada hari ke-5 sampai hari ke-25 dan berhenti memproduksi biogas pada hari ke-30, dengan produksi biogas tertinggi secara rata-rata didapatkan pada hari ke-15.
3. Limbah cairan jagung kurang bagus sebagai bahan penambah campuran biogas karena mengandung sulfat yang dapat menekan produksi gas metana.
4. Berdasarkan analisis anova untuk kualitas dan kuantitas biogas, didapatkan bahwa nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah cairan jagung memiliki pengaruh terhadap produksi biogas dari kotoran sapi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada bapak I Made Mara, ST., M.Sc. dan Bapak I Wayan Joniart, ST., MT. selaku dosen pembimbing utama dan pendamping, yang telah memberikan masukan dan saran sehingga penelitian ini

dapat terselesaikan. Yang ke tiga penulis mengapresiasi Jurusan Teknik Mesin di Universitas Mataram atas fasilitas dan bantuan yang diberikan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, L.A.N. (2022). Statistik Peternakan Tahun 2021. Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Provinsi NTB.
- Badan Pangan Nasional. (2022). *Realisasi Naraca Ketersediaan Jagung Tahun 2022*, Jakarta: Badan Pangan Nasional.
- Chen, Y., Cheng, J.J., & Creamer, K.S. (2007). Inhibition of Anaerobic Digestion Process: A Review. *Bioresource Technology*, 99, 4044-4064.
- Fathurrohman, A., Hari, M.A., Zukhriyah, S.A., & Adam, M.A. (2015). Persepsi Peternak Sapi dalam Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas di Desa Sakarmojo Purwosari Pasuruan. *Jurnal Ilmu - Ilmu Peternakan*, 25(2), 36-42.
- Mara, I.M. & Alit, I.B. (2011). Analisa Kualitas dan Kuantitas Biogas dari Kotoran Ternak. *Dinamika Teknik Mesin*, 1(2), 1-8.
- McCartney, D.M., & Oleszkiewicz, J.A. (1993). Competition Between Methanogens and Sulfate Reducers: Effect of COD: Sulfate Ratio and Acclimation. *Water Environ Research*, 65, 655-664.
- Moat, A.G., Foster, J.W., & Spector, M.P. (2002). *Microbial Physiology: Fourth Edition*. Wiley-liss.
- Rahmalia, S.D. (2009). Pengaruh suhu rasio C/N dan penambahan bioaktivator EM4 terhadap produksi biogas dari sampah buah-buahan [Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta]. Repositori UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Rittmann, B.E., McCarty, P.L. (2001). *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. McGraw-Hill. New York.
- Santoso, M.C., Giriantari, I.A.D., & Ariastina, W.G. (2019). Studi Pemanfaatan Kotoran Ternak Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biogas di Bali. *Jurnal SPEKTRUM*, 6(4), 58-65.
- Safitri, S.D.N., Ferdiansyah, M.K., Nurlaili, E.P., & Muflihati, I. (2019). Karakteristik Fisik Jagung P21 (*Zea mays L.*) Termodifikasi Menggunakan Metode Nikstamalisasi Dengan Formulasi Kalsium Hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan Lama Perendaman. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 23(1), 49-55.
- Saleh, A., Planetto, M.W.K., Yulistiah, R.D. (2016). Peningkatan Persentase Metana pada Biogas Menggunakan Variasi Ukuran Pori Membran Nilon dan Variasi Waktu Purifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 4 (22). 35-44.
- Saputra, N.T., Kalsum, L., & Junaidi, L. (2023). Pemurnian Biogas dari Co-Digestion Limbah Cairan Industri Tahu dengan Kotoran Sapi Menggunakan Asorben MEA Pada Kolom Isian. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(3), 6608-6614.
- Shubhaneel, N., Apurba, D., & Kumar, C.P. (2018). Corn Starch Industry Wastewater Pollution and Treatment Processes. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 12(3), 283-293.
- Usman, Hasan, M.M.A., Kaharm, M.A., & Elihami. (2020). Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Bahan Pembuatan Biogas. *Mapsul Journal of Community Empowerment*, 1(1), 13-20.
- Valero, D., Rico, C., Tapia-Tussell, R., & Alzate-Gaviria, L. (2020). Rapid Two Stage Aerobic Digestion of Nejayote through Microaeration and Direct Interspecies Electron transfer. *Jurnal Processes*, 8(1614), 1-15.
- Wahyuni, D. (2011). Quality control di sentra industri kecil pembuatan emping jagung “di ukm hani snack” [Skripsi, Universitas Sebelas Maret]. Repository Universitas Sebelas Maret.
- Wulandari, B.A., & Jaelani, L.M. (2019). Identifikasi Fase Pertumbuhan Tanaman Jagung Menggunakan Citra SAR Sentinel-1A (Studi Kasus: Kecamatan Gerung, Lombok Barat, NTB). *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 1(2), 52-59.
- Yonathan, A., Prasetya, A.R., & Pramudono, B. (2013). Produksi Biogas dari Eceng Gondok (*Eicchornia Crassipes*): Kajian Konsistensi dan pH Terhadap Biogas Dihasilkan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(2), 211-215.
- Zakiah, T.S., Winarti, S., & Yulistiani, R. (2022). Pengaruh Konsentrasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan Suhu Pemasakan Pada Proses Nikstamalisasi Tepung Jagung. *Teknologi Pangan: Media Informasi dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 13(2), 175-186.