

e-ISSN : 3031-0342
Diterima : 22 Januari 2026
Disetujui : 26 Maret 2026
Tersedia online di <https://journal.unram.ac.id/index.php/agent>

ANALISIS PRODUKSI BIOGAS DARI SAMPAH ORGANIK DAN KOTORAN SAPI MENGGUNAKAN PENDEKATAN KESETIMBANGAN MASSA

Analysis of Biogas Production from Organic Waste and Cow Dung Using Mass Balance Approach

Fifi Andriani^{1*}, Rahmat Sabani¹, Gagassage Nanaluh De Side¹

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri,
Universitas Mataram

Email: fifiandriani214@gmail.com

ABSTRACT

Garbage and organic waste are common problems for humans and the environment, currently the management of organic waste and waste has not been carried out properly and is still dominated by disposing of it in the open field or burning it. Garbage and organic waste have the potential to be utilized, one of which is as a material for making biogas. The purpose of this study is to determine the mass balance and the difference in mass balance of biogas production using organic waste and cow dung. The research method used is the experimental method by conducting direct experiments in the field. Some parameters in this study are environmental conditions such as pH, temperature, humidity, retention time, microbial growth requirements and biogas volume. The results of the study are from each total of 2000 kg of organic waste material and cow dung mixed with water, the total slurry that comes out is 498.5 kg of cow dung and 530.5 kg of organic waste. The incoming material from cow dung and organic waste is not balanced with the mass produced due to high mass loss during the process.

Keywords: *biogas; cow manure; mass balance; organic waste*

ABSTRAK

Sampah dan limbah organik merupakan permasalahan umum bagi manusia maupun lingkungan, saat ini pengelolaan sampah organik dan limbah belum terlaksana dengan baik dan masih didominasi dengan membuangnya kelahan terbuka atau membakarnya. Sampah dan limbah organik memiliki potensi untuk dimanfaatkan salah satunya sebagai bahan pembuatan biogas. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kesetimbangan massa dan perbedaan kesetimbangan massa dari produksi biogas menggunakan sampah organik dan kotoran sapi. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimental dengan melakukan percobaan langsung di lapangan. Beberapa parameter dalam penelitian ini yaitu kondisi lingkungan seperti pH, suhu, kelembaban, waktu retensi, syarat pertumbuhan mikroba dan volume biogas. Adapun hasil penelitian yaitu dari masing-masing total 2000 kg bahan sampah organik dan kotoran sapi yang dicampur dengan air, total slurry yang keluar yaitu kotoran sapi 498,5 kg dan sampah organik 530,5 kg. Bahan yang masuk dari kotoran sapi dan sampah organik tidak seimbang dengan massa yang dihasilkan karena kehilangan massa yang cukup tinggi selama proses.

Kata kunci: biogas; kesetimbangan massa; kotoran Sapi; sampah organik

PENDAHULUAN

Sampah merupakan permasalahan serius bagi manusia maupun lingkungan, karena membuang sampah sembarangan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Setiap tahun produksi sampah di Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) semakin meningkat. Data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menyatakan bahwa peningkatan jumlah sampah dari 2021 hingga tahun 2022 sebesar 1,5 %, mencapai 975.645 ton. Komponen utama sampah adalah sampah organik sebesar 53,63%. Sampah organik seringkali menumpuk di pasar, tidak hanya berdampak pada kenyamanan namun juga sering menimbulkan penyakit. Pengelolaan sampah organik belum terlaksana dengan baik dan masih didominasi dengan membuangnya ke tempat terbuka, saluran air atau membakarnya. Selain sampah organik, kotoran hewan juga menjadi sampah yang mencemari lingkungan, mengingat banyaknya jumlah ternak sapi di Desa Sandik. Menurut (Usman, 2020). Limbah peternakan merupakan salah satu sumber bahan yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas, sementara perkembangan atau pertumbuhan industri peternakan menimbulkan masalah bagi lingkungan karena menumpuknya limbah peternakan. Padahal apabila sampah organik dan kotoran hewan dikelola dengan baik dapat bermanfaat sebagai sumber energi, salah satunya pembuatan biogas.

Biogas merupakan salah satu bahan bakar alternatif, karena bahan bakunya dapat diperbaharui dalam jumlah besar sehingga dapat menggantikan bahan bakar fosil seperti minyak tanah dan gas alam, serta tergolong sebagai sumber energi terbarukan. Biogas mudah terbakar sehingga dapat digunakan sebagai pemanas untuk memasak. Gas yang dihasilkan akan digunakan sebagai sumber energi dan disimpan dalam tangki penyimpanan gas. Tangki juga dilengkapi dengan katup untuk mengontrol aliran masuk dan keluar gas. Gas yang tersimpan kemudian dimasukkan ke dalam tungku dan digunakan sebagai sumber energi alternatif. Reaktor yang telah mengeluarkan gas akan terdapat sisa-sisa endapan yang disebut sebagai slurry. Endapan tersebut dapat digunakan kembali secara langsung untuk sektor pertanian maupun perkebunan menjadi pupuk organik (Muharja, 2023).

Salah satu teknologi untuk produksi biogas adalah biodigester. Teknologi biodigester digunakan untuk menghasilkan biogas dari bahan organik seperti sisa makanan dan kotoran hewan. Proses yang terjadi di dalam biodigester adalah fermentasi bahan organik secara anaerobik sehingga menghasilkan biogas yang terdiri dari metana dan karbon dioksida. Biogas ini tidak hanya dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan tetapi juga untuk memasak dan memanaskan. Pemasangan biodigester dapat dilakukan pada skala rumah tangga atau pertanian, dan teknologi ini dianggap sebagai solusi ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk mengelola sampah organik sekaligus menghasilkan energi. Teknologi biogas juga membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan menghemat energi.

Sampah-sampah sisa pasar dan limbah peternakan yang menumpuk ternyata menimbulkan banyak permasalahan seperti menimbulkan bau yang menyengat sehingga mengganggu. Oleh karena itu untuk mengurangi dan meminimalisir permasalahan tersebut terdapat solusi yaitu dengan membuat biogas yang terbuat dari kotoran hewan dan sampah organik sisa sayuran atau bahan makanan lain yang diperoleh dari pasar, yang nantinya biogas tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar yang dapat digunakan sebagai alat masak yang akan dimanfaatkan oleh warga sekitar Tempat Pengolahan Sampah (TPS).

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kesetimbangan massa pada proses produksi biogas dari sampah organik dan kotoran hewan
2. Mengetahui perbandingan kesetimbangan massa yang dihasilkan dari sampah organik dan kotoran hewan

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu biodigester serat kaca tipe kubah teta, termokopel, termometer, pH meter, hygrometer, *Digital Flow Meter*, pompa air, ember, timbangan analitik, *stopwatch*, pisau, selang, karung, pengaduk, dan plastik. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air, kotoran sapi dan sampah organik (sayuran dan buah).

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yaitu melakukan pengujian secara langsung di lapangan.

Parameter Penelitian

1. Waktu Retensi

Waktu retensi adalah rata-rata periode saat bahan masukan masih dalam digester dan selama proses fermentasi oleh bakteri metanogen waktu retensi sangat dipengaruhi oleh faktor lainnya seperti suhu pengenceran dan laju pemasukan bahan. Waktu retensi atau waktu tinggal yang dibutuhkan di dalam biodigester sekitar 14-21 hari untuk jenis bahan kotoran sapi serta sampah organik sayur dan buah.

2. Suhu

Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan alat termometer air raksa selama proses biogas berlangsung. Suhu yang diukur yakni suhu dalam digester, pengukuran dilakukan dalam satu kali 24 jam.

3. Kelembapan

pengukuran kelembapan dilakukan dengan menggunakan alat hygrometer, pengukuran dilakukan dengan cara memasukkan alat kedalam digester dan ditunggu beberapa saat hingga alat ukur menunjukkan pembacaan angka yang tetap.

4. pH

Derajat keasaman sangat berpengaruh terhadap kehidupan mikroorganisme, derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganisme adalah 6,8-7,8 pada tahap awal fermentasi. Pengukuran pH dilakukan dengan memasukkan pH meter kedalam tabung digester hingga alat ukur menunjukkan nilai derajat keasaman bahan.

5. Syarat Pertumbuhan Mikroba

Syarat pertumbuhan mikroba dalam digester biogas meliputi beberapa faktor, seperti suhu, pH, rasio C/N (rasio carbon dan nitrogen), dan keberadaan unsur hara tertentu. Mikroba dalam digester biogas memerlukan kondisi lingkungan yang sesuai untuk melakukan fermentasi biomassa menjadi biogas.

6. Volume Biogas

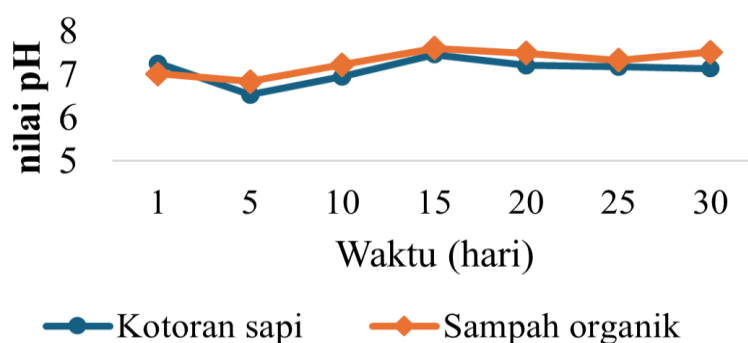
Pengukuran ini menggunakan alat berupa *digital flow meter* yang langsung dipasangkan dalam pipa yang mengaliri gas. Alat ini digunakan untuk mengukur total volume gas dan aliran gas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Lingkungan

1. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan salahsatu faktor utama dalam pembentukan biogas, hal ini dikarenakan aktivitas enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme sangatdipengaruhi oleh pH. Derajat keasaman (pH) menjadi variabel kontrol dalam penelitian ini, dimana terjadinya proses fermentasi bahan organik yang dikonversi menjadi biogas dan gasmetana dalam sistem anaerobik. Menurut (Dwivannie *et al.*, 2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa derajat keasaman ini menjadi salah satu faktor penentu keberhasilan pembentukan biogas.



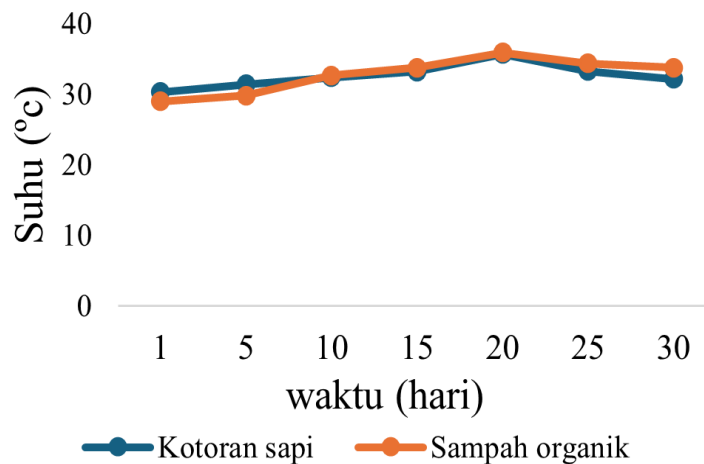
Grafik 1. Nilai Derajat Keasaman (pH) selama fermentasi dari kotoran sapi dan sampah organik.

Berdasarkan Grafik 1 terlihat bahwa pada kedua bahan di hari pertama yaitu pH berada pada kondisi netral, kemudian mulaiterjadi penurunan pH pada hari ke-5 yaitu nilai pH 6,53 pada kotoran sapi, sedangkan padasampah organik terjadi penurunan nilai pH menjadi 6,84 pada hari ke-10. Penurunan pH terjadi pada tahap awal, hal ini memperlihatkan terjadinya fase adisifikasi awal di mana mikroorganisme mulai menguraikan substrat dan menghasilkan asam-asam organik (Mujdalipah *et al*, 2014).

Pada Grafik 1 terlihat bahwa tahap awalpenguraian bahan organik pada kotoran sapilebih cepat dibandingkan dengan sampah organik. Saat pencernaan berlanjut, konsentrasiamonia meningkat karena pencernaan hydrogen maka nilai pH akan meningkat. Pada Grafik 1 terlihat bahwa nilai pH mulai meningkatpada kotoran sapi hari ke-15 sebesar 7,46 dan sampah organik pada hari ke-15 yaitu sebesar 7,61. Sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi pH selama fermentasi bahan berada dalam kondisi optimum. Menurut (Daniel, 2021)produksi biogas yang optimal dicapai ketikanilai pH berada di antara 6 dan 7. Apabila pH substrat turun maka akan menyebabkan proses pengubah substrat menjadi biogas terhambatsehingga mengakibatkan penurunan kuantitas biogas. Nilai pH yang terlalu tinggi juga harus dihindari, karena akan menyebabkan produkakhir yang dihasilkan adalah CO₂ sebagai produk utama (Rusdiyono *et al*, 2017). Pada Grafik 1 dapat dilihat pada hari ke-10 dan seterusnya pH kembali meningkat. Hal ini menunjukkan proses metanogenesis mulai aktif, di mana metanogen mengkonsumsi asam dan menghasilkan biogas.

2.Suhu

Suhu merupakan variabel yangcukup penting untuk menentukan keberhasilan proses pembuatan biogas. Pemantauan suhu dilakukan pada slurry yang dihasilkan dari proses degradasi dalam reaktor. Proses fermentasi ini menggunakan suhu metafolik yang berkisar antara 35-40°C dan merupakan suhu optimum untuk fermtasi bahan karena pada kondisi suhu ini aktivitas bakteri yangmenghasilkan biogas berlangsung secara efektif.



Grafik 2. Perubahan suhu selama fermentasi dari kotoran sapi dan sampah organik.

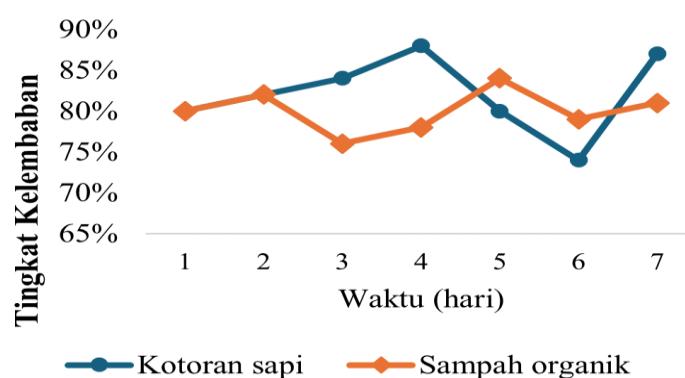
Berdasarkan Grafik 2 dapatdilihat perubahan suhu yang terjadi selama proses fermentasi bahan dalam biodigester, di mana pada bahan kotoran sapi dan sampah organik suhu cenderung berada pada kisaran 30-35°C dengan sedikit kenaikan danpenurunan pada beberapa titik. Suhu tertinggi selama fermentasi pada kotoran sapi yaitu hari ke-20 yaitu 35,7°C sedangkan sampah organik hari ke-20 35,9°C. Sedangkan untuk suhu terendah yaitu pada hari pertama untuk kedua bahan, kotoran sapi 30,3°C dan sampah organik 29°C. Suhu selama fermentasi cukup baik untukpertumbuhan mikroba karena berada padakondisi yang optimal untuk pertumbuhan mikroba. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Sulistyo & Yanti, 2024) dalam penelitiannya mengenai pembuatan biogas dari kotoran sapi yaitu kebanyakan mikroorganisme fermentasi anaerob memiliki suhu optimal antara 30°C hingga 40°C. Selain itu, (Rajagukguk, 2020) juga menyatakan bahwa suhu yang baik untuk proses pembentukan biogas berkisar antara 20-40°C dan suhu optimum antara 28-30°C. (Subagiyo *et al*, 2015) dalam penelitiannya diketahui bahwa suhu 35° C dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri asam laktat yang merupakan bakteri mesofil, suhu tersebut dianggap otimal untuk pertumbuhan berbagai jenis mikroba yang bekerja dalam prosesDengan temperatur itu, proses pembuatan biogas akan berjalan sesuai dengan waktunya.

Kenaikan suhu selama proses fermentasi dapat terjadi karena aktivitas mikroorganisme yang aktif dalam proses fermentasi, seperti bakteri metanogen yang menghasilkan panas selama metabolisme mereka. Semakin aktif mikroorganisme ini semakin banyak panas yang dihasilkan. Selain itu, naiknya suhu juga disebabkan adanya reaksi kimia selama proses fermentasi berupa reaksi eksotermis, pada reaksi ini terjadi dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme dan menghasilkan panas sebagai produk sampingan. Sedangkan penurunan suhu disebabkan oleh beberapa faktor yaitu penurunan aktivitas mikroorganisme yang mengakibatkan penurunan produksi panas dan adanya reaksi endotermis yang menyerap panas dari lingkungan. Selain itu juga dapat disebabkan oleh pengaruh lingkungan yang dapat mempengaruhi suhu dalam digester seperti cuaca dingin yang menyebabkan penurunan suhu dalam digester.

Suhu yang diamati menunjukkan kestabilan yang penting dalam proses fermentasi anaerob, karena suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mempengaruhi efisiensi proses fermentasi dan produksi biogas. Menjaga suhu dalam kisaran optimal sangat penting untuk keberhasilan produk biogas. Sehingga berdasarkan Grafik 2 baik kotoran sapi maupun sampah relatif menunjukkan suhu yang relatif stabil, sehingga dapat menjadi indikasi bahwa proses fermentasi berjalan dengan baik.

3. Kelembapan

Mikroorganisme yang bertanggung jawab atas fermentasi anaerobik membutuhkan air untuk metabolisme dan transportasi nutrisi. Kelembapan yang optimal memastikan adanya keseimbangan antara nutrisi dan air yang diperlukan oleh mikroorganisme, membantu dalam menjaga struktur dan viskositas substrat dan memfasilitasi pencampuran yang lebih baik. Dengan kelembapan yang tepat, enzim-enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme dapat bekerja secara optimal dalam memecah bahan organik menjadi metana dan karbon dioksida.



Grafik 3. Presentase Kelembapan Selama Fermentasi

Berdasarkan Grafik 3 kelembapan kotoran sapi berkisar antara 74% hingga 88%, dimana pada hari ke-25 adalah yang terendah (74%) dan pada hari ke-15 adalah yang tertinggi (88%). Secara umum kelembapan pada kotoran sapi berada dalam kisaran yang optimum untuk produksi biogas. Pada sampah organik, kelembapan berkisar antara 76% hingga 84%. Kelembapan pada hari ke-10 adalah yang terendah (76%), sementara pada hari ke-20 adalah yang tertinggi (84%). Kelembapan pada kedua bahan berada dalam kisaran yang baik untuk produksi biogas, meskipun ada sedikit variasi dalam nilai kelembapan dari waktu ke waktu, tidak ada perubahan drastis yang dapat mengganggu proses fermentasi. Variasi tingkat kelembapan ini dapat disebabkan oleh perubahan kondisi lingkungan atau aktivitas mikroorganisme.

Proses fermentasi akan berjalan dengan baik, dan produksi biogas akan efisien dengan mempertahankan kelembapan dalam rentang optimal. Jika kelembapan tetap dalam kisaran ini, mikroorganisme yang terlibat dalam produksi biogas akan memiliki kondisi yang ideal untuk mendegradasi bahan organik dan menghasilkan biogas. Grafik 3 menunjukkan bahwa kondisi kelembapan selama proses fermentasi cukup mendukung untuk aktivitas mikroorganisme karena tidak begitu jauh dari kisaran optimal. Menurut (Rahmat, 2022) Air sangat penting bagi pertumbuhan mikroba dan mempertahankan hidupnya. Kadar kelembapan yang tinggi, antara 80-90 % sangat disukai bakteri anaerob untuk perkembangannya, jika kelembapan sangat rendah, 10 % atau kurang dapat mengakibatkan terhentanya aktivitas mikroba dalam menguraikan selulosa.

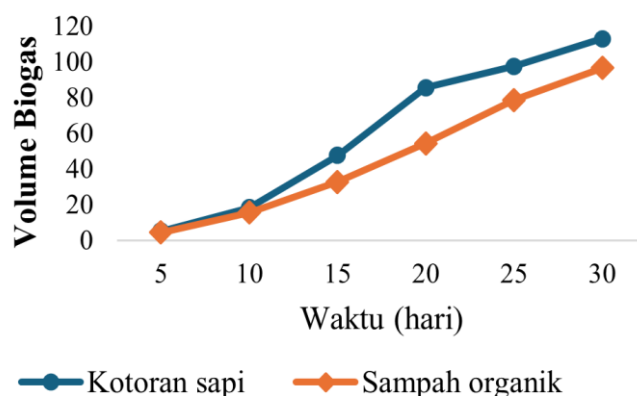
4.2 Syarat Pertumbuhan Mikroba

Proses fermentasi biogas dalam digester meliputi beberapa tahap yang berperan penting dalam mengkonversi bahan organik menjadi biogas yaitu tahap hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis. Berbagai tahap ini terjadi dalam kondisi anaerob (tanpa oksigen) dan membutuhkan berbagai jenis mikroorganisme yang bekerja untuk memecah bahan organik menjadi biogas. Pembentukan biogas secara biologis dengan memanfaatkan sejumlah mikroorganisme anaerob juga dibantu oleh enzim ekstraseluler yang mampu mengubah protein dan organik kompleks lain menjadi unsur yang lebih kecil meliputi tiga tahap, yaitu tahap pelarutan, tahap pengasaman, dan tahap pembentukan gas metana. Proses pembentukan biogas ini dilakukan dengan proses secara anaerob dengan bantuan mikroorganisme yang akan merombak bahan-bahan organik (Dwi & Mohammad, 2021).

Pertumbuhan mikroba pengurai mulai terjadi pada hari ke-10, seiring dengan mulai naiknya volume biogas karena telah terjadinya degradasi oleh mikroba, yang berarti faktor pembentukan mikroba telah terpenuhi. Pertumbuhan mikroba selama proses fermentasi dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu jenis bahan yang digunakan, jumlah bahan, lama waktu fermentasi dan juga kondisi lingkungan seperti suhu dan pH dan kelembapan. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Sulistyo & Yanti, 2024) yaitu selain kondisi pH, suhu dan kelembapan (kadar air), jumlah substrat dan keberadaan bakteri pengurai bahan organik juga memainkan peran penting. Jika jumlah substrat dan bakteri pengurai tidak mencukupi, produksi biogas dapat terpengaruh dan mengalami penurunan. Berdasarkan hasil pengamatan, dimana dalam 30 hari tersebut bahan sudah terurai oleh mikroorganisme dan menghasilkan produk biogas. Selain itu, kondisi suhu dan pH selama proses fermentasi berada dalam kondisi yang cukup optimum untuk pembentukan biogas yaitu pH berkisar antara 6-7 sedangkan suhu berkisar antara 30-35 °C. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Surya & Hamim, 2014) yaitu temperatur mesofilik berada pada kisaran 25-40 °C, dimana suhu optimum adalah 35 °C, dan nilai pH yang paling optimum yaitu berada pada 6,8-7,4.

4.3 Volume Biogas

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi produksi biogas yaitu kondisi lingkungan seperti suhu dan pH, kemudian bakteri pengurai, tekanan, waktu rentensi dan juga komposisi bahan yang digunakan, hal ini cukup berpengaruh karena untuk menghasilkan biogas dengan kualitas yang baik harus menggunakan bahan yang memiliki komposisi biogas yang tinggi.



Grafik 4. Kenaikan Volume Biogas

Pada Grafik diatas dapat dilihat bahwa volume biogas mulai terlihat pada hari ke-10 pada kedua bahan dengan volume yang menunjukkan kotoran sapi lebih tinggi dari sampah organik, volume biogas meningkat dari hari ke-10 hingga hari ke-30. Pada hari ke-10 volume biogas dari kotoran sapi yaitu 18,22 liter sedangkan sampah organik 15,56 liter. Pada hari ke-30 volume biogas yang dihasilkan dari kotoran sapi sebesar 112,84 liter sedangkan sampah organik 96,54 liter. Puncak tertinggi pertumbuhan volume biogas yaitu pada hari ke-30, di mana merupakan waktu akhir dari proses fermentasi bahan untuk menghasilkan biogas. Setelah hari ke-30 bahan organik tidak lagi dimasukkan sehingga hanya tersisa bahan yang belum terurai didalam digester. Waktu fermentasi dapat menjadi indikasi penting dalam

menghasilkan volume biogas yang tinggi, semakin lama waktu fermentasi maka volume biogas yang dihasilkan semakin tinggi. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Abobaker, *et al.*, 2019) juga menunjukkan bahwa waktu fermentasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap volume biogas dan kadar metana yang dihasilkan, karena semakin lama waktu yang digunakan maka semakin banyak bahan organik yang dapat dikonsumsi oleh bakteri dan diubah menjadi gas di dalam reaktor. Namun waktu fermentasi yang cukup lama juga dapat berpengaruh terhadap volume biogas apabila pemasukan bahan dihentikan, karena semakin lama waktu fermentasi maka bahan di dalam digester akan habis terurai oleh mikroba sehingga tidak dapat menghasilkan produk. Menurut (Marsudi, 2012) pada penelitiannya menggunakan limbah rumah tangga dikatakan bahwa waktu optimal yang diperlukan untuk fermentasi bahan kurang lebih 50 hari, namun puncak pertumbuhan biogas yaitu pada hari ke-30 dan pada hari ke-50 pertumbuhan biogas tidak lagi produktif.

Pada Grafik 4 dilihat bahwa secara keseluruhan volume biogas dari kotoran sapi cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan limbah organik pada setiap waktu pengukuran setelah hari ke-10 hingga hari ke-30. Hal ini dikarenakan bakteri pengurai pada kotoran sapi bekerja lebih baik dalam mengubah bahan organik menjadi biogas. Menurut (Manta *et al.*, 2022) kotoran sapi merupakan starter yang baik dan banyak digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biogas karena kotoran sapi memiliki rasio C/N ideal untuk produksi biogas. Komposisi pada kotoran sapi mengandung lebih banyak protein dan karbohidrat yang dapat diuraikan oleh bakteri pengurai sehingga menghasilkan volume biogas yang lebih besar, sedangkan sampah organik seperti sayuran dan buah mengandung lebih banyak udara dan sedikit protein sehingga dapat mengurangi volume biogas yang dihasilkan. Selain itu, kotoran sapi juga mengandung bakteri pengurai yang lebih efektif untuk menguraikan protein dan karbohidrat seperti bakteri *methanobacterium* dan *methanosarcina*. Rasio pengenceran kotoran sapi juga meningkatkan volume biogas yang dihasilkan. Sehingga berdasarkan beberapa faktor tersebut dapat dilihat bahwa kotoran sapi memiliki potensi yang lebih besar untuk menghasilkan volume biogas dibandingkan dengan sampah organik, walaupun jumlah bahan yang masuk sama dan waktu retensi yang juga sama.

4.4 Waktu Retensi

Waktu retensi dalam proses fermentasi biogas merupakan periode waktu selama bahan organik berada di dalam digester untuk mengalami degradasi dan menghasilkan biogas. Waktu retensi mempengaruhi keseimbangan mikroorganisme dalam digester. Mikroorganisme seperti bakteri memerlukan waktu tertentu untuk menguraikan bahan organik sehingga membentuk metana dan karbon dioksida. Waktu fermentasi biogas dalam reaktor pada kotoran sapi maupun sampah organik dilakukan selama 30 hari untuk menghasilkan biogas yang optimum. Pernyataan ini juga didukung oleh penelitian (Jegede *et al.*, 2019) yang menyebutkan bahwa waktu optimum untuk memproduksi biogas dicapai dengan waktu tinggal 30 hari. Jika waktu retensi terlalu singkat, maka bahan organik tidak dapat terurai sepenuhnya sehingga mengurangi produksi biogas.

Berdasarkan hasil pengamatan waktu retensi terhadap perubahan kondisi suhu dan pH, dapat dilihat bahwa waktu retensi sangat mempengaruhi suhu dan pH selama proses fermentasi. Semakin lama waktu fermentasi dalam digester nilai pH menurun seiring dengan proses degradasi bahan oleh mikroba kemudian kembali netral saat bahan mulai menghasilkan produk, sedangkan nilai suhu meningkat selama proses degradasi mikroba mulai dan turun secara bertahap ketika substrat dalam digester mulai terurai oleh mikroorganisme anaerob. Sehingga hal ini juga mempengaruhi jumlah volume biogas dan produksi *slurry* yang dihasilkan selama proses fermentasi biogas. Berdasarkan Grafik 4 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu fermentasi dalam digester maka volume biogas dan jumlah produksi *slurry* yang dihasilkan akan semakin tinggi.

4.5 Aliran Gas

Pada penelitian ini pengukuran aliran gas dilakukan pada sampah organik saja. Hal ini dikarenakan hanya untuk dijadikan sebagai acuan untuk memantau jumlah aliran gas yang diproduksi. *Digital flow meter* adalah alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran gas dengan cara digital. Alat ini memiliki beberapa jenis dan prinsip kerja yang berbeda, namun secara umum *digital flow meter* bekerja dengan mengukur suatu sifat fisik fluida (seperti kecepatan, tekanan, atau massa) dan kemudian mengkonversikannya menjadi nilai aliran volumetrik atau massa. *Digital flow meter* umumnya lebih akurat daripada *flow meter* tradisional seperti rotameter atau *orifice meter*. *Digital flow meter* memberikan hasil yang konsisten dan dapat diandalkan.

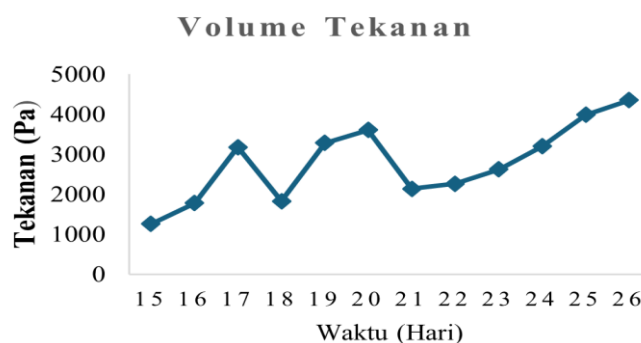
Berdasarkan Tabel 1 diatas dapat dilihat bahwa volume aliran gas pada sampah organik menurun secara bertahap dari periode waktu pengukuran pada semua titik. Dapat dilihat pada titik pertama di hari pertama, volume aliran gas yaitu 32,440 liter sedangkanhari ketiga hanya 12,481 liter. Hal tersebut punberlaku terhadap semua titik hingga titik ke-4, dimana pada titik ke-4 pengukuran hari pertamayaitu 12,766 liter dan hari ke-3 9,341 liter. Gasdialiri menggunakan pipa berdiameter $\frac{1}{2}$ inch dengan panjang 7,2 m. Pemasangan alat dilakukan pada empat titik dengan jarak yang berbeda dan terdapat beberapa belokan pada pipa. Jarak pemasangan alat pada titik pertama ke titik kedua yaitu 4,12 m, jarak titik dua ke tiga yaitu 1,18 m dan titik tiga ke empat yaitu 0,65 m.

Tabel 1. Pengukuran Aliran Gas pada Sampah Organik

Aliran Gas pada Sampah Organik							
Titik 1		Titik 2		Titik 3		Titik 4	
Periode waktu (hari)	Volume aliran (L)	Periode waktu (hari)	Volume aliran (L)	Periode waktu (hari)	Volume aliran (L)	Periode waktu (hari)	Volume aliran (L)
15	32,440	18	22,372	21	19,145	25	12,776
16	22,845	19	12,481	22	18,016	25	10,219
17	12,481	20	11,389	23	15,565	26	9,341

Penurunan jumlah aliran gas yang terjadi dapat disebabkan oleh banyaknya gas yang terbangun selama produksi karena pipa aliran biogas langsung disambungkan pada kompor biogas sehingga langsung digunakan. Selain itu, disebabkan oleh berbagai faktor, seperti penurunan tekanan gas, penyumbatanpada pipa, permasalahan pada alat digital flow meter, atau faktor lainnya. Sehingga perlu untukmemantau tekanan gas, memeriksa pipa gas danmengkalibrasi alat dengan baik. Tekanan gas dan aliran gas memiliki hubungan yang terkait yaitu semakin tinggi tekanan gas maka aliran gasnya juga tinggi, begitupun sebaliknya jika tekanan gas rendah maka lairan gasnya pun semakin rendah.

➤ Perhitungan Aliran Gas dengan Persamaan Gas Ideal



Gambar 5. Grafik Tekanan Aliran Gas

Pada Grafik 5 hari ke-15 hingga ke-26 terlihat bahwa volum tekanan meningkat dan menurun kembali seiring dengan bertambahnya hari dan menyusutnya volume gas yang mengalir. Tekanan dimulai dari 1259,631 Pa pada hari ke-15 dan meningkat hingga 4353,4756 Pa pada hari ke-26 dengan volume gas yang mengalir hari ke-15 sebesar 32,440 liter dan hari ke 26 9,31 liter. Tekanan ini juga menunjukkan bahwa ada hubungan langsung antara waktu dan tekanan. Selain volume aliran kenaikan jumlah tekanan disebabkan oleh faktor suhu dimana pada grafik 4.2 dapat dilihat pada hari ke-16 sampai hari ke-21 suhu meningkat kemudian menurun di hari ke-22 sampai 26. Suhu berada pada kondisi yang konstan yaitu pada kisaran 30-35°C.

4.6 Analisis Kesetimbangan Massa

1. Produksi *Slurry*

Slurry merupakan salah satu produkyang dihasilkan pada proses pembuatan biogas.*Slurry* yang dihasilkan adalah produk samping berupa material semi padat yang dihasilkan dari proses dekomposisi material organik secara anaerobik (tanpa memerlukan oksigen) di dalam ruangan tertutup (Singgih &

Yusmiati, 2018). Pengukuran *bioslurry* dilakukan dengan menampung *slurry* yang keluar pada digester menggunakan karung yaitu dengan cara mengikatnya pada ujung pipa pengeluaran, kemudian ditimbang berat *slurry* yang dihasilkan, pengukuran ini dilakukan per hari selama 30 hari untuk sampah organik maupun kotoran sapi. Pada penelitian ini baik sampah organik maupun kotoran sapi memasukkan bahan dilakukan sebanyak tujuh kali dengan total jumlah bahan kotoran sapi sebanyak 1000 kg dan sampah organik 1000 kg.

Slurry yang dihasilkan merupakan sisa ampas biogas dan dapat disebut dengan *bio-slurry*. *Slurry* yang keluar pada pipa outlet berwujud cair namun cenderung padat dengan warna coklat terang. *Slurry* dapat ditingkatkan dari segi ekonomis dengan diolah untuk dijadikan sebagai pupuk organik. Kandungan dalam *slurry* berupa C-organik, N, P, dan K dimana kandungan tersebut diperlukan untuk pertumbuhan tanaman (Ayu, 2019). Nitrogen (N) berfungsi sebagai unsur hara paling utama yang menunjang pertumbuhan vegetatif tanaman. Nitrogen berperan untuk pembentukan sel dan jaringan tanaman seperti batang, akar dan bunga. Fosfor (P) berfungsi untuk pembentukan akar, inti sel dan pembelahan inti sel, terbentuknya biji, dan memperkuat daya tahan tanaman dari serangan penyakit. Kalium (K) berfungsi untuk memperkuat jaringan yang membuat daun, bunga dan buah pada tanaman tidak mudah untuk rontok serta berperan dalam pembentukan protein dan pembelahan sel.

Tabel 2. Jumlah Produksi *Slurry* Kotoran Sapi dan Sampah Organik

Hari ke-	Bahan masuk (kg)	Produksi <i>slurry</i> (kg)		
	Kotoran sapi + air	Sampah organik + air	Kotoran sapi	Sampah organik
1	400	340	0	0
5	340	400	0	0
10	300	200	0	0
15	280	240	164	145,5
20	180	300	131	144,6
25	240	240	165,5	201,4
30	260	240	38	39
Total	2000	2000	498,5	530,5

Pada Tabel 2. dapat dilihat bahwa produksi *slurry* cenderung bervariasi berdasarkan hari dan jumlah bahan yang dimasukkan, semakin lama waktu fermentasi maka semakin banyak jumlah *slurry* yang keluar. Total *slurry* yang dihasilkan dari kotoran sapi yaitu 498,5 kg sedangkan sampah organik sebanyak 530,5 kg. Produksi *slurry* tertinggi dari kotoran sapi terjadi pada hari ke-25, dan produksi *slurry* tertinggi dari sampah organik juga terjadi pada hari ke-25. Semakin banyak bahan yang dimasukkan dalam biodigester maka semakin banyak *slurry* yang dihasilkan, lama waktu fermentasi juga menentukan jumlah *slurry*. *Slurry* yang dihasilkan berbentuk cair dengan warna agak kecoklatan.

Secara keseluruhan, produksi *slurry* dalam biodigester adalah hasil dari interaksi kompleks antara jumlah dan karakteristik bahan organik yang dimasukkan, efisiensi proses fermentasi, dan kondisi operasional biodigester. Terdapat hubungan yang kompleks antara volume *slurry* yang dihasilkan dan jumlah gas metana yang dihasilkan dalam produksi biogas. Kandungan air dan bahan padat dalam kotoran sapi dan sampah organik dapat mempengaruhi jumlah *slurry* yang dihasilkan. Bahan dengan kandungan air yang lebih tinggi cenderung menghasilkan lebih banyak *slurry*.

Berdasarkan masing-masing total 2000 kg bahan yang dicampur dengan air, total *slurry* yang keluar yaitu kotoran sapi 498,5 kg dan 530,5 kg sampah organik. Sehingga dapat dilihat bahwa jumlah produksi *slurry* yang dihasilkan oleh kotoran sapi lebih rendah dari sampah organik, maka hal ini dapat dikatakan bahwa produksi biogas menggunakan kotoran sapi lebih optimal karena bahan mudah terurai dan menghasilkan *slurry* lebih sedikit. Kemudian dilihat dari jumlah total bahan. Kedua bahan memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dan mudah terurai, sehingga total massa pada kotoran sapi dan sampah organik yang menjadi biogas dan produk lainnya menunjukkan efisiensi yang baik.

2. Nilai kesetimbangan massa

Prinsip kesetimbangan massa yaitu dengan memperhatikan jumlah massa bahan yang masuk selama proses fermentasi anaerobik. Hal ini memungkinkan untuk memahami efisiensi sistem yaitu menentukan rasio konversi substrat seperti jumlah bahan baku yang diubah menjadi biogas. Kemudian

digunakan untuk mengidentifikasi kehilangan massa selama proses yang dapat terjadi karena disebabkan oleh adanya kebocoran gas, penguapan air, atau akumulasi padatan. Dari jumlah bahan yang masuk dapat dianalisis banyak biogas yang dapat dihasilkan dari jumlah bahan baku. Keseimbangan massa merupakan alat yang penting untuk memahami, mengoptimalkan, dan mendesain sistem produksi biogas yang efisien. Dengan menerapkan pendekatan ini, kita dapat memaksimalkan manfaat biogas sebagai sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan.

Kotoran sapi dan sampah organik mengalami proses dekomposisi yang menghasilkan sejumlah massa yang terurai menjadi slurry. Untuk kotoran sapi, jumlah massa yang terurai menjadi slurry adalah sebanyak 498,5 kg, dengan massa biogas yang dihasilkan sebesar 1,192 kg yaitu setara dengan 1663,37 liter sehingga berdasarkan total bahan yang masuk sebanyak 2000 kg terdapat 1,500 kg bahan yang hilang selama proses. Sedangkan untuk sampah organik, jumlah massa yang terurai menjadi slurry adalah sebesar 530,5 kg, dan massa biogas yang dihasilkan sebesar 0,834 kg atau setara dengan 1163,78 liter, sehingga berdasarkan total bahan yang masuk sebanyak 2000 kg terdapat 1,468 kg massa yang hilang. Massa yang hilang terhadap kedua bahan ini dapat berupa air yang menguap, sejumlah gas kecil yang tidak terhitung atau residu yang tersisa dalam sistem. Selain itu, kehilangan massa selama proses juga dapat terjadi karena adanya kebocoran pipa dan juga penggunaan gas yang dilakukan secara terus menerus untuk kepentingan lain. Sehingga, berdasarkan jumlah massa yang masuk, massa biogas, massa *slurry* dan massa yang hilang selama proses dapat diketahui bahwa massa bahan yang masuk (*input*) setimbang dengan jumlah massa yang dihasilkan (*output*).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari total bahan 2000 kg yang terdiri dari kotoran sapi dan sampah organik, kotoran sapi menghasilkan 498,5 kg slurry dan 1,192 kg biogas, dengan 1,500 kg massa yang hilang. Sampah organik menghasilkan 530,5 kg slurry dan 0,834 kg biogas, dengan 1,468 liter massa yang hilang. Sehingga massa *input* setimbang dengan *output* berdasarkan total produksi slurry, biogas, dan massa yang hilang.

Perbedaan kesetimbangan massa kotoran sapi dan sampah organik yaitu dari 2000 kg bahan, kotoran sapi menghasilkan 498,5 kg slurry dan 1,192 kg biogas dengan 1,500 kg massa hilang. Sampah organik menghasilkan 530,5 kg slurry dengan 1,468 liter massa hilang. Kotoran sapi menghasilkan *slurry* lebih sedikit dengan massa biogas yang lebih besar.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan waktu fermentasi yang lebih lama dan pemasukan bahan yang lebih sering agar tekanan dan volume gas dapat tumbuh lebih cepat. Untuk meningkatkan efisiensi proses juga dapat dilakukan optimalisasi parameter proses fermentasi dan penggunaan teknologi yang lebih efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada pihak-pihak terkait yang membantu dalam penyelesaian artikel ini, terutama kepada dosen pembimbing.

DAFTAR REFERENSI

- Amira *et al.* 2021. Pemanfaatan Sampah Organik dalam Pembuatan Biogas Sebagai Sumber Energi Kebutuhan Hidup Sehari-Hari. *Jurnal TeknikEnergi*, 17 (3), 182-190.
- Aboebakar *et al.* 2019. *Design and Performance of Bioreactor for Fermentative Biogas Production from Marine Microalgae. International Conference on Green Agro-industry and Bioeconomy.*
- Annisa, N., F. 2021. Pengaruh Total Padatan Terhadap Produksi Biogas dari Sampah Organik Rumah Tangga. Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
- Ayu, N. 2023. Monitoring dan Evaluasi Reaktor Biogas di Desa Lau, Kecamatan Dawe, Kabupaten Kudus. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Daniel, A. 2021. Produksi dan Karakteristik Biogas dari Bahan Baku Kol Bayam dan Kangkung dalam Biodigester Anaerob. Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

- Dwi, R., P & Mohammad, M. 2021. Pemanfaatan Sampah Organik Pasar Tradisional dengan Penambahan Kotoran Sapi dan Kotoran Ayam Sebagai Bahan Energi Alternatif Biogas. *Jurnal Pengabdian Vokasi*, 2(1), 38-41.
- Dwivannie *et al.* 2019. Karakteristik pH dan Suhu dalam Proses Pembuatan Biogas dari Substrat Limbah Rumah Makan, Limbah Cair Tahu dan Kotoran Sapi. *JOM FTEKNIK*, 6 (2), 1-7.
- Felder, R.M., & Rousseau, R.W. (2000). *Elementary Principles of Chemical Processes* (3rd Ed.). Wiley.
- Irawan, D & Suwanto, E. 2016. Pengaruh Em4 (*Effective Microorganisme*) Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Bahan Baku Kotoran Sapi. *Jurnal Teknik Mesin*, 5 (1), 44-49.
- Isyaturriyadhah. 2023. *Biogas, pupuk organik, dan kompos: praktik pengolahan limbah kotoran sapi*. CV bintang semestamedia: Yogyakarta.
- Jegade, A.O *et al.* 2019. *Evaluation of liquid and solid phase mixing in Chinese dome digesters using residence time distribution (RTD) technique*. *Renewable Energy*, 143, pp, 501-511.
- Lilik *et al.* 2021. Pelatihan Pengolahan Sampah Organik Dengan Metode Eco Enzym. *Indonesian Journal of Community Service*, 1 (1), 2775-2666.
- Manta *et al.* 2022. Analisis Campuran Substrat Kotoran Sapi dan Limbah Organik Pasar Terhadap Produktivitas Biogas. *Jurnal Teknik Mesin*, 9 (1), 31-39.
- Mhlanga *et al.* 2023. Anaerobic co-digestion of canteen food waste and cow dung. *Energisouces*, 45 (4), 11342-11348.
- Muharja *et al.* 2022. Pemanfaatan Sampah Organik Untuk Produksi Biogas di Lembaga Pemasyarakatan Kelas II A Jember dengan Melibatkan Narapidana. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7 (1).
- Moses *et al.* 2018. *Quality of Optimized Biogas Yields from Co-Digestion of Cattle Dung with Fresh Mass of Sunflower Leaves, Pawpaw and Potato Peels*. *Journal Cogent Engineering*, 5, 1-21.
- Nindia *et al.* 2021. Pelatihan Pembuatan Biogas dari Kotoran Ternak di Kecamatan Oebobo Kota Kupang. *Jurnal Pengabdian Vokasi*, 2 (1), 38-41
- Nirmala *et al.* 2020. Pengaruh Komposisi Sampah Pasar Terhadap Kualitas Kompos Organik dengan Metode Larva Black Soldier FLY (BSF). *Prosiding Seminar Nasional*, 1-9.
- Purwoko *et al.* 2021. Analisis Pengaruh Variasi Bahan Bakar Biomassa dan Pola Tiupan Udara Terhadap Efisiensi Kompor Gasifikasi Tipe Updraft. *e-Proceeding of Engineering*, 8 (2), 1-11.
- Rajagukguk, K. (2020). Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas Menggunakan Reaktor Biogas Portabel. *Jurnal Quantum Teknika*, 1 (2), 67-31.
- Rahmat, M. 2022. Efektivitas Em4 (Efektif Mikroorganisme 4) dan Feses Sapi pada Sampah Organik Sebagai Produksi Biogas. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
- Rusdyono *et al.*, .2017. Perancangan Alat Ukur Konsentrasi Gas Metana dari *Anaerobic Baffled Reactor* (Abr) Semi-Kontinyu Dengan Substrat Susu Basi. *e-Proceeding of Engineering*, 4 (1), 580-588.
- Sanjaya *et al.* 2015. Produksi Biogas dari Campuran Kotoran Sapi dengan Kotoran Ayam. *Jurnal Teknik Pertanian*, 4 (2), 127-136.
- Semin *et al.* 2022. *Bahan Bakar Biogas*. PT. Nasya Expanding Management.
- Singgih, B & Yusmiati. 2018. Pemanfaatan Residu/Ampas Produksi Biogas dari Limbah Ternak (Bio-Slurry) Sebagai Sumber Pupuk Organik. *Jurnal kelitbangan*, 6 (2), 139-146.
- Subagio *et al.* 2015. Pengaruh pH, Suhu dan Salinitas Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Asam Organik Bakteri Asam Laktat. *IJMS*, 20 (4), 187-194.
- Suhartini, S & Nur, H. 2023. *Integrasi teknologianaerobic digestion dan budidaya larvablack soldier fly (BSF)*. Media nusa creative: Malang.
- Sulistio, S & Yuli, Y. 2024. Perbandingan Penambahan Air pada Proses Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi pada Praktikum Pengolahan Limbah Peternakan. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 6(1), 34-40.
- Usman *et al.* 2020. Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Bahan Pembuatan Biogas. *Journal of Comunity Empowerment*, 1(1), 13-20.