

DOI <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v9i2.2821>

# Analisis Potensi Energi Listrik dari Biogas Campuran Sampah Daun Ketapang dan Tinja Kerbau

Muhammad Ridho Falmansyah<sup>1\*</sup>, Marhama Jelita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Jl. HR. Soebrantas No. 155 Panam, Pekanbaru, 28293.

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: [falmansyahridho7@gmail.com](mailto:falmansyahridho7@gmail.com)

**Abstract-** Leaf and twig waste accounts for 12.99% of Indonesia's waste problems. One of the fertile plants that can produce 10 kg of leaf waste per day for an area of 1200 m<sup>3</sup> is the ketapang tree. The ketapang tree has leaf waste that has the potential to become biogas through the fermentation process but produces a small amount of biogas, so the increase is done by mixing buffalo feces. Fermentation of a mixture of ketapang leaf waste and buffalo feces using a Batch-type digester by comparing using starter and non-starter to produce potential biogas and electrical energy. In the fermentation process of the mixture of ketapang leaf waste and buffalo feces, the temperature of the non-starter digester ranges from 26.3-32.6 °C and the starter 26.3-33 °C, the pH of the non-starter digester is in the range of 6.4-6.9 while the starter is 5.8-6.6. Biogas production generated from a mixture of ketapang leaf waste and buffalo work feces for non-starter is 0.00465 m<sup>3</sup> and starter 0.0028 m<sup>3</sup> with potential electrical energy generated non-starter 0.022 kWh and starter 0.013 kWh. Biogas and electrical energy production from a mixture of ketapang leaf waste and buffalo feces with non-starter is higher than using a starter.

**Abstrak-** Sampah daun dan ranting menyumbang 12,99% masalah sampah di Indonesia. Salah satu tanaman yang subur dan dapat menghasilkan 10 kg sampah daun perhari untuk area 1200 m<sup>3</sup> adalah pohon ketapang. Pohon ketapang memiliki limbah daun yang berpotensi menjadi biogas melalui proses fermentasi tetapi menghasilkan biogas dengan jumlah yang kecil, maka untuk peningkatan dilakukan dengan pencampuran tinja kerbau. Fermentasi campuran sampah daun ketapang dan tinja kerbau menggunakan digester tipe batch dengan membandingkan menggunakan starter dan non-starter untuk menghasilkan potensi biogas dan energi listrik. Pada proses fermentasi campuran sampah daun ketapang dan tinja kerbau, temperatur digester non-starter berkisar antara 26,3-32,6 °C dan starter 26,3-33°C, pH digester non-starter berada pada rentang 6,4-6,9 sedangkan starter 5,8-6,6. Produksi biogas yang dihasilkan dari campuran sampah daun ketapang dan tinja kerja kerbau untuk non-starter sebesar 0,00465 m<sup>3</sup> dan starter 0,0028 m<sup>3</sup> dengan potensi energi listrik yang dihasilkan non-starter 0,022 kWh dan starter sebesar 0,013 kWh. Produksi biogas dan energi listrik dari campuran sampah daun ketapang dan tinja kerbau dengan non-starter lebih tinggi dibandingkan menggunakan starter.

**Keywords -** Biogas, Ketapang Leaf Waste, Buffalo Feces, Starter, Electrical Energy.

## PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk Indonesia yang semakin meningkat menyebabkan permasalahan yang cukup serius dalam penghasiian sampah [1]. Timbulan sampah Indonesia selalu meningkat sejak 2019 menghasilkan timbulan sampah sebesar 28,7 juta ton/tahun kemudian terus meningkat secara linear pada 2020 sebesar 29 juta ton/tahun, 2021 sebesar 29,7 juta ton/tahun, dan 2022 sebesar 36,19

juta ton/tahun [2]. Pengelolaan sampah di Indonesia pada tahun 2022 hanya mencapai 64,01% yang berarti masih terdapat 35,99% sampah yang tidak terkelola [2]. Sampah dibagi menjadi 3 berdasarkan jenisnya yaitu sampah organik, sampah anorganik dan sampah B3. Pada tahun 2022 sebesar 53% sampah Indonesia berasal dari sampah organik dengan 12,99% diantaranya berasal dari daun dan ranting kayu [2].

Sampah dedaunan yang belum dimanfaatkan dengan baik menjadi masalah karena menyebabkan terjadinya penumpukan sampah dan timbulnya munculnya bau tidak sedap serta kotornya lingkungan [3]. Salah satu jenis pohon yang tumbuh subur di Indonesia dan menghasilkan sekitar 10 kg sampah daun per-hari untuk area 1200 m<sup>3</sup> ialah ketapang [4]. Pengelolaan sampah daun ketapang saat ini dapat dilakukan dengan cara ditimbun, dibakar dan diubah menjadi pupuk organik [3]. Pengelolaan sampah daun ketapang dengan cara ditimbun dapat menyebabkan pencemaran terhadap air tanah [5] dan juga cara ini tidak efektif di daerah perkotaan yang padat. Pembakaran sampah daun ketapang merupakan cara yang praktis namun efeknya menyebabkan polusi dan pencemaran udara [6]. Pengelolaan sampah daun ketapang menjadi pupuk kompos bermanfaat bagi kesuburan tanaman yang berada di pekarangan dan pot bunga, akan tetapi cara mengubah sampah organik menjadi pupuk kompos tidak disadari banyak oleh masyarakat [7].

Solusi yang terkait dengan permasalahan sampah daun ketapang sudah dikaji oleh beberapa penelitian. Penelitian [8] melakukan kajian tentang pemanfaatan limbah daun ketapang menjadi pupuk organik untuk mempercepat pertumbuhan bayam dan mendapatkan hasil dengan fermentasi rasio campuran 2 kg limbah daun ketapang, 100 ml bakteri EM4 dan 100 ml larutan gula merah menghasilkan pupuk yang mampu menumbuhkan 3 cm tanaman bayam dalam waktu 8 hari. Penelitian [9] membandingkan efektivitas dari sampah daun ketapang dan kulit kakao sebagai biobriket dan didapatkan hasil bahwasanya briket limbah daun ketapang tidak menghasilkan bara yang baik dan membutuhkan waktu yang lebih lama dari briket kulit kakao dalam mendidihkan 1 L air. Penelitian [10] membandingkan potensi produksi biogas dari daun ketapang dan kotoran babi dengan metode operasi Batch dalam kisaran suhu mesofilik 20 hingga 31 °C dan menemukan bahwa volume biogas yang dihasilkan dari daun ketapang adalah 220,5 L sedangkan volume biogas dari kotoran babi adalah 882,5 L, serta gas metana dari kotoran babi adalah 70,2% sedangkan untuk daun ketapang dengan ganggang adalah 72,7%. Pada penelitian [10] dengan campuran 23 kg daun ketapang dan 95 kg air menghasilkan volume biogas yang lebih rendah dibandingkan campuran 40 kg kotoran babi dan 80 kg air.

Untuk menambah volume biogas yang dihasilkan dari sampah daun ketapang, maka dapat dicampur

dengan tinja hewan ternak. Hewan ternak yang tinjanya berpotensi dapat diolah menjadi biogas antara lain sapi, kerbau, kambing, kuda, domba, babi, ayam dan itik [11]. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji hasil volume biogas yang dihasilkan oleh tinja hewan ternak. Penelitian [12] telah mengkaji perbandingan efektifitas feses ternak (kerbau, kuda, sapi) dan menemukan bahwa tinja kerbau menghasilkan volume biogas yang lebih tinggi sebesar 75 cm<sup>3</sup> dibanding tinja sapi dan tinja kuda. Penelitian [13] juga membuktikan bahwa feses kerbau menghasilkan gas metana yang lebih tinggi dibandingkan feses sapi perah dan sapi potong dikarenakan kandungan organik dan mikroorganisme feses kerbau lebih sesuai sebagai substrat pembentuk gas metana. Penelitian [14] menemukan bahwa volume biogas tertinggi selama waktu fermentasi adalah 24,3 L dengan rasio C/N 50/1. Penelitian [14] menggunakan sistem fermentasi *batch* untuk menghasilkan biogas dari campuran kotoran kerbau-sapi.

Berdasarkan sistem pengisian bahan bakunya digester terbagi menjadi 2 yaitu sistem *batch* dan sistem kontinyu. Beberapa penelitian telah melakukan eksperimen menggunakan digester tipe *batch* dan kontinyu. Pada penelitian [15] didapatkan hasil bahwasanya digester tipe *batch* lebih tinggi dalam memproduksi volume biogas, namun lebih rendah dalam segi kualitas kadar CH<sub>4</sub> dan uji nyala api dibandingkan digester tipe kontinyu. Pada penelitian [16] pola produksi biogas menggunakan *batch* digester pada proses anaerobik limbah cair pengolahan kopi ini menghasilkan volume biogas yang stabil. Digester tipe kontinyu memiliki resiko masuknya udara kedalam digester pada saat pengisian bahan baku, berbeda dengan tipe *batch* yang setelah bahan baku dimasukkan maka digester tidak akan dibuka hingga produksi biogas telah habis. Penelitian [15] mengukur volume biogas campuran 25 kg kotoran sapi dan 25 kg rumput gajah selama 70 hari dan didapatkan hasil bahwasanya volume biogas dapat diukur pada hari ke-3. Proses fermentasi pada kotoran sapi mampu menghasilkan biogas dengan waktu yang lama.

Proses fermentasi pada sampah organik untuk menghasilkan biogas membutuhkan rentang waktu yang cukup lama agar bakteri terus berkembang dan menguraikan bahan organik menjadi gas metana CH<sub>4</sub> [17]. Solusi yang telah dilakukan penelitian sebelumnya untuk mempercepat proses fermentasi adalah dengan menambahkan beberapa bahan *biostarter*. Penelitian [17] menggunakan bakteri EM-4 sebagai *starter* dengan variasi 2,5% hingga

10% dalam waktu biodigester 20 hari menunjukkan bahwa volume tertinggi biogas yang dihasilkan dari sampah organik pasar terdapat pada variasi 9%. Penelitian [18] menggunakan variasi *starter* kotoran kuda, bakteri EM-4 dan ragi untuk mempercepat fermentasi limbah cair tahu menemukan bahwasanya komposisi campuran *starter* kotoran kuda dan bakteri EM-4 meningkatkan kualitas biogas, sebaliknya campuran kotoran kuda, bakteri EM-4 dan ragi menurunkan kualitas biogas. Penelitian [19] menggunakan bakteri *indigenous* dengan rasio 30% sebagai *starter* pembuatan biogas dari limbah cair tahu menghasilkan biogas yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan *starter* kotoran sapi. Cairan *septic tank* merupakan *biostarter* alami yang mengandung bakteri anaerob dan jamur untuk menguraikan benda padat yang terdapat di dalam *septic tank* [20]. Penelitian [18] menemukan bahwasanya rasio C/N yang berbeda dapat memberikan kualitas biogas yang berbeda.

Produksi biogas dan aktivitas mikroba di dalam digester dipengaruhi oleh rasio karbon dan nitrogen (C/N) [15]. Kebutuhan karbon berasal dari karbohidrat, lemak dan asam-asam organik, sedangkan kebutuhan nitrogen dipenuhi dari protein, amonia dan nitrat. Bahan baku yang digunakan pada penelitian [15] memiliki rasio 1:1 dengan kotoran sapi dan rumput gajah sebesar 25 kg menghasilkan biogas sebanyak 66484 ml selama 70 hari. Penelitian [16] menggunakan 4 rasio yaitu 1:1, 3:1, 3.07:0.3, dan 3.06:0.4 menunjukkan hasil volume biogas tertinggi berada pada rasio 1:1. Pada penelitian [21] didapatkan hasil rasio terbaik pada pembuatan biogas dengan komposisi kotoran sapi, sampuh sayur dan eceng gondok ialah 8:1:1. Pada penelitian [22] rasio kotoran sapi dan sampah daun kering yang digunakan ialah 1,25:1 menghasilkan volume biogas sebesar 0,32 m<sup>3</sup>.

Produksi biogas yang berlangsung dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain temperatur dan pH [23]. Mikroorganisme yang menguraikan limbah organik pada digester tersebut hidup dan berkembang dalam kondisi temperatur dan pH tertentu. Temperatur dan pH selama 35 hari pada penelitian [16] berada dalam kondisi yang cukup baik yakni 24,9-29°C dan 5,2-7,1, sehingga mampu menghasilkan biogas sebesar 250 mL. Penelitian [23] selama 30 hari memiliki temperatur dalam rentang 28,3-32°C dan pH sebesar 5,2-8, sehingga dapat menghasilkan biogas sebesar 4 L dalam waktu 7 hari pada campuran kotoran sapi dan air dan 4 L dalam waktu 4 hari dengan campuran kotoran sapi, limbah cair tahu, limbah kulit pisang dan air. Penelitian [18] selama 21 hari memiliki

temperatur dalam rentang 28-32°C dan pH sebesar 7, sehingga menghasilkan biogas sebesar 318,2 mL pada campuran limbah cair tahu dan kotoran kuda dan 154 mL pada campuran limbah cair tahu, kotoran kuda dan ragi. Volume biogas yang dihasilkan dapat dikonversi menjadi energi listrik.

Besarnya energi listrik yang mampu dihasilkan oleh biogas tergantung dari besarnya volume biogas. Kajian mengenai potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh biogas telah banyak diteliti sebelumnya. Pada penelitian [11] didapatkan biogas yang dihasilkan dari seluruh feses 8 komoditi ternak yang berjumlah 19.183.779 ekor di pulau Bali berpotensi menghasilkan 246.130,81 m<sup>3</sup> biogas per hari dan jika dikonversikan menjadi energi listrik sebesar 1,16 GWh/hari. Penelitian [24] menunjukkan bahwa kabupaten Pati dengan memanfaatkan feses dari 300 ekor kambing/domba berpotensi menghasilkan listrik sebesar 32,4 kWh/hari.

Berdasarkan masalah terkait sampah daun ketapang diatas, maka penelitian ini melakukan solusi dari penelitian [10]. Untuk menghasilkan volume biogas yang tinggi maka dicampur dengan tinja kerbau [12]. Tipe digester yang digunakan adalah tipe *batch* karena menghasilkan volume yang lebih tinggi dibanding digester kontinyu [15]. *Starter* yang digunakan adalah cairan *septic tank* dikarenakan *biostarter* alami yang mengandung bakteri anaerob [20]. Rasio bahan baku yang digunakan 1:1,25 merujuk ke penelitian [22]. Pengukuran parameter pH dan temperatur dilakukan dengan metode yang dilakukan oleh [18]. Menghitung potensi energi listrik merujuk ke penelitian [24]. Penelitian ini akan mengkaji tentang produksi biogas yang mampu dihasilkan oleh campuran bahan baku dengan *starter* dan *non-starter* dan menghitung potensi energi listrik yang dihasilkan.

## METODE

Penelitian ini melakukan eksperimen pemanfaatan campuran sampah daun ketapang dan tinja kerbau menjadi biogas dengan membandingkan hasil biogas perlakuan *starter* dan *non-starter*. Kajian diawali dengan pengumpulan data sampah daun ketapang, tinja kerbau dan *starter*, kemudian dilakukan perancangan digester untuk tempat fermentasi bahan baku. Setelah digester dirancang, kemudian dilakukan pengujian untuk melihat kebocoran pada digester. Setelah bahan baku dimasukkan ke dalam digester, maka akan terjadi proses fermentasi dan

dilakukan pengukuran terhadap parameter yang mempengaruhi produksi biogas yang berlangsung. Lokasi penelitian dilakukan di jalan Kamboja kota Pekanbaru dan berlangsung selama 14 hari sejak tanggal 24 November hingga 8 Desember 2023.

Proses pembentukan biogas terdapat 3 tahapan yaitu hidrolisis, acidogenesis dan methanogenesis. Hidrolisis dimulai pada saat penguraian bahan organik menjadi padatan yang sederhana sehingga pada proses asidogenesis bakteri mudah dalam menguraikan dan terjadi pada suhu diatas 25°C. Acidogenesis mengkonversikan padatan yang telah dihidrolisis menjadi asam volatil, alcohol, ammonia, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan hidrogen oleh bakteri pembentuk asam pada suhu diatas 25°C. Proses asidogenesis ditandai dengan menurunnya kadar pH karena pelepasan asam volatil. Metanogenesis adalah proses terbentuknya gas metan CH<sub>4</sub> oleh bakteri metanogen dengan mengubah padatan asam menjadi gas metan yang ditandai dengan peningkatan suhu.

**Tipe dan Jenis Penelitian**

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif yang menggunakan metode eksperimen dengan data primer sebagai objek penelitian. Data primer digunakan agar mendapatkan hasil penelitian yang lebih nyata.

**Pengumpulan Data**

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah sampah daun ketapang, tinja kerbau dan *starter* cairan *septic tank*. Daun ketapang yang berguguran dan menumpuk di jalan kemudian diambil sesuai dengan rasio yang diujikan. Tinja kerbau yang digunakan berasal dari kandang peternakan yang ada di kota Pekanbaru. Parameter yang diuji pada penelitian ini adalah massa dari data yang digunakan. Kebutuhan data yang diperlukan pada penelitian ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Rasio Bahan Baku Biogas

Perlakuan	Tinja Kerbau (Kg)	Limbah Daun Ketapang (Kg)	Air (L)	Cairan <i>Septic tank</i> (L)
Digester <i>non-starter</i>	4	3,2	7,2	-
Digester <i>starter</i>	4	3,2	7,2	2

Tinja kotoran kerbau yang digunakan untuk tiap digester adalah 4 kg, sehingga dibutuhkan tinja kerbau sebanyak 8 kg. Sampah daun yang dibutuhkan adalah 3,2 kg di tiap digester, sehingga dibutuhkan sampah daun sebanyak 6,4 kg. Massa

campuran tinja kerbau dan daun tiap digester adalah 7,2 kg maka untuk memenuhi rasio 1:1 dibutuhkan air sebanyak 7,2 L untuk satu digester. Cairan *starter* yang digunakan pada digester 2 diperlukan 2 L. Sehingga total bahan baku pada digester *non-starter* ialah 14,4 kg dan digester *starter* sebanyak 16,4 kg. Massa bahan baku dibatasi oleh kapasitas yang mampu ditampung digester. Parameter yang dianalisis dari hasil fermentasi massa bahan baku adalah temperatur, pH, volume biogas dan potensi energi listrik.

**Perhitungan Produksi Biogas**

Mengolah limbah daun ketapang dan kotoran kerbau menjadi biogas dibutuhkan beberapa tahapan-tahapan yang harus dilakukan. Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data yang terdapat pada Tabel 1 sebagai bahan baku untuk menghasilkan biogas. Tahapan selanjutnya yaitu merancang digester dan uji kebocoran digester. Data yang telah dikumpulkan kemudian dimasukkan kedalam digester kedap udara selama 14 hari masa penelitian. Selama 14 hari terjadi proses hidrolisis, asidogenesis dan metanogenesis pada digester *non-starter* dan *starter*. Kemudian lakukan pemantauan dan pengukuran 1x24 jam terhadap parameter pH, temperatur dan volume biogas. Analisa perbandingan parameter-parameter tersebut dan pengaruh dari penambahan *starter*. Biogas yang dihasilkan pada hari ke 14 dapat dilakukan perhitungan potensi energi listriknya. Adapun prosedur fermentasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Prosedur Perhitungan Potensi Biogas

**Perencanaan Digester**

Rancangan digester yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada penelitian [16]. Alat yang digunakan ialah galon air berukuran 19 L sebagai media penampung bahan baku, thermometer infrared Dt 8826 sebagai pengukur temperatur di dalam digester, pH meter Siopen Hss sebagai pengukur pH air campuran bahan baku, balon sebagai penampung biogas, selang air ukuran ¼ inch sebagai saluran biogas dalam digester ke balon, serta lem G dan pasir untuk merekatkan alat ukur dan selang pada digester.

Galon dilubangi sebanyak 4 titik untuk pemasangan termometer, pH meter, selang menuju balon dan selang untuk pengujian nyala api. Pemasangan termometer dan selang berada di bagian atas galon, sedangkan pH meter dipasang di tengah galon agar sensor pada pH meter mengenai air campuran bahan baku. Bagian atas galon kemudian ditutup dengan rapat apabila bahan baku telah dimasukkan ke dalam digester.



Gambar 2. Digester *Batch*

### Pengujian Digester *Batch*

Fermentasi anaerob adalah proses fermentasi yang berlangsung tanpa udara. Untuk meminimalisir terjadinya kebocoran akibat pemasangan alat pengukur dan selang pada digester, maka harus dilakukan pengujian terhadap digester. Metode yang digunakan untuk menguji kebocoran digester yakni dengan cara mengisi digester dengan air hingga penuh, kemudian diletakkan dalam posisi terbalik selama 24 jam. Apabila tidak terdapat kebocoran pada digester, maka digester dapat digunakan.

### Proses Pembentukan Biogas dengan *Starter* dan *Non-starter*

Pembentukan biogas pada penelitian ini menggunakan prosedur yang harus diikuti untuk mendapatkan hasil biogas yang terbaik pada campuran bahan baku menggunakan *starter* dan *non-starter*. Prosedur yang dilakukan pada pembentukan biogas *starter* dan *non-starter* memiliki kesamaan, namun berbeda pada penambahan *starter*.

Prosedur pembentukan biogas pada digester dengan cara mencampurkan 4 kg tinja kerbau dengan penambahan air sebanyak 7,2 L pada sebuah ember, kemudian diaduk hingga encer. Kemudian mencacah 3,2 kg sampah daun menjadi potongan-potongan kecil dengan menggunakan alat pencacah.

Campurkan tinja kerbau yang telah diencerkan dengan sampah daun yang telah dicacah, kemudian diaduk. Khusus pada digester 2 ditambah *starter* masukkan bahan baku ke dalam digester, kemudian ditutup rapat, tunggu selama 14 hari dilakukan pemantauan terhadap temperatur dengan menggunakan *thermometer infrared* dan pH menggunakan pH meter pada kedua digester sebanyak 1x24 jam pada siang hari. Proses hidrolisis dan asidifikasi ini akan terjadi pada suhu di atas 25°C dengan menurunnya pH menjadi tanda proses asidifikasi sedang berlangsung [16]. Proses metanogenesis ditandai dengan peningkatan suhu dan pH. Kemudian analisis kondisi temperatur dan pH yang terjadi selama 14 hari. Setelah itu hitung volume biogas yang telah didapatkan kedua digester selama 14 hari. Lakukan analisis terhadap jumlah volume biogas yang dihasilkan.

### Pengukuran Temperatur

Temperatur merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi kehidupan bakteri dalam Fermentasi Anaerob [15][16][23]. Bakteri pada Fermentasi Anaerob disebut sebagai Bakteri *Mesophilic* yang tumbuh pada suhu 20-45°C [23]. Apabila temperatur digester stabil di angka 25°C maka sedang berlangsung proses hidrolisis, sedangkan apabila terjadi peningkatan suhu pertanda proses metanogenesis. Metode yang digunakan untuk pemantauan suhu pada digester adalah menggunakan alat *termometer infrared*.

Termometer dipasang pada digester dengan kondisi bagian sensor *infrared* dapat membaca suhu di dalam digester. Data yang akan didapatkan oleh alat tersebut adalah data *real time* temperatur yang sedang terjadi dalam proses fermentasi. Pengecekan suhu di dalam digester dilakukan setiap hari sebanyak 1 kali pada siang hari untuk memantau perkembangan bakteri, karena temperatur sangat berpengaruh terhadap perkembangan bakteri. Pengukuran ini dilakukan dari awal proses fermentasi hingga akhir fermentasi.

### Pengukuran pH

Pemantauan kondisi pH pada digester dilakukan untuk mengetahui keadaan perkembangan bakteri. Kondisi pH yang ideal saat proses fermentasi adalah berada dalam rentang 5,5-8,5 [15]. Apabila pH awal digester mendekati 7 maka sedang berlangsung proses hidrolisis. Jika pH semakin menurun di hari berikutnya maka berlangsung proses asidifikasi. Jika pH meningkat setelah proses asidifikasi maka sedang berlangsung proses metanogenesis. Jika pH berada dibawah angka 5 maka proses fermentasi

akan berhenti dikarenakan bakteri tidak dapat hidup di lingkungan yang bersifat asam [22][23]. Apabila pH melebihi angka 8,5 dapat menjadi racun bagi bakteri karena kondisi yang basa, sehingga bakteri tidak dapat berkembang lagi [22][23][25]. Pengukuran pH dilakukan sekali tiap harinya dengan menggunakan pH meter.

**Volume**

Parameter temperatur dan pH pada proses pembentukan biogas sangat berpengaruh terhadap produksi biogas yang dihasilkan. Hal ini disebabkan lingkungan hidup bakteri pengurai yang hanya dapat berkembang pada kondisi temperatur dan pH yang ideal. Perhitungan volume biogas dilakukan dengan mengkombinasikan 2 cara yaitu menghitung volume biogas di dalam ruang digester dan di dalam balon penampung.

**Volume Biogas Balon**

Perhitungan volume biogas di dalam balon memakai hukum *Archimedes*, yaitu mencelupkan balon yang berisi biogas ke dalam gelas ukur yang berisi air pada takaran tertentu, kemudian volume air yang bertambah dihitung sebagai volume biogas [16].

$$V_{\text{Biogas balon}} = V_{\text{gelas ukur akhir}} - V_{\text{gelas ukur awal}} \quad (1)$$

**Volume Biogas Digester**

Menghitung biogas yang terdapat di dalam digester dengan cara melakukan pengurangan pada ukuran kapasitas digester dengan jumlah bahan baku digunakan, kemudian hasil yang didapatkan (L) dikonversi kedalam bentuk volume (m<sup>3</sup>).

$$V_{\text{Biogas digester}} = V_{\text{kapasitas digester}} - V_{\text{bahan baku}} \quad (2)$$

**Volume Total Biogas**

Menghitung volume total biogas dengan cara menjumlahkan volume biogas pada digester dan balon.

$$V_{\text{Biogas total}} = V_{\text{biogas dalam digester}} + V_{\text{balon}} \quad (3)$$

**Perhitungan Potensi Energi Listrik**

Potensi energi listrik dari biogas dipengaruhi oleh temperatur, ph dan volume biogas hasil penelitian. Potensi energi listrik dapat dihitung apabila telah didapatkan jumlah volume biogas yang dihasilkan. Perhitungan energi listrik yang dapat dihasilkan oleh biogas telah diteliti sebelumnya [11] dan tersedia pada Tabel 2.

Tabel 2. Konversi Biogas dan Penggunaannya

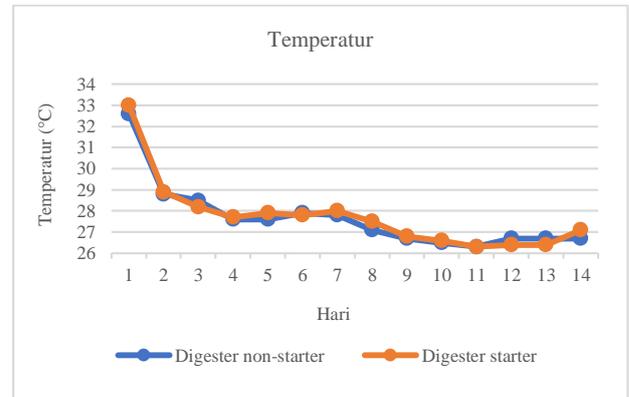
Penggunaan	1 m <sup>3</sup> Biogas
Penerangan	Lampu 60 100 W selama 6 jam
Memasak	Memasak 3 jenis makan untuk 5-6 orang
Tenaga	Menjalankan motor 1 hp selama 2 jam
Listrik	4,7 kWh energi listrik

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengukuran data yang dilakukan selama proses fermentasi adalah temperatur, pH dan volume biogas. Data-data tersebut diperlukan untuk menganalisis produksi biogas dan potensi energi listrik yang mampu dihasilkan oleh 14,4 kg campuran daun ketapang, tinja kerbau dan air dibandingkan perlakuan dengan 16,4 kg campuran daun ketapang, tinja kerbau, air dan *starter*.

**Pengukuran Temperatur**

Pemantauan terhadap parameter temperatur selama 14 hari proses fermentasi pada digester dilakukan untuk mengontrol produksi biogas yang dihasilkan. Adapun temperatur yang tercatat selama proses fermentasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Fluktuasi Temperatur Kedua Digester

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwasanya pada hari ke-1 temperatur digester *non-starter* sebesar 32,6°C dan digester *starter* sebesar 33°C yang dimana temperatur ini disebut temperatur mesofilik. Temperatur ini merupakan temperatur yang ideal bagi bakteri *mesophilic* untuk tumbuh dan berkembang biak. Pada hari ke-2 digester mengalami penurunan temperatur dengan digester *non-starter* sebesar 28,8°C dan digester *starter* sebesar 28,7°C yang dipengaruhi oleh suhu lingkungan dan penurunan ini berlanjut hingga hari ke-4. Pada hari ke-1 hingga ke-4 terjadi proses hidrolisis dan asidogenesis. Pada hari ke-5 digester *non-starter* tetap mengalami penurunan temperatur, sedangkan digester *starter* mengalami kenaikan

temperatur yang menandakan bahwasanya proses metanogenesis sedang terjadi.

Proses metanogenesis terjadi ketika bakteri metanogen mengubah asam asetat menjadi energi panas, yang mengubah kondisi suhu proses dari *mesophilic* ke *thermophilic* [16][26]. Pada hari ke-6 digester *non-starter* mengalami proses metanogenesis yang ditandai dengan meningkatnya temperatur. Pada hari ke-7 hingga ke-11 terjadi hujan yang menyebabkan temperatur kedua digester mengalami penurunan, sedangkan pada hari ke-12 hingga 14 tidak terjadi hujan yang mengakibatkan temperatur kedua digester kembali mengalami peningkatan. Sehingga dapat disimpulkan bahwasanya temperatur kedua digester berada di dalam kondisi mesofilik karena walaupun mengalami fluktuasi naik turun dari hari ke-1 hingga hari ke-14, namun tetap berada di rentang 20-45°C dan kondisi temperatur lingkungan berpengaruh terhadap temperatur yang berada di dalam digester.

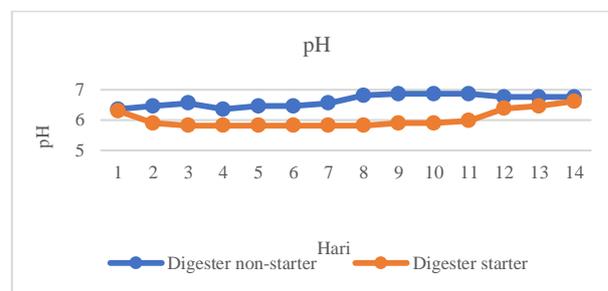
Hasil temperatur pada penelitian ini berada di rentang yang lebih tinggi dibanding penelitian [16] yang mendapatkan temperatur sebesar 24,9-29°C, namun keduanya masih berada di rentang temperatur yang baik untuk bakteri hidup dan berkembang.

### Pengukuran pH

Pemantauan terhadap parameter pH selama 14 hari proses fermentasi pada digester dilakukan untuk mengontrol produksi biogas yang dihasilkan. Adapun kadar pH yang tercatat selama proses fermentasi dapat terlihat jelas perbedaan nilai pH antara digester *non-starter* dan digester *starter* yang dimana pH digester *starter* dengan penambahan cairan *septic tank* memiliki pH yang lebih asam dibanding dengan pH digester *non-starter*. Pada hari ke-1 kedua digester memiliki nilai pH yang hampir sama yaitu 6,36 dan 6,3 dimana terjadi proses hidrolisis. Pada hari ke-2 pH digester *non-starter* mengalami peningkatan hingga hari ke-3 yang menunjukkan kondisi yang bagus bagi bakteri untuk berkembang, sedangkan pada digester *starter* mengalami penurunan yang dikarenakan berlangsungnya proses asidifikasi. Proses fermentasi dapat dilihat pada Gambar 4.

Proses Asidifikasi adalah proses anaerobik yang menyebabkan nilai pH menurun dikarenakan melepaskan asam-asam *volatile* [23]. Pada hari ke-3 sampai ke-8 digester *non-starter* mengalami fluktuasi naik dan turun di rentang 6,56-6,81, sedangkan digester ke-2 tetap stabil di angka 5,82.

Pada hari ke-9 hingga ke-14 digester *non-starter* tetap stabil di angka 6,86 selama 3 hari dan kemudian menurun ke angka 6,76 hingga hari ke-14, berbanding terbalik dengan digester *starter* yang stabil di angka 5,9 selama 3 hari dan kemudian mengalami peningkatan di angka 6,62. Kedua digester memiliki pH yang cukup stabil dan berada di rentang 5,5-8,5 yang ideal untuk bakteri berkembang, walaupun terdapat fluktuasi naik dan turun.



Gambar 4. Fluktuasi pH Kedua Digester

Nilai pH pada penelitian [16] yakni 5,2-7,1 berada di rentang yang sama dengan pH yang didapatkan pada penelitian ini dan merupakan kondisi yang cukup baik bagi bakteri untuk berkembang.

### Volume

Sebelum perhitungan volume biogas yang dihasilkan menggunakan rumus (3), maka terlebih dahulu menghitung volume biogas dalam balon menggunakan (1) dan volume biogas digester menggunakan (2) Tabel 3 adalah hasil volume biogas yang didapatkan.

Tabel 3. Hasil Volume Biogas

Perlakuan	Volume Biogas
Digester <i>Non-starter</i>	0,00465 m <sup>3</sup>
Digester <i>Starter</i>	0,0028 m <sup>3</sup>

Berdasarkan Tabel 3 didapatkan produksi volume biogas terbesar ialah pada perlakuan *non-starter* sebesar 0,00465 m<sup>3</sup> dan volume biogas perlakuan *starter* sebesar 0,0028 m<sup>3</sup>. Hasil biogas pada penelitian ini mendapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan penelitian [19] yang mampu menghasilkan biogas sebesar 5000 ml dengan variasi *starter* 30% dalam waktu 14 hari. Produksi biogas perlakuan *starter* ke-2 lebih sedikit dikarenakan bakteri kurang berkembang disebabkan nilai pH yang cenderung asam dan temperatur yang rendah akibat pengaruh dari cuaca hujan. Sehingga volume biogas *non-starter* lebih besar dibandingkan volume biogas *starter* karena memiliki pH yang lebih tinggi walaupun dalam kondisi temperatur yang hampir sama.

### Potensi Energi Listrik

Perhitungan mencari besarnya energi listrik yang mampu dihasilkan oleh biogas berbahan baku sampah daun kering, tinja kerbau menggunakan *starter* atau *non-starter* dengan lama fermentasi 14 hari dilakukan dengan menggunakan rumus Pers. 4. Adapun energi listrik yang dihasilkan tersaji pada Tabel 4.

Tabel 4. Potensi Energi Listrik

Perlakuan	Energi Listrik
Digester <i>Non-starter</i>	0,022 kWh
Digester <i>Starter</i>	0,013 kWh

Jadi diperoleh energi listrik yang mampu dihasilkan oleh perlakuan *non-starter* sebesar 0,022 kWh, sedangkan energi listrik yang dihasilkan oleh perlakuan *starter* sebesar 0,013 kWh. Produksi volume biogas sangat berpengaruh terhadap energi listrik yang dihasilkan, sehingga dari penelitian ini ditemukan bahwasanya cairan *septic tank* yang memiliki nilai pH yang rendah tidak ideal menjadi *starter* pembentukan biogas.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan menghasilkan produksi biogas pada digester *non-batch* sebesar 0,00465 m<sup>3</sup> dan energi listrik sebesar 0,022 kWh, sedangkan produksi biogas pada digester *starter* sebesar 0,0028 m<sup>3</sup> dan energi listrik sebesar 0,013 kWh. Pengaruh yang menyebabkan rendahnya produksi biogas dan energi listrik pada digester *starter* ialah kondisi pH yang cenderung asam. Potensi biogas dan energi listrik dari campuran sampah daun ketapang dan tinja kerbau dengan *non-starter* lebih tinggi dibandingkan menggunakan *starter*.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuannya demi kelancaran penelitian ini, baik dalam bentuk saran, kritik dan tenaga.

### DAFTAR PUSTAKA

[1] I. M. W. Widyarsana and A. D. Zafira, "Kajian Pengembangan Sistem Pengelolaan Sampah Di Kabupaten Tangerang," *J. Teh. Lingkungan*, vol. 21, no. 1, pp. 87–97, 2015.

[2] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "Capaian Kinerja Pengelolaan

Sampah." 2022.

- [3] N. Muthmainah, R. W. Chaniago Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, S. Khadijah Purba, and A. Hasibuan, "Literature Review: Analisis Dampak Limbah Rumah Tangga Terhadap Lingkungan Di Desa Stungkit Kecamatan Wampu," *Cross-border*, vol. 6, no. 2, pp. 1160–1166, 2023.
- [4] A. Ramadhan and M. Jelita, "Analisis Pemanfaatan Daun-Daun Kering menjadi Biobriket sebagai Energi Alternatif," *J. Teknik Elektro dan Vokasional*, vol. 9, no. 1, pp. 12–19, 2023.
- [5] A. I. R. Tanah, D. Di, S. Di, K. Pedungan, and K. Denpasar, "Pengaruh Air Lindi Tempat Pembuangan Akhir Sampah Suwung Terhadap Kualitas Air Tanah Dangkal Di Sekitarnya Di Kelurahan Pedungan Kota Denpasar," *J. Ecotrophic*, vol. 3, no. 8, pp. 55–60, 2007.
- [6] H. Krisnani, S. Humaedi, M. Ferdryansyah, D. H. S. Asiah, G. G. K. Basar, S. Sulastri, and N. Mulyana, "Perubahan Pola Pikir Masyarakat Mengenai Sampah Melalui Pengolahan Sampah Organik Dan Non Organik Di Desa Genteng, Kecamatan Sukasari, Kab. Sumedang," *Pros. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 2, pp. 281–289, 2017.
- [7] F. Firdani, A. R. Alfian, H. Saputra, P. Studi, K. Masyarakat, F. K. Masyarakat, U. Andalas, S. Barat, P. Studi, T. Pangan, U. Terbuka, K. Lubuk, L. Hidup, and K. Bukittinggi, "Pemanfaatan sampah organik rumah tangga dalam pembuatan kompos untuk mengurangi pencemaran lingkungan," *J. Abditani*, vol. 6, no. 2, pp. 138–143, 2021.
- [8] N. A. Putri and A. A. Matarru, "Pemanfaatan limbah daun ketapang menjadi pupuk organik cair untuk aplikasi tanaman bayam," *JMM (Jurnal Masy. Mandiri)*, vol. 7, no. 4, pp. 3690–3700, 2023.
- [9] M. S. Rizaldi, B. Budiman, and ..., "Efektivitas Briket Daun Ketapang Terminalia Catappa Dan Kulit Kakao Theobroma Cacao L Sebagai Bioarang," *J. Kolaboratif*, vol. 2, no. 1, pp. 11–18, 2019.
- [10] V. A. Ezekoye, "A comparative study of biogas production using plantain/almond leaves and pig dung, and its applications," *Int. J. Phys. Sci. Full Length Res. Pap.*, vol. 8, no. 23, pp. 1291–1297, 2013.
- [11] M. C. Santoso, I. A. D. Giriantari, and W. G. Ariastina, "Studi Pemanfaatan Kotoran Ternak Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Di Bali," *J. Spektrum*, vol. 6, no. 4, pp. 58–65, 2019.

- [12] K. Umam, "Uji Efektifitas Feses Ternak (Sapi, Kerbau Dan Kuda). Terhadap Produksi Biogas Yang Dihasilkan Di Dusun Batu Alang, Sumbawa," *J. Tambora*, vol. 3, no. 3, pp. 101–106, 2019.
- [13] Y. A. Hidayati, E. T. Marlina, K. N. Rahmah, and E. Harlia, "Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca dan Aplikasi Pemanfaatan Konsorsium Bakteri dari Limbah Peternakan dengan Media Batubara dalam Menghasilkan Biogas," *J. Ilmu Ternak Univ. Padjadjaran*, vol. 20, no. 2, p. 146, 2021.
- [14] Purwinda Iriani, Tina Mulya Gantina, Arif Santya Budi, and Florida, "Pengaruh Variasi Nilai Rasio Karbon Dan Nitrogen (C/N Ratio) Pada Campuran Kotoran Kerbau.Sapi Pada Produksi Biogas Menggunakan Sistem Fermentasi Batch," *J. Tek. Energi*, vol. 2, no. 1, pp. 153–157, 2020.
- [15] L. M. Shitophyta, M. H. Darmawan, and Y. Rusfidiantoni, "Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dengan Biodigester Kontinyu dan Batch: Review," *J. Chem. Process Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 85–90, 2022.
- [16] E. Novita, S. Wahyuningsih, and H. A. Pradana, "Variasi Komposisi Input Proses Anaerobik Untuk Produksi Biogas Pada Penanganan Limbah Cair Kopi," *J. Agroteknologi*, vol. 12, no. 01, p. 43, 2018.
- [17] I. G. M. Sanjaya, "Biokonversi Sampah Organik Pasar Menjadi Biogas Menggunakan Starter Effective Microorganisms (EM4)," *Sains dan Mat.*, vol. 1, no. 1, pp. 17–19, 2012.
- [18] D. Wahyu Pratama, A. Abidin, M. Jember, K. Kunci, B. Limbah Cair Tahu, K. Kuda, and R. dan EM-, "Pengaruh Variasi Komposisi Starter Kotoran Kuda, Ragi Dan Em4 Terhadap Kualitas Bahan Bakar Biogas Limbah Cair Tahu," *J. Kaji. Ilm. dan Teknol. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 2541–3562, 2020.
- [19] P. Prayitno, Sri Rulianah, and Hilman Nurmahdi, "Pembuatan Biogas dari Limbah Cair Tahu Menggunakan Bakteri Indigenous," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 4, no. 2, pp. 90–95, 2020.
- [20] budiman Chandra, "Pengantar Kesehatan Lingkungan." Buku Kedokteran Egc, Jakarta, 2005.
- [21] R. Kinasih, "Penambahan Starter Digestate Dan Em4 (Effective Microorganism-4) Pada Pembuatan Biogas Dengan Bahan Baku Sampah Sayur, Eichhornia Crassipes Dan Kotoran Sapi," *J. ESEC*, vol. 4, pp. 58–62, 2020.
- [22] Y. Tengker, G. M. C. Mangindaan, M. Rumbayan, T. Elektro, U. Sam, R. Manado, and J. K. Bahu, "Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas ( PLTBg ) di Universitas Sam Ratulangi," *Tek. Elektro*, pp. 1–11, 2021.
- [23] A. Febriansyah, J. Alfarobi, R. K.A, L. Salamah, R. A. Putra, and S. I. Amalia Sari, "Pengaruh penambahan limbah cair tahu dan kulit pisang terhadap biogas dari kotoran ternak sebagai solusi energi alternatif masa depan," *J. Penelit. Sains*, vol. 21, no. 3, pp. 163–167, 2021.
- [24] K. P. Aji and A. N. Bambang, "Konversi Energi Biogas Menjadi Energi Listrik Sebagai Alternatif Energi Terbarukan dan Ramah Lingkungan di Desa Langse, Kecamatan Margorejo Kabupaten Pati," *Pros. SENTIKUIN (Seminar Nas. Teknol. Ind. Lingkung. dan Infrastruktur)*, vol. 2, p. B4.1-B4.7, 2019.
- [25] Usman, Hasan, M. Hanafi, and A. K. Elihami, "Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Bahan Pembuatan Biogas," *Maspoul J. Community Empower.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–20, 2020.
- [26] K. Ziemiński, "Methane fermentation process as anaerobic digestion of biomass: Transformations, stages and microorganisms," *African J. Biotechnol.*, vol. 11, no. 18, pp. 4127–4139, 2012.