

Potensi Biogas dari Sampah Organik di TPA Talumelito sebagai Sumber Energi Terbarukan

The Potential of Biogas from Organic Waste in the Talumelito Landfill as a Source of Renewable Energy

Ervan Hasan Harun*
Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
ervanharun@ung.ac.id

Zul Ilham
Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
ilhamzul453@gmail.com

Jumiati Ilham
Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
jumiatiilham@ung.ac.id

Taufiq Ismail Yusuf
Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
taufiqyusuf1601@gmail.com

Diterima : Oktober 2024
Disetujui : Januari 2025
Dipublikasi : Januari 2025

Abstrak—Masalah lingkungan dan kebutuhan akan sumber energi baru terbarukan (EBT) yang ramah lingkungan mendorong inovasi dalam pemanfaatan sampah sebagai bahan baku energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi pemanfaatan sampah organik dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Talumelito di Kabupaten Gorontalo sebagai sumber energi listrik melalui teknologi biogas. Metode yang digunakan adalah pendekatan gabungan (mixed methods) yang melibatkan pengukuran kuantitatif terhadap jumlah timbulan sampah organik dan pendekatan kualitatif untuk menganalisis potensi biogas serta energi listrik yang dapat dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam satu minggu, total sampah yang masuk ke TPA Talumelito adalah 587.427 kg, dengan jumlah sampah organik sebesar 41.650 kg (7,1%). Dari sampah organik ini, diperoleh volume biogas harian rata-rata sebesar 825,6 m³, dengan volume gas metana mingguan sebesar 3.688,5 m³. Potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari sampah organik tersebut adalah sebesar 34.634,9 kWh per minggu, atau sekitar 4.947,8 kWh per hari. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sampah organik di TPA Talumelito memiliki potensi signifikan untuk dikembangkan sebagai sumber energi listrik yang ramah lingkungan.

Kata Kunci—energi terbarukan; sampah organik; biogas; metana

Abstract—Environmental issues and the need for renewable energy sources have driven innovation in utilizing waste as a raw material for energy production. This study aims to assess the potential of organic waste from the Talumelito landfill in Gorontalo Regency as a source of electricity through biogas technology. The methods used involve a mixed approach, combining quantitative measurements of the amount of organic waste and qualitative analysis of the potential biogas and electricity that can be generated. The results show that in one

week, a total of 587,427 kg of waste was disposed of at the Talumelito landfill, with 41,650 kg (7.1%) being organic waste. From this organic waste, an average daily biogas volume of 825.6 m³ was obtained, producing a weekly methane gas volume of 3,688.5 m³. The potential electricity generated from this organic waste is 34,634.9 kWh per week, or approximately 4,947.8 kWh per day. The study concludes that organic waste at the Talumelito landfill has significant potential to be developed as an environmentally friendly electricity source.

Keywords—renewable energy; organic waste; biogas; methane

I. PENDAHULUAN

Sampah merupakan masalah klasik yang terlihat sepele, namun sampah dapat berakibat buruk bagi kesehatan manusia maupun kelestarian alam. Peningkatan aktivitas perkotaan berbanding lurus dengan peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan tingkat konsumsi semakin tinggi [1]. Dengan tingkat konsumsi masyarakat yang semakin tinggi dan ditambah lagi dengan minimnya pengetahuan masyarakat terhadap pengelolaan sampah tentunya dapat mengakibatkan penimbunan jumlah sampah yang mungkin tidak terkendali. Hal tersebut dapat berakibat pada pencemaran lingkungan, baik pencemaran darat, pencemaran udara, maupun pencemaran laut, seperti yang sering terjadi di beberapa daerah.

Indonesia sebenarnya sudah menerapkan pengelolaan sampah terpadu melalui pembangunan Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Namun, pembangunan TPA bukanlah solusi akhir terhadap pengelolaan sampah, sebab TPA tentunya memiliki umur operasi yang terbatas sehingga diperlukan suatu rencana pemanfaatan TPA untuk mengurangi overload

timbunan dan dampak pencemaran lingkungan yang lebih buruk [2].

Salah satu TPA yang saat ini masih beroperasi di Provinsi Gorontalo adalah TPA Talumelito yang terletak di Kecamatan Telaga Biru Kabupaten Gorontalo. TPA Talumelito merupakan TPA yang pengoperasiannya menggunakan metode Sanitary Landfill yakni sistem pengelolaan sampah yang mengembangkan lahan cekungan dengan syarat tertentu yaitu jenis dan porositas tanah, dimana pada dasar cekungan dilapisi geotekstil untuk menahan peresapan lindi pada tanah serta dilengkapi dengan saluran lindi [3], [4].

Berdasarkan InfoPublik, volume sampah di Gorontalo mencapai hampir 4.000 ton per hari [5]. Volume sampah perhari di TPA Sampah Regional Talumelito sebanyak \pm 155.0436 m³. Komposisi sampah yang ada paling banyak terdiri dari sampah organik sekitar 52.54%. Sampah di TPA Talumelito berasal dari tiga wilayah yaitu Kota Gorontalo, Kabupaten Gorontalo, dan Kabupaten Bonebolango.

Setiap jenis dan sifat sampah mengandung unsur kimia yang dapat memberikan manfaat bagi manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung [6]. Namun yang terpenting bagaimana kita dapat memanfaatkan dan menggunakan sampah tersebut [7]. Salah satu inovasi yang dapat dilakukan untuk mencari solusi alternatif sumber energi baru terbarukan (EBT) yang ramah lingkungan demi mengurangi penggunaan energi fosil yaitu dengan memanfaatkan sampah sebagai bahan baku Pembangkit Listrik Tenaga Sampah, dan sebagai bahan baku pembuatan biogas [8] [9].

Energi baru terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin dan air dan dapat dihasilkan lagi dan lagi. Sumber akan selalu tersedia dan tidak merugikan lingkungan. Biogas adalah gas yang mudah terbakar, yang dihasilkan dari proses fermentasi kotoran ternak atau manusia [10] [11], limbah industri/kota dan limbah pertanian melalui proses fermentasi. Biogas ini terdiri dari beberapa unsur gas seperti gas methane (CH₄), Karbon Dioksida (CO₂), Hidrogen Sulfida (H₂S) dan Amoniak (NH₃) [12] [13] [14].

Proses pembentukan biogas secara biologis melibatkan sejumlah mikroorganisme anaerob dan terdiri dari tiga tahap yang jelas, yaitu hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis [15] [16], yaitu :

1. Tahap Hidrolisis (Tahap Pelarutan)

Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti glukosa. Bakteri berperan mendekomposisi rantai panjang karbohidrat, protein dan lemak menjadi bagian yang lebih pendek. Sebagai contoh, polisakarida diubah menjadi monosakarida. Tahap pelarutan berlangsung pada suhu 25°C di digester.

2. Tahap Asidogenesis (Tahap Pengasaman)

Pada tahap ini, bakteri asam menghasilkan asam asetat dalam suasana anaerob. Tahap ini berlangsung pada suhu 25°C di digester bakteri akan menghasilkan asam yang akan berfungsi untuk mengubah senyawa pendek hasil hidrolisis menjadi asam organik sederhana seperti asam asetat, H₂ dan CO₂, karena itu bakteri ini disebut pula bakteri penghasil asam (acidogen). Bakteri ini merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh pada keadaan asam. Untuk menghasilkan asam

asetat, bakteri tersebut memerlukan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan.

3. Tahap metanaogenesis (tahap pembentukan gas metana)

Pada tahap ini, bakteri metanaa membentuk gas metanaa secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu 25°C di dalam digester. Pada proses ini akan dihasilkan 70% CH₄, 30 % CO₂, sedikit H₂ dan H₂S.

Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan biogas yaitu sebagai berikut:

1. Kondisi anaerob atau kedap udara

Biogas dihasilkan dari proses fermentasi bahan organik oleh mikroorganisme anaerob. Karena itu, instalasi pengolah biogas harus kedap udara/keadaan anaerob Instalasi pengolah biogas harus dibuat kedap udara/keadaan anaerob hal ini dikarenakan biogas dihasilkan dari proses fermentasi bahan organik oleh mikroorganisme anaerob. Proses pembusukan atau penguraian secara anaerob berlangsung dengan baik pada kondisi temperatur antara 5 – 55 °C. Pada temperatur antara 5 – 40°C terjadi proses penguraian yang dilakukan jenis bakteri mesofil (bakteri yang cukup aktif). Sedangkan temperatur antara 40 – 55°C terjadi proses penghancuran bahan organik jenis bakteri termofil (bakteri yang sangat aktif). Pada temperatur sekitar 40°C kedua jenis bakteri tersebut masih dapat bekerja secara optimal [8] [15] [16].

2. Nilai pH dan interval optimal

Nilai pH merupakan keasaman/kebasaaan suatu larutan atau campuran substrat yang dinyatakan dalam bagian per juta (ppm). Pertumbuhan mikroorganisme metanaogenik dipengaruhi oleh nilai pH dan juga pemisahan beberapa senyawa seperti amonia, sulfida, dan asam organik yang penting dalam proses pembentukan biogas. Pembentukan gas metana berlangsung dalam waktu yang relatif singkat pada kisaran pH sekitar 5,5 hingga 8,5. Kisaran optimal untuk sebagian besar metanaogen adalah 7.0-8.0. Mikroorganisme asidogenik memiliki nilai pH optimal yang lebih rendah, sedangkan kisaran pH optimal untuk proses dekomposisi mesofilik berada di antara 6,5 dan 8,0. Proses menjadi sangat sulit ketika nilai pH turun di bawah 6,0 atau naik di atas 8,3 [8] [15].

3. Volatile Fatty Acids (VFA) atau asam lemak volatil

Kestabilan proses pembentukan biogas juga dipengaruhi oleh konsentrasi produk antara, seperti VFA. VFA adalah senyawa yang terbentuk selama proses asidogenesis (asetat, propionat, butirat, laktat) dengan tidak lebih dari enam atom karbon dalam rantai. Dalam kebanyakan kasus, ketidakstabilan proses pembentukan biogas menyebabkan penumpukan VFA di dalam reaktor biogas atau digester, yang dapat menyebabkan turunnya nilai pH.

4. Amonia

Amonia (NH₃) merupakan senyawa penting dalam proses pembentukan biogas sebagai nutrisi penting yang bertindak sebagai prekursor makanan dan biasanya ditemukan sebagai gas dengan bau khas dan menyengat. Dalam proses pembentukan biogas, protein merupakan sumber utama amoniak. Keberadaan amonia yang terlalu tinggi dalam digester, terutama amonia bebas (bentuk amonium yang tidak terionisasi), paling mempengaruhi

proses. Karena berdampak pada penghambatan, maka konsentrasi amonia harus dijaga di bawah 80 mg/l. Bakteri metanaogenik sangat sensitif terhadap penghambatan amonium. Konsentrasi ammonia bebas berbanding lurus dengan suhu, sehingga risiko penghambatan amonia dari proses pembentukan biogas yang beroperasi pada suhu termofilik lebih besar daripada pada suhu mesofilik [8].

5. Makro-dan mikronutrien (*trace elements*) dan senyawa beracun.

Kandungan unsur seperti besi, nikel, kobalt, selenium, molibdenum atau tungsten sama pentingnya untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup mikroorganismenya dalam proses pembentukan biogas. Rasio optimal unsur hara makro karbon, nitrogen, fosfor, dan belerang (C:N:P:S) adalah 600:15:5:1. Asupan nutrisi dan trace element yang tidak cukup dan penguraian substrat yang berlebihan dapat mencegah dan mengganggu proses pembentukan biogas [8] [15] [16].

6. Rasio C/N

Prinsipnya gas metana (biogas) mengandung unsur karbon (C) dan nitrogen (N). Unsur karbon (C) di dalam bahan organik sangat diperlukan sebagai penyedia energi bagi bakteri anaerob (bakteri yang tidak memerlukan oksigen untuk pertumbuhannya). Disamping unsur carbon tersebut unsur lain yang memegang peran penting dalam proses ini adalah nitrogen (N) karena sangat dibutuhkan bagi pembentukan/pembiakan bakteri. Dalam proses pembentukan biogas perbandingan antara jumlah unsur karbon dan nitrogen sangat menentukan keberhasilan proses pembentukan biogas. Perbandingan antara karbon dan nitrogen ini dikenal dengan istilah rasio C/N. Secara empiris diketahui bahwa rasio C/N yang paling menguntungkan adalah pada kisaran 10 – 30. Jika rasio C/N terlalu tinggi, berarti kandungan karbonnya tinggi, produksi biogas menjadi tidak optimal. Jika rasio C/N terlalu rendah (≤ 9) akan terbentuk amonika yang akan menyebabkan proses penguraian tidak dapat berjalan secara optimal [8] [15].

7. Temperatur (*suhu*)

Proses pembusukan atau penguraian secara anaerob berlangsung dengan baik pada kondisi temperatur antara 5 – 55 °C. Pada temperatur antara 5 – 40°C terjadi proses penguraian yang dilakukan jenis bakteri mesofil (bakteri yang cukup aktif). Sedangkan temperatur antara 40 – 55°C terjadi proses penghancuran bahan organik jenis bakteri termofil (bakteri yang sangat aktif). Pada temperatur sekitar 40°C kedua jenis bakteri tersebut masih dapat bekerja secara optimal. Proses penguraian pada umumnya terjadi pada daerah mesofil. Temperatur yang paling menguntungkan untuk keseluruhan proses terjadi pada 33° C [8].

8. Kadar padatan/*total solid content (TS)*

Pengertian *total solid content (TS)* atau *dry matter (DM)* adalah jumlah materi padatan yang terdapat dalam limbah pada bahan organik selama proses digester terjadi dan ini mengindikasikan laju penghancuran atau pembusukan material padatan limbah organik. Total Solid merupakan salah satu faktor yang dapat menunjukkan telah terjadinya proses pendegradasian karena padatan ini akan dirombak pada saat terjadinya pendekomposisi bahan. Jumlah TS biasanya direpresentasikan dalam % bahan baku. *Volatile solid (VS)* merupakan bagian padatan (*total solid-TS*) yang berubah menjadi fase gas pada tahapan asidifikasi dan

metanaogenesis sebagaimana dalam proses fermentasi limbah organik [8] [15].

9. Hydraulic Retention Time (*HRT*)

Periode waktu saat input masih berada di dalam digester dan proses penguraian oleh bakteri metanaogen masih berlangsung disebut rerata waktu tinggal dalam digester. Waktu tinggal bergantung pada temperatur, dan akan semakin singkat jika temperatur di atas 35°C atau lebih tinggi. Lamanya waktu retensi mempengaruhi jumlah metana yang dihasilkan. [7]. *Retention time* dipengaruhi oleh temperatur operasi dari biodigester. Untuk di Indonesia karena temperatur sepanjang musim yang hampir stabil, maka banyak biodigester dibuat dan beroperasi pada temperatur kamar (*unheated biodigester*). Sedangkan retention time untuk biodigester sederhana tanpa pemanasan dapat dipilih 40 hari. Pemasukan bahan baku tergantung seberapa banyak air yang harus dimasukkan kedalam biodigester sehingga kadar bahan baku padatnya sekitar 4 – 8%. Percampuran kotoran dari air dibuat dengan perbandingan antara 1 : 3 dan 2 : 1. Di Indonesia untuk kotoran sapi umumnya dicampur dengan air dengan perbandingan 1 : 1 sampai 1 : 2. Untuk limbah dari jerami padi dicampur dengan air perbandingan 1 : 3, untuk bungkil jarak pagar dicampur dengan air perbandingan 1 : 2, untuk limbah kelapa sawit dicampur dengan air perbandingan 1 : 2, untuk sampah organik dicampur dengan air perbandingan 1 : 2 [15] [17].

Biomassa merupakan bahan organik berumur relative muda dan berasal dari tumbuhan/hewan, produk dan limbah industri budidaya (pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, perikanan) [18]. Biomassa merupakan istilah untuk semua bahan organik yang berasal dari tanaman (termasuk alga, pohon dan tanaman). Biomassa merupakan suatu limbah benda padat yang bisa dimanfaatkan lagi sebagai sumber bahan bakar. Biomassa meliputi limbah kayu, limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah hutan, komponen organik dari industri dan rumah tangga]. Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan [19]. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Jadi, dapat disimpulkan bahwa biomassa merupakan suatu limbah bahan organik yang berasal dari tumbuhan/hewan yang dihasilkan melalui proses fotosintesis.

Biomassa berdasarkan bentuk dan wujudnya dibagi menjadi tiga kategori [20] yaitu:

1. *Solid Biomassa*, bahan dasar yang digunakan berasal dari material organik kering, misalnya pohon, sisa-sisa tumbuhan, hewan, kotoran manusia, sisa-sisa industri dan rumah tangga, yang kemudian di bakar secara langsung untuk menghasilkan panas.
2. *Biogas*, berasal dari material organik yang telah melewati proses fermentasi atau anaerob digesting oleh bakteri pada kondisi udara kekurangan oksigen yang kemudian menghasilkan gas yang dapat terbakar.
3. *Liquid Biofuel*, berasal dari minyak nabati (ethanol) maupun hewani. Biofuel ini di dapat dari reaksi kimia atau fisika pada material organik. Minyak yang didapat bisa digunakan untuk melakukan pembakaran, sama seperti pembakaran bahan fosil.

II. METODE

Penelitian ini akan menggunakan pendekatan gabungan (mix methode) antara pendekatan kuantitatif dan pendekatan kualitatif. Pendekatan kuantitatif dilakukan melalui pengukuran langsung timbulan sampah organik yang masuk di TPA Talumelito yang dilakukan selama tujuh hari berturut-turut untuk mendapatkan gambaran karakteristik timbunan sampah yang mewakili semua hari dalam satu minggu. Pendekatan kualitatif digunakan untuk menganalisis kelayakan potensi sampah organik berupa potensi biogas dan energi listrik yang dapat dihasilkan berdasarkan data kuantitatif.

A. Studi Literatur

Studi literatur yaitu proses mencari referensi melalui jurnal-jurnal yang berkaitan tentang pemanfaatan sampah TPA sebagai salah satu sumber energi yang mencakup pengertian sampah, jenis sampah, pengelolaan sampah sampai pada perhitungan numeris potensi energi yang dapat dihasilkan dari sampah yang masuk ke TPA.

B. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil ground check (survey lapangan) untuk mengetahui secara langsung jenis dan jumlah sampah yang masuk ke lokasi penelitian serta wawancara di lokasi penelitian dan data sekunder diperoleh dari literatur berupa hasil penelitian terdahulu, bahan bacaan yang mendukung teori dan analisis yang berhubungan dengan penelitian ini.

C. Sampling dan Analisis

Tahap sampling dan analisa dimaksudkan untuk mengetahui persentase jumlah sampah organik yang masuk di TPA Talumelito. Metode perhitungan sampah organik dilakukan sebagaimana langkah-langkah berikut:

- Sampel diperoleh dari truk pengangkut sampah yang berasal dari 3 wilayah pemasok sampah yang masuk di TPA Talumelito. Adapun 3 wilayah yang dimaksud meliputi wilayah Kota Gorontalo Kab. Gorontalo, dan Kab. Bone Bolango.
- Perhitungan sampah organik dilakukan dengan terlebih dahulu mengetahui berat keseluruhan jumlah sampah dari tiap truk pengangkut sampah melalui jembatan timbang
- Setelah mengetahui berat keseluruhan sampah dari truk pengangkut kemudian dilakukan pemilahan dan penimbangan terhadap sampah organik untuk mendapatkan jumlah organik dari setiap truk pengangkut.
- Langkah tersebut dilakukan selama 7 hari berturut-turut terhadap seluruh truk pengangkut yang masuk di TPA Talumelito.

D. Analisis

- Menghitung rasion C/N.

Untuk menghitung nilai rasio C, rasio N dan rasio C/N-nya dari berbagai macam bahan baku organik digunakan persamaan 1, 2 dan 3 di bawah ini [8] [15] [16]:

$$\text{Rasio C} = \text{jumlah bahan baku} \times \%C \text{ (kering)} \quad (1)$$

$$\text{Rasio N} = \text{jumlah bahan baku} \times \%N \text{ (kering)} \quad (2)$$

$$\text{Rasio C/N} = \frac{\text{Rasio C}}{\text{Rasio N}} \quad (3)$$

- Analisis karakteristik sampah organik TPA Talumelito yakni menghitung Total Solid, Volatile Solid, Produksi Biogas, dan Volume Gas Metan menggunakan persamaan 4, 5, 6, dan 7 sebagai berikut [21]:

$$TS = 27,7 \times Q \quad (4)$$

$$VS = 74,1 \times TS \quad (5)$$

$$VBS = 0,676 \times VS \quad (6)$$

$$VGM = 60\% \times VBS \quad (7)$$

dengan:

Q = Potensi Sampah (kg/hari)

TS = Total Solid

VS = Volatile Solid

VBS = Volume Produksi Biogas (m³/hari)

VGM = Volume Gas Metan (m³/hari)

E. Analisis Potensi Energi Listrik dari Biogas Sampah Organik TPA Talumelito.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Volume Timbulan Sampah Organik Tpa Talumelito Provinsi Gorontalo

Sampah yang menjadi objek penelitian ini adalah sampah organik yang masuk ke TPA Talumelito. Sampah tersebut akan digunakan sebagai bahan baku untuk perhitungan potensi energi listrik melalui perkiraan nilai biogas. Perhitungan sampah organik dilakukan selama 1 minggu (Senin 16 Oktober 2023 s.d Minggu 22 Oktober 2023) dengan cara terlebih dahulu mengetahui berat total sampah dalam tiap truk pengangkut sampah yang masuk melalui jembatan timbang yang ada di TPA Talumelito, sampah yang telah melalui jembatan timbang untuk ditimbang berat totalnya kemudian dibuang ke selter atau lokasi penampungan sampah kemudian peneliti melakukan pengukuran terhadap sampah organik pada setiap truk pengangkut sampah untuk dapat mengetahui rata-rata jumlah sampah organik yang masuk di TPA Talumelito. Data hasil pengukuran sampah organik di TPA Talumelito dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

TABEL 1. HASIL PENGUKURAN SAMPAH ORGANIK

Hari	Berat Sampah (kg)	
	Berat total sampah (campuran organik dan non organik)	Sampah Organik
1	90.625	5.986
2	84.589	5.929
3	84.143	6.396
4	87.713	7.017
5	85.496	6.088
6	89.900	6.113

7	64.961	4.121
Jumlah	587.427	41.650
Rata-rata	83.918,1	5.950

Berdasarkan Tabel I didapatkan bahwa jumlah total sampah yang masuk di TPA Talumelito selama satu minggu waktu pengukuran sebesar 587.427 kg dan jumlah sampah organiknya sebesar 41.650 Kg. sedangkan rata-rata perhari sampah yang masuk di TPA Talumelito sebesar 83.918,1 kg/hari, sedangkan rata-rata sampah organik yang masuk sebesar 5.950 kg/hari atau 7,1% dari jumlah sampah organik.

B. Analisis Karakteristik Sampah Organik TPA Talumelito

Konversi sampah organik menjadi Total Solid (TS), Volatile Solid (VS), Volume Produksi Biogas (VBS), dan Volume Gas Metan diberikan pada Tabel 2 di bawah ini.

TABEL 2. NILAI TS, VS, VBS, DAN VGM SAMPAH ORGANIK

Hari	TS (Kg/hari)	VS (Kg/hari)	VBS (m ³ /hari)	VGM (m ³ /hari)
1	1.658,1	1.228,7	830,6	498,3
2	1.642,3	1.217,0	822,7	493,6
3	1.771,7	1.312,8	887,5	532,5
4	1.943,7	1.440,3	973,6	584,2
5	1.686,4	1.249,6	844,7	506,8
6	1.693,3	1.254,7	848,2	508,9
7	1.141,5	845,9	571,8	564,1
Jumlah	11.537,1	8.549	5.779,1	3.688,5
Rata-rata	1.648,2	1.221,3	825,6	526,9

C. Analisis Potensi Energi Listrik Dari Biogas Sampah Organik TPA Talumelito

1) Potensi Energi Listrik

Konversi 1 kg gas metana setara dengan 6,13 x 10⁷ J, sedangkan 1 kWh setara dengan 3,6 x 10⁷ J. Massa jenis metana 0,656 kg/m³, sehingga 1 m³ gas metana menghasilkan energi listrik sebesar 9,36 kWh [22]. Konversi Nilai VGM menjadi energi listrik (kWh) diberikan pada Tabel 3 berikut:

TABEL 3. POTENSI ENERGI LISTRIK

Hari	VGM (m ³ /hari)	Energi Listrik (kWh)
1	498,3	4.679,5
2	493,6	4.634,9
3	532,5	5.000,0
4	584,2	5.485,5
5	506,8	4.759,2
6	508,9	4.778,8
7	564,1	5.297,1
Jumlah	3.688,5	34.634,9
Rata-rata	526,9	4.947,8

2) Prospek Pemanfaatan Energi Listrik dari Biogas

Berdasarkan data statistik Perusahaan Listrik Negara (PLN) tahun 2022, didapatkan bahwa total beban terpasang sebesar 22,27 MW dan beban puncak sistem Gorontalo sebesar 13,62 MW [23]. Dari data ini dapat dihitung faktor kebutuhan (*demand Faktor*) [24] konsumen listrik Gorontalo yakni.

$$df = \frac{\text{beban puncak}}{\text{beban terpasang}} = \frac{13,62}{22,27} = 0,612 = 61,2 \%$$

Hal ini berarti bahwa, faktor kebutuhan listrik masyarakat Gorontalo hanya 61,2 % dari beban terpasang. Jika diambil salah satu kelompok atau golongan konsumen listrik yakni 450 VA, dengan mengambil faktor beban sistem ($\cos \phi = 0,85$) maka 450 VA = 382,5 Watt. Jika faktor kebutuhan konsumen = 61,2 % maka pemakaian setiap hari pelanggan listrik 450 VA adalah sebesar 234,1 Watt. Dengan rata-rata potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dari biogas sampah organik TPA Talumelito sebesar 4.947,8 kWh perhari, maka energi listrik ini dapat dimanfaatkan oleh pelanggan dari golongan beban 450 VA adalah sebanyak 881 pelanggan.

Penelitian ini menunjukkan bahwa TPA Talumelito memiliki potensi produksi biogas rata-rata sebesar 825,5 m³ dan potensi energi listrik sebesar 4.947,8 kWh per hari. Dibandingkan dengan penelitian serupa di TPA Cilowong, Serang, potensi biogas yang dihasilkan dari sampah organik adalah sekitar 500 m³/hari, menghasilkan energi listrik yang cukup untuk 300 pelanggan rumah tangga per hari. Di tingkat internasional, studi di Afrika Selatan menemukan bahwa instalasi biogas skala rumah tangga menghasilkan rata-rata 1–2 m³/hari, dengan fokus pada kebutuhan lokal untuk memasak dan penerangan.

Beberapa faktor penting dalam produksi biogas:

- Kelembaban dan Temperatur: Temperatur optimal adalah 33–40°C, dengan kondisi anaerob yang ketat untuk mendukung aktivitas mikroba metanogenik. Temperatur yang terlalu rendah atau tinggi dapat menghambat proses fermentasi
- Rasio C/N: Rasio optimal adalah 10–30. Jika terlalu tinggi, produksi biogas menurun; jika terlalu rendah, produksi amonia meningkat, yang dapat menghambat proses
- pH: Proses optimal terjadi pada kisaran 6,5–8,5. Nilai di luar kisaran ini dapat memengaruhi aktivitas mikroba
- Substrat Organik: Sampah organik seperti limbah sayur, kotoran ternak, dan limbah pasar memiliki karakteristik yang mendukung produksi biogas.

Berikut adalah komponen-komponen yang dapat dijadikan oleh penelitian selanjutnya terkait analisis SWOT tentang potensi pemanfaatan biogas di TPA Talumelito

a) Strengths

- Sumber bahan baku melimpah: TPA Talumelito menerima 41.650 kg sampah organik per minggu.
- Teknologi tersedia: Proses pengelolaan menggunakan sistem sanitary landfill mendukung pengolahan biogas.
- Dukungan lingkungan: Energi biogas adalah energi terbarukan yang ramah lingkungan.

b) Weaknesses

- Efisiensi rendah: Hanya sekitar 7,1% dari total sampah di TPA yang organik.

- Keterbatasan infrastruktur: Instalasi biogas besar memerlukan investasi awal yang tinggi.
 - Kesadaran masyarakat rendah: Pengelolaan sampah organik masih minim di tingkat rumah tangga.
- c) Opportunities
- Permintaan energi meningkat: Dapat membantu memenuhi kebutuhan energi listrik di Gorontalo.
 - Regulasi energi terbarukan: Pemerintah mendukung inovasi energi ramah lingkungan.
 - Potensi untuk skala industri: Energi biogas dapat dimanfaatkan untuk operasional industri kecil.
- d) Threats
- Kompetisi energi: Pembangkit listrik tenaga surya dan angin dapat menjadi pesaing.
 - Fluktuasi kualitas sampah: Perubahan komposisi sampah organik dapat memengaruhi produksi biogas.
 - Ketergantungan teknologi: Pemeliharaan instalasi membutuhkan tenaga ahli yang memadai.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menyoroti potensi pemanfaatan sampah organik di TPA Talumelito sebagai sumber energi terbarukan melalui teknologi biogas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 41.650 kg sampah organik yang diolah per minggu, dapat dihasilkan rata-rata harian 825,6 m³ biogas, yang setara dengan 4.947,8 kWh energi listrik. Energi ini mampu memenuhi kebutuhan listrik 881 pelanggan rumah tangga dengan golongan beban 450 VA. Penelitian ini memiliki implikasi penting dalam mendukung pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan, terutama dengan memanfaatkan sampah organik sebagai sumber energi terbarukan di TPA Talumelito. Hasilnya menunjukkan potensi besar dalam mengurangi timbunan sampah dan emisi gas rumah kaca, sekaligus meminimalkan pencemaran lingkungan di sekitar TPA. Selain itu, kontribusi utama penelitian ini terletak pada kemampuannya menyediakan alternatif sumber energi listrik yang ramah lingkungan, yang dapat mendukung kebutuhan energi lokal di Provinsi Gorontalo. Lebih jauh, pemanfaatan biogas ini juga membuka peluang pemberdayaan sosial-ekonomi bagi masyarakat sekitar melalui pelatihan dan keterlibatan dalam pengelolaan instalasi biogas, sehingga memberikan manfaat holistik dalam aspek lingkungan, energi, dan pemberdayaan masyarakat. Rekomendasi: 1). Pengembangan Infrastruktur: Pemerintah daerah dan pihak terkait disarankan untuk membangun instalasi biogas yang lebih besar dan efisien di TPA Talumelito guna memaksimalkan potensi energi; 2). Peningkatan Pengelolaan Sampah Organik: Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pemilahan sampah organik di sumbernya melalui kampanye edukasi dan insentif; 3). Integrasi dengan Program Energi Terbarukan: Mengintegrasikan produksi biogas ke dalam sistem energi lokal untuk mendukung transisi energi terbarukan di Gorontalo; 4). Riset Lanjutan: Melakukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan proses produksi biogas, termasuk pengujian berbagai jenis substrat organik dan teknologi pengolahan yang lebih efisien; 5). Kolaborasi Multi-Stakeholder: Mendorong kerja sama antara pemerintah, institusi pendidikan, dan sektor swasta untuk mendukung investasi, teknologi, dan implementasi hasil penelitian. Pendekatan ini akan memperkuat pemanfaatan

biogas sebagai solusi energi berkelanjutan sekaligus mendukung tujuan pembangunan yang ramah lingkungan.

REFERENSI

- [1] M. A. Fitri dan T. K. Dhaniswara, "Pemanfaatan Kotoran Sapi dan Sampah Sayur pada Pembuatan Biogas dengan Fermentasi Sampah Sayuran," *Journal of Research and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 47-54, 2018.
- [2] F. Fatmah, "Analisis Pengelolaan Sampah Organik Pasar Lasi Tradisional Di Kecamatan Canduang Kabupaten Agam," *Menara Ilmu*, vol. 8, no. 2, pp. 60-69, 2019.
- [3] J. R. Izharsyah, "Analisis Strategis Pemko Medan dalam Melakukan Sistem Pengelolaan Sampah Berbasis Open Dumping Menjadi Sanitary Landfill," *Jurnal Ilmiahmuqoddimah: Jurnal IlmuSosial, Politik, dan Humaniora*, vol. 4, no. 2, pp. 109-117, 2020.
- [4] M. Defitri, "waste4change: Sanitary Landfill - Pengertian, Metode, Keuntungan dan Kerugiannya," 6 September 2022. [Online]. Available: <https://waste4change.com/blog/sanitary-landfill-pengertian-contoh-keuntungan-dan-kerugian/>. [Diakses 7 February 2024].
- [5] Kusnadi, "InfoPublik: Volume Sampah di Gorontalo Capai Hampir 4.000 Ton Per Hari," 23 February 2024. [Online]. Available: <https://infopublik.id/kategori/nusantara/828690/volume-sampah-di-gorontalo-capai-hampir-4-000-ton-per-hari>. [Diakses 29 February 2024].
- [6] Sudarti dan A. Hasanah, "Analisis Berbagai Sampah Organik Sebagai Energi Alternatif Biogas Terbarukan," *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, vol. 10, no. 2, pp. 174-183, 2022.
- [7] F. Rhohman, Nuryosuwito dan M. Sulthoon, "Analisa Matematis Hasil Biogas Dari Sampah Sayuran Berdasarkan Perbedaan Jumlah Bahan," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 4, no. 2, pp. 84-89, 2021.
- [8] E. H. Harun dan J. Ilham, "Analisis Potensi Sampah Organik Pasar Sentral Kota Gorontalo sebagai Bahan Baku Energi Biogas," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika.*, vol. 11, no. 1, pp. 113-127, 2023.
- [9] K. M. Nape, M. E. Moeletsi, P. M. Nakana dan M. I. Motesepo, "Introduction of household biogas digesters in rural farming households of the Maluti-a-Phofung municipality, South Africa," *Journal of Energy in Southern Africa*, vol. 30, no. 2, pp. 28-37, 2019.
- [10] F. Manta, K. D. Artika, D. Suanggana dan P. D. Tondok, "Analisis Campuran Substrat Kotoran Sapi Dan Limbah Organik Pasar Terhadap Produktivitas Biogas," *Elemen: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 31-39, 2022.
- [11] N. Afiah, Nurjannah dan U. Kalsum, "Pengaruh Rasio Limbah Sayuran dan Limbah Ikan terhadap Hasil Produksi Biogas," *Journal Technology Process (JTP)*, vol. 2, no. 2, pp. 24-31, 2022.
- [12] S. Noi, M. Jelínek dan H. Roubík, "Small-scale biogas plants in Vietnam: How are affected by policy issues?," *Ecological Questions*, vol. 33, no. 4, pp. 111-129, 2022.
- [13] D. Suanggana, A. Djafar dan G. Gunawan, "Analisis Pemanfaatan Energi Biogas Dari Campuran Limbah Kotoran Sapi Dan Kulit Durian Sebagai Energi Alternatif," *Jurnal Teknologi Terpadu*, vol. 8, no. 2, pp. 119-125, 2020.
- [14] S. Annur, W. Kusmasari, R. Wulandari dan Sumiati, "Pengembangan Biogas Dari Sampah Untuk Energi Listrik Dan Bahan Bakar Kompor Di Tpa Cilowong, Kota Serang, Provinsi Banten," *Jurnal Kuat: Keuangan dan Akuntansi Terapan*, vol. 2, no. 11, pp. 48-51, 2020.

- [15] T. Al Seadi, D. Rutz, H. Prassl, M. Köttner, T. Finsterwalder, S. Volk dan R. Janssen, *Biogas Handbook*, Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark, 2008.
- [16] U. Werner, U. Stöhr dan N. Hees, *Biogas plants in animal husbandry*, Deutschland: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1989.
- [17] E. H. Harun dan J. Ilham, "Technical and Economic Review of Biogas Utilization from Traditional Market Organic Waste," *IJMRA: International Journal Of Multidisciplinary Research And Analysis*, vol. 6, no. 10, pp. 4786-4793, 2023.
- [18] S. Kune, J. Ilham dan E. H. Harun, "Studi Nilai Kalor Briket Bioarang Dari Limbah Rumah Tangga Sebagai Sumber Energi Alternatif," *JVST: Jurnal Vokasi Sains dan Teknologi*, vol. 1, no. 2, pp. 23-28, 2022.
- [19] J. Ilham, Y. Mohamad dan I. Oktaviani, "Pengujian Biobriket Dari Limbah Kayu Sebagai Sumber Energi Alternatif," *JJEEE: Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 119-125, 2022.
- [20] N. A. Adistia, R. A. Nurdiansyah, J. Fariko, Vincent dan J. W. Simatupang, "Potensi Energi Panas Bumi, Angin, Dan Biomassa Menjadi Energi Listrik Di Indonesia," *TESLA*, vol. 22, no. 2, pp. 105-116, 2020.
- [21] M. Hasbi, Y. Gunawan, J. Delly, Kadir, A. Djohar, Samhuddin, N. Endriatno, A. Rachman dan L. Laome, "Analysis of Utilization of Electricity Renewed From Methane Gas Organic Waste Product," dalam *ICESSD 2019*, Jakarta, 2019.
- [22] B. Sørensen, *Renewable Energy Conversion, Transmission, and Storage*, Gilleleje: Academic Press, 2007.
- [23] PLN, "Statistik PLN," Juni 2023. [Online]. Available: <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2023/05/Statistik-PLN-2022-Final-2.pdf>. [Diakses 10 February 2024].
- [24] M. A. H. Saifuddin, I. A. Djufri dan M. N. Rahman, "Analisa Kebutuhan Daya Listrik Terpasang Pada Gedung Kantor Bupati Kabupaten Halmahera Barat," *Jurnal Protek*, vol. 5, no. 1, pp. 49-57, 2018.