

Analisis Potensi Sampah Organik Pasar Sentral Kota Gorontalo sebagai Bahan Baku Energi Biogas

ERVAN HASAN HARUN, JUMIATI ILHAM

Teknik Elektro Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia
Email ervanharun@ung.ac.id

Received 30 November 2022 | *Revised* 30 Desember 2022 | *Accepted* 6 Januari 2023

ABSTRAK

Pasar tradisional masih menjadi salah satu faktor penggerak ekonomi masyarakat di tengah-tengah maraknya sistem jual-beli online, tumbuhnya pasar modern, dan juga gerai waralaba. Penelitian ini dilakukan dalam rangka solusi penanganan masalah sampah organik yang dihasilkan dari transaksi jual-beli di pasar tradisional. Pendekatan yang dilakukan adalah memanfaatkan sampah organik sebagai sumber energi alternatif melalui proses fermentasi untuk menghasilkan gas metan. Metodologi gabungan (mix methode) digunakan dalam penelitian ini yakni pendekatan kuantitatif melalui pengukuran langsung di lapangan berdasarkan SNI Persampahan 19-3964-1994 dan pendekatan kualitatif digunakan untuk menganalisis kelayakan potensi sampah organik berdasarkan data kuantitatif. Hasil Penelitian didapatkan bahwa persentase timbulan sampah organik Pasar Sentral Kota Gorontalo adalah 74,23% sampah sayuran, 17,12% sampah buah dan 8,65% sampah ikan/daging yang dapat menghasilkan Biogas sebesar 838,60 m³ per bulan yang setara dengan energi listrik sebesar 5.115,84 kwh per bulan.

Kata kunci: *biogas, energi terbarukan, potensi, sampah pasar*

ABSTRACT

Traditional markets are still one of the factors driving the community's economy in the midst of the rise of online buying and selling systems, the growth of modern markets, and franchise outlets. This research was conducted in order to solve the problem of handling organic waste generated from buying and selling transactions in traditional markets. The approach taken is to utilize organic waste as an alternative energy source through a fermentation process to produce methane gas. The combined methodology (mix method) used in this research is a quantitative approach through direct measurements in the field based on SNI for Solid Waste 19-3964-1994 and a qualitative approach is used to analyze the feasibility of potential organic waste based on quantitative data. The results showed that the percentage of organic waste generated at the Central Market of Gorontalo City is 74.23% vegetable waste, 17.12% fruit waste and 8.65% fish/meat waste which can produce 838.60 m³ of biogas per month which is equivalent to energy. electricity of 5,115.84 kwh per month.

Keywords: *biogas, market trash, potency, renewable energy*

1. PENDAHULUAN

Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah juga didefinisikan sebagai bahan sisa yang tidak diinginkan pada akhir sebuah proses. Proses alami tidak menghasilkan sampah, tetapi hasil akhir yang sifatnya tidak bergerak. Sampah dapat berwujud padat, cair, maupun gas. Dilihat dari sumbernya, sampah terdiri atas sampah organik dan anorganik (**Kausar, dkk, 2016**) dan timnya.

Sampah adalah masalah yang hampir selalu ada di penjuru dunia, mulai dari sampah organik hingga sampah beracun dan membahayakan kehidupan manusia dan lingkungannya. Untuk itu, perlu dilakukan tindakan khusus dalam memerangi penumpukan sampah (**Fitri & Dhaniswara, 2018**). Masalah sampah menjadi masalah yang sangat penting dalam pelayanan infrastruktur perkotaan di Indonesia. Hanya sekitar 60% sampah kota di Indonesia yang dapat diangkut ke lokasi pengurangan yakni Tempat Pembuangan Akhir (TPA) (**Damanhuri & Padmi, 2010**). Kajian yang dilakukan dilakukan oleh (**Ferina & Wilujeng, 2012**) di pasar tradisional dan sentra makanan di wilayah Sidoarjo mengungkapkan bahwa 63,80% sampah yang dihasilkan di pasar dan sentra makanan dapat digunakan sebagai kompos, 7,39% dapat didaur ulang, dan 26,57% sebagai *Refuse Derived Fuel* (RDF).

Metode pengelolaan sampah seperti proses 3R (*reduce, reuse dan recycle*) dan pemilahan berdasarkan jenisnya masih kurang mendapat perhatian baik itu di perkantoran, sekolah dan pasar. Hasil penelitian yang dilakukan oleh (**Selintung, dkk, 2015**) dan timnya untuk mengetahui karakteristik persampahan dan bentuk pengelolaan persampahan serta prospek pengembangannya pada perkantoran di Kelurahan Paropo menunjukkan bahwa karakteristik sampah kering paling banyak (32,97 - 80,97%), sedangkan sampah basah paling sedikit (19,03 - 67,03%). Penelitian yang dilakukan oleh (**Fatmah, 2019**) telah berhasil menganalisis pengelolaan sampah organik tradisional pasar dan sampai pada kesimpulan bahwa pengelolaan sampah organik tidak dilaksanakan dengan baik di pasar Lasi, hal ini karena tidak adanya kepengurusan pasar Lasi sehingga tidak ada yang bertanggung jawab untuk mengelola sampah pasar. Pemanfaatan sampah sebagai sumber pupuk organik, seperti kompos maupun bahan pembuat biogas sudah pernah dilakukan oleh (**Romadhoni & Wesen, 2017**) yang menunjukkan bahwa hasil biogas tertinggi adalah komposisi 50 g sampah sayuran, 50 g kotoran sapi dalam waktu 5 hari diperoleh biogas yang memiliki rendemen tertinggi yakni 1:1.

Selain itu, (**Rahayu & Sukmono, 2013**) juga telah melakukan studi kemungkinan pemanfaatan sampah organik di pasar tradisional Pasar Segir Samarinda berdasarkan karakteristiknya. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa dalam sehari Pasar Segiri menghasilkan sampah 5,94 m³ dengan berat 1825,9 kg. Sampah yang mendominasi adalah sampah organik (78,26%) yang mudah terurai dan berpeluang untuk dilakukan komposting maupun diolah menjadi biogas. Pengolahan sampah organik menjadi biogas juga sudah dilakukan oleh (**Sutrisno, dkk, 2015**) dan timnya melalui kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat dan telah menghasilkan alat pengelolaan sampah organik menjadi biogas yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar pasar Angso Duo Jambi.

Berdasarkan kajian sistem pengelolaan sampah di pasar Pagesangan yang dilakukan oleh (**Wahyudin & Susane, 2018**), menunjukkan bahwa timbulan sampah per pedagang per hari berdasarkan berat sampah adalah 1,10 kg dan berdasarkan volume sampah adalah 6,43 liter. Sampah organik mendominasi timbulan sampah yakni 51,17% berdasarkan berat sampah, dan 52,63% berdasarkan volume sampah. Berbagai penelitian terkait pemanfaatan sampah organik telah dilakukan, namun sejauh ini penerapan hasil penelitian tersebut masih belum optimal. Penelitian yang dilakukan oleh (**Bayuseno, 2009**), mengenai Penerapan dan Pengujian Model Teknologi Anaerob Digester untuk Pengolahan Sampah Buah-buahan dari

pasar tradisional mendapatkan kesimpulan bahwa sampah organik buah mangga memiliki tingkat kuantitas metan serta potensi energi kalor yang cukup baik yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif bila diterapkan dalam skala yang lebih optimal.

Sampah sayuran yang sebagian besar hanya dibuang saja menjadi latar belakang penelitian yang dilakukan oleh **(Rohman, dkk, 2021)** dan timnya yang bertujuan untuk melihat persamaan matematis yang dihasilkan dari proses fermentasi biogas dari sampah sayuran berdasarkan perbedaan jumlah bahan. Penelitian yang bertujuan untuk menganalisis perbandingan jenis sampah organik sebagai energi alternatif biogas terbaru juga sudah pernah dilakukan oleh **(Sudarti, 2022)** menggunakan metode studi literatur dan berkesimpulan bahwa campuran sayuran diblender lebih baik dari pada dicacah untuk menghasilkan biogas. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh **(Afiah, dkk, 2022)** dan timnya telah mendapatkan kesimpulan bahwa volume biogas (ml) yang tertinggi terdapat dalam campuran limbah sayuran dan limbah ikan dengan perbandingan 3:1 di hari ke 10 yakni 161 ml, dan kadar metana (%) yang tertinggi terdapat dalam campuran limbah sayuran dan limbah ikan pada perbandingan 3:1 di hari ke 10 yakni 60.5%.

Pemanfaatan sampah organik sebagai bahan biogas juga sudah pernah dilakukan oleh **(Annur, dkk, 2020)** dan timnya dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang memanfaatkan sampah organik di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Cilowong dan telah berhasil membangun sebuah reaktor biogas dan berfungsi untuk keperluan penerangan listrik di lingkungan sekitar TPA. Dalam rangka menguji kualitas biogas yang dihasilkan dari instalasi biogas, **(Roubik, dkk, 2018)** dan timnya telah melakukan penelitian untuk mengevaluasi kualitas biogas dari instalasi biogas skala kecil. Hasil penelitian mereka menyimpulkan bahwa, instalasi biogas skala kecil mempertahankan tingkat kualitas biogas yang stabil selama masa hidupnya, yakni rata-rata kandungan metana (CH₄) adalah 65,44% dan karbon dioksida (CO₂) adalah 29,31% untuk reaktor biogas yang berusia di bawah lima tahun; dan CH₄ adalah 64,57% dan CO₂ adalah 29,93% untuk instalasi biogas yang lebih tua dari lima tahun.

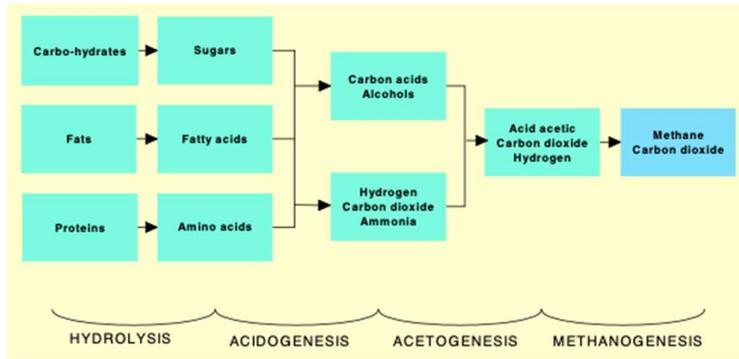
Dalam hal prospek pemanfaatan Biogas sebagai sumber energi alternatif, telah dilakukan penelitian oleh **(Kholiq & Muharom, 2015)** tentang Analisis Perencanaan Reaktor Biogas Kapasitas 16 m³. Analisa kelayakan ekonomi menunjukkan investasi layak dengan B/C Rasio 1,35 dan modal kembali pada tahun ke-4 (umur ekonomi digester 20 tahun). Pengembangan teknologi pengolahan sampah sebagai bahan baku biogas juga sudah pernah dilakukan oleh **(Ilham, dkk, 2017)** dan timnya, yang telah berhasil membuat reaktor biogas dengan tipe *fixed dome multi input*, namun hasil penelitian mereka masih berupa alat (*prototipe*) skala laboratorium untuk penggunaan modul praktikum, sedangkan dalam rangka meningkatkan produktivitas biogas **(Manta, dkk, 2022)** dan timnya telah melakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh campuran substrat kotoran sapi dan limbah organik pasar terhadap produktivitas biogas, dan mendapatkan kesimpulan bahwa produksi biogas dipengaruhi oleh kandungan substrat, semakin tinggi kadar kotoran sapi sebagai sumber bakteri pengurai, maka akan semakin tinggi kecepatan reaksi anaerob dan pada temperatur kerja optimum yaitu di atas 30°C, sehingga mampu meningkatkan produksi biogas.

Pemanfaatan biogas sebagai sumber energi alternatif juga sudah pernah dilakukan oleh **(Nape, dkk, 2019)**, dan timnya di kotamadya Maluti-a-Phofung, Provinsi Free State, Afrika Selatan yang bertujuan untuk memperkenalkan biogas sebagai sumber energi alternatif bagi peternak sapi pedesaan di wilayah itu. Hasil pemantauan mereka didapatkan bahwa dua pertiga rumah tangga, 80% kebutuhan memasak mereka terpenuhi pada musim panas, sementara pada musim dingin produksi biogas minimal karena cuaca yang sangat dingin.

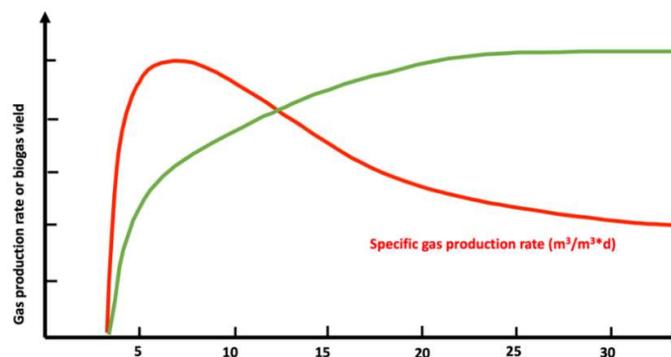
Terkait dengan kebijakan pemerintah dalam pemanfaatan biogas sebagai sumber energi alternatif, maka penelitian yang telah dilakukan oleh **(Noi, dkk, 2022)** dan timnya dapat dijadikan sebagai acuan pemerintah dalam membangun partisipasi masyarakat untuk beralih ke sumber energi terbarukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa instrumen kebijakan, seperti harga bahan bakar konvensional lainnya dan *feed-in-tariff*, mempengaruhi pembangkit biogas skala kecil ini ditunjukkan dengan adanya ribuan pembangkit biogas skala kecil telah dipasang karena kebijakan yang baik seperti Program Biogas Nasional Vietnam.

Kandungan utama biogas adalah gas metana (CH_4), gas karbon dioksida (CO_2), gas oksigen (O_2), gas hidrogen sulfida (H_2S), gas hidrogen (H_2), dan gas karbon monoksida (CO) **(Kausar, dkk, 2016)**, **(Ilham, dkk, 2017)**, dan **(Widyastuti dan Suyantara, 2017)**. Biogas ini dapat menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang dihasilkan melalui pencernaan anaerobik bahan organik baik itu kotoran hewan, limbah cair, maupun limbah padat. Teknologi biogas pada dasarnya menggunakan proses pencernaan bakteri metanogenik dengan hasil akhir (60%) berupa gas metana (CH_4), sedangkan sisanya didominasi oleh karbon dioksida (CO_2) **(Johnny, dkk, 2018)**.

Proses pembentukan biogas merupakan hasil dari tahapan yang saling terkait, yakni bahan biogas (sampah organik) terus diurai menjadi bagian yang lebih kecil. Mikroorganisme yang berasal dari kelompok tertentu terlibat dalam setiap tahapan ini yang berfungsi menguraikan produk dari setiap tahap atau proses sebelumnya. Proses terbentuknya biogas, ditunjukkan pada Gambar 1, yang terdiri atas empat tahapan proses utama yakni: 1) hidrolisis, 2) asidogenesis, 3) asetogenesis, dan 4) metanogenesis **(Al Seadi, 2008)**.



Gambar 1. Proses Pembentukan Biogas



Gambar 2. Waktu Retensi Hidraulik Rata-Rata (HRT) dalam Hari

Tahapan proses seperti pada Gambar 2 berjalan paralel dalam digester atau reaktor biogas. Tahap hidrolisis adalah proses yang menentukan kecepatan. Selama hidrolisis, jumlah biogas yang dihasilkan relatif kecil dan akan mencapai puncaknya selama proses metanogenesis. Aktivitas dan perkembangan mikroorganisme anaerob, secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi seperti kepadatan udara, suhu konstan, tingkat keasaman (pH), suplai makanan, intensitas pencampuran, dan keberadaan inhibitor (misalnya, amonia).

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses pembentukan biogas adalah:

1. Temperatur dan kondisi tahan udara

Instalasi pengolahan biogas harus dibuat hermetis/anaerob, karena proses fermentasi bahan organik untuk menghasilkan biogas dilakukan oleh mikroorganisme anaerob. Pembusukan atau degradasi anaerobik terjadi dengan baik antara 5°C sampai dengan 55°C. Pada suhu antara 5°C dan 40°C proses dekomposisi berlangsung sesuai dengan jenis bakteri mesofilik (cukup aktif). Ketika suhu antara 0°C dan 55°C, bakteri termofilik (bakteri sangat aktif) dapat menghancurkan bahan organik. Namun, kedua jenis bakteri tersebut dapat berfungsi optimal pada suhu sekitar 40°C. Proses pembentukan biogas dapat berlangsung pada tiga rentang temperatur yang berbeda seperti diberikan pada Tabel 1 (Al Seadi, 2008) dan (Werner, dkk, 1989).

Tabel 1. Hubungan antara Temperatur (HRT) dan Proses Pembentukan Biogas

<i>Thermal Stage</i>	<i>Process temperatures</i>	<i>Minimum retention time</i>
<i>psychrophilic</i>	< 20 °C	70 to 80 days
<i>mesophilic</i>	30 to 42 °C	30 to 40 days
<i>thermophilic</i>	43 to 55 °C	15 to 20 days

2. Nilai pH dan interval optimal

Nilai pH merupakan keasaman/kebasaan suatu larutan atau campuran substrat yang dinyatakan dalam bagian per juta (ppm). Pertumbuhan mikroorganisme metanogenik dipengaruhi oleh nilai pH dan juga pemisahan beberapa senyawa seperti amonia, sulfida, dan asam organik yang penting dalam proses pembentukan biogas. Pembentukan gas metan berlangsung dalam waktu yang relatif singkat pada kisaran pH sekitar 5,5 hingga 8,5. Kisaran optimal untuk sebagian besar metanogen 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. (Al Seadi, 2008).

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, butirrat, 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 metanogenik sangat sensitif terhadap penghambatan amonium. Konsentrasi amonia

bebas berbanding lurus dengan suhu, sehingga risiko penghambatan amonia dari proses pembentukan biogas yang beroperasi pada suhu termofilik lebih besar daripada pada suhu mesofilik.

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 mikroorganisme 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.

6. Rasio C/N

Rasio unsur karbon dan nitrogen (C/N) yang terkandung dalam bahan baku biogas (sampah organik) menentukan keberhasilan proses pembentukan biogas. Rasio C/N yang paling baik adalah antara 10 dan 30. Kandungan unsur C, N dan rasio C/N dari berbagai bahan baku organik dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

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

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

7. Kadar padatan/*total solid content*

Total padatan (TS) atau bahan kering (DM) mengacu pada jumlah padatan yang terkandung dalam bahan organik selama memasak dan menunjukkan tingkat kerusakan atau dekomposisi bahan limbah organik padat. Salah satu faktor yang dapat mengindikasikan terjadinya proses degradasi adalah jumlah total zat padat, karena zat padat tersebut diperoleh kembali selama dekomposisi material. Jumlah TS biasanya dilaporkan sebagai nilai konstan. Pada proses fermentasi sampah organik, bagian padat (TS) yang berubah menjadi fase gas selama fase pengasaman disebut Volatile Solid (VS) (**Al Seadi, 2008**).

Nilai-nilai/parameter kadar padatan, TS (kg), Gas yang dihasilkan (m^3), dan Energi listrik (kwh) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$TS = TS(\%) \times \text{bahan baku limbah organik (kg)} \quad (4)$$

$$\text{Gas (} m^3 \text{)} = TS \text{ (kg)} \times \text{produksi gas (} m^3 \text{)} \quad (5)$$

$$E \text{ (kwh)} = \text{Gas (} m^3 \text{)} \times \text{konversi biogas ke listrik} \quad (6)$$

8. *Hydraulic Retention Time* (HRT)

Periode waktu saat *input* masih berada di dalam digester dan proses penguraian oleh bakteri metanogen 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 (**Al Seadi, 2008**).

Dalam merancang digester atau reaktor biogas, ukuran biodigester dipengaruhi oleh kuantitas, kualitas, jenis bahan organik, dan temperatur proses fermentasi. Volume digester (VR) untuk bahan baku (padatan dan air) dapat dihitung menggunakan hubungan antara HRT dan volume

digester. HRT menjadi parameter penting dalam menentukan dimensi digester biogas sebagaimana diberikan dalam Persamaan (7) dan (8):

$$HRT = \frac{V_R}{V} \quad (7)$$

atau

$$V_R = V \times HRT \quad (8)$$

HRT : hydraulic retention time [hari]

VR : volume digester [m³]

V : volume substrat yang diumpankan per satuan waktu [m³/hari]

2. METODE

2.1 Pendekatan Penelitian

Metodologi pada penelitian ini adalah pendekatan gabungan antara kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan kuantitatif diterapkan dengan pengukuran langsung di lokasi berdasarkan SNI Persampahan 19-3964-1994 (**BSN, 1994**). Pendekatan kualitatif digunakan untuk menganalisis kelayakan potensi sampah organik berdasarkan data kuantitatif, dan juga untuk menganalisis penanganan sampah terkait pemisahan sampah sejak dari sumbernya.

2.2 Prosedur Penelitian

- 1) Tahap Perencanaan;
Menyiapkan dan merencanakan kegiatan yang akan dilakukan dan alat pengumpulan data yang akan digunakan.
- 2) Melakukan pengambilan data berdasarkan SNI Persampahan 19-3964-1994 dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. catat jumlah unit masing-masing penghasil sampah;
 - b. timbang berat bak pengukur (500 liter);
 - c. ambil sampah dari tempat pengumpulan sampah selanjutnya dimasukkan ke bak pengukur 500 liter;
 - d. hentak bak pengukur sebanyak 3 kali misalnya dengan mengangkat bak setinggi 20 cm, lalu dijatuhkan ke tanah;
 - e. ukur dan catat volume sampah (Vs);
 - f. timbang dan catat berat sampah (Bs);
- 3) Pengolahan dan Analisis Data.
 - a. Hitung kandungan unsur C, N dan rasio C/N menggunakan Persamaan (1), (2), dan (3) dan informasi yang ada pada Tabel 2.

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

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

$$\text{Rasio } \frac{C}{N} = \frac{\% C}{\% N}$$

Tabel 2. Rasio C/N Beberapa Bahan Organik

No	Bahan Organik	% C (kering)	% N (kering)	Rasio C/N	Kandungan Air (bahan segar)
1	Kotoran ternak sapi	30,0	1,70	18	80 – 85
2	Kotoran ternak kambing	83,6	3,80	22	75 – 80
3	Kotoran ternak burung	87,5	6,60	14	70 – 80
4	Kotoran ternak babi	76,0	3,80	20	70 – 80
5	Kotoran ternak kuda	33,4	2,30	15	75 – 80
6	Kotoran ternak angsa	54,0	2,00	27	80 – 85
7	Kotoran ternak merpati	50,0	2,00	25	70 – 80
8	Kotoran ternak unta	75,0	1,80	42	70 – 80
9	Kotoran ternak Gajah	60,0	1,30	46	70 – 85
10	Urine	15,0	15,00	1	90 – 95
11	Darah	36,0	12,00	3	90 – 95
12	Limbah ikan	56,0	7,00	8	55 – 75
13	Serbuk tulang	21,0	7,00	3	15 – 35
14	Limbah jagal hewan	64,0	8,00	8	55 – 75
15	Ekskremen manusia	48,0	6,00	8	75 – 80
16	Ekskremen manusia + Urine	70,0	7,00	10	80 – 85
17	Kulit kentang	37,5	1,5	25	50 – 70
18	Kertas koran	40,0	0,05	800	5 – 15
19	Rumput	48,0	4,00	12	40 – 60
20	Jerami padi	18,0	0,30	60	20 – 40
21	Tangkai dan daun padi	55,0	1,00	55	25 – 40
22	Tangkai kacang tanah	40,0	2,00	20	25 – 40
23	Tebu	45,0	0,30	150	25 – 40
24	Kol dan Kubis	43,0	3,60	12	40 – 50
25	Limbah sayuran	24,0	1,5	16	40 – 50
26	Pupuk kompos	42,0	3,00	14	75 – 80

- b. Hitung TS (kg), dan Gas yang dihasilkan (m³), menggunakan Persamaan (4), (5), dan juga informasi yang ada pada Tabel 3.

$$TS = TS(\%) \times \text{bahan baku limbah organik (kg)}$$

$$\text{Gas (m}^3\text{)} = TS \text{ (kg)} \times \text{produksi gas (m}^3\text{)}$$

Tabel 3. Rasio C/N, DM (%), VS (%) dan Biogas (m³/kg) Beberapa Bahan Baku Biogas

Jenis Bahan Baku	Rasio C/N	DM (%)	VS (% dari DM)	Biogas dihasilkan (m ³ /kg VS)
Kotoran ternak babi	3 – 10	3 – 8	70 – 80	0,25 – 0,5
Kotoran ternak sapi	6 – 20	5 – 12	80	0,2 – 0,3
Kotoran ternak unggas	3 – 10	10 – 30	80	0,35 – 0,6
Isi perut/usus	3 – 5	15	80	0,4 – 0,68
Whey (sisa susu)	-	8 – 12	90	0,35 – 0,8
Whey terkonsentrasi	-	20 – 25	90	0,8 – 0,95
Air kotor/limbah	4 – 10	1 – 5	80 – 95	0,35 – 0,78
Jerami	80 – 100	70 – 90	80 – 90	0,15 – 0,35
Sampah Pertanian	100 – 150	60 – 70	90	0,20 – 0,50
Rumput	12 – 25	20 – 25	90	0,55
Silase rumput	10 – 25	15 – 25	90	0,56
Sampah buah	35	15 – 20	75	0,25 – 0,50
Sisa makanan	-	10	80	0,50 – 0,60

Selanjutnya hitung potensi energi listrik (kwh) menggunakan Persamaan (6) dan juga informasi yang diberikan pada Tabel 4.

$$E \text{ (kwh)} = \text{Gas (m}^3) \times \text{konversi biogas ke listrik}$$

Tabel 4. Konversi Nilai Energi Biogas terhadap Sumber Bahan Bakar Lainnya

Bahan Bakar	Nilai Energi (MJ)	Biogas (m ³)	Gas Alam (m ³)	Solar (liter)	Bensin (liter)	Listrik (kwh)
1 m ³ Biogas	22,10	1,00	0,66	0,61	0,72	6,10
1 m ³ Gas Alam	33,50	1,52	1,00	0,93	1,10	9,30
1 liter Solar	36,00	1,63	1,07	1,00	1,18	10,00
1 liter Bensin	30,50	1,38	0,91	0,85	1,00	8,50
1 kwh Listrik	0,16	0,16	0,11	1,20	0,12	1,00

- c. Buat grafik hasil perhitungan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Volume Timbulan Sampah Organik Pasar Sentral Kota Gorontalo

Berdasarkan hasil pengukuran berat sampah, diperoleh data bahwa sampah organik dari jenis sayur mendominasi jumlah timbulan sampah yakni rata-rata 74,23%, selanjutnya sampah dari jenis buah 17,12%, dan sampah ikan/daging sebesar 8,65% seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Jumlah Sampah Organik Per Minggu dan Rata-Rata Per Hari

Minggu Ke-	Sayuran		Buah		Ikan / Daging		Total (kg)
	Jumlah (kg)	Per hari (kg)	Jumlah (kg)	Per hari (kg)	Jumlah (kg)	Per hari (kg)	
I	2311,70	330,24	520,90	74,41	254,10	36,30	3086,70
II	2340,35	334,34	542,00	77,43	264,00	37,71	3146,35
III	2309,80	329,97	543,50	77,64	280,00	40,00	3133,30
IV	2334,60	333,51	537,50	76,79	286,00	40,86	3158,10

3.2 Analisis Karakteristik Sampah Organik Pasar Sentral Kota Gorontalo

- 1) Kandungan unsur Carbon (%C) dan Nitrogen (%N)

Berdasarkan Tabel 5, jumlah timbulan sampah dari jenis sayuran pada minggu pertama adalah 2311,70 kg dan rata-rata timbulan per hari adalah 330,24 kg. Dengan menggunakan nilai-nilai pada Tabel 5 dan Persamaan (1) dan Persamaan (2) dapat dihitung parameter berikut:

$$\% C = 2311,70 \times 24 \% = 554,81$$

$$\% N = 2311,70 \times 1,5 \% = 34,68$$

Dengan cara yang sama dihitung %C, dan %N, untuk semua jenis bahan organik selama periode pengukuran/pengambilan data seperti diberikan pada Tabel 6 berikut ini:

Tabel 6. Kandungan C dan N Sampah Sayur, Buah, dan Ikan/Daging Pasar Sentral Kota Gorontalo

Minggu Ke-	Sayuran		Buah		Ikan / Daging	
	%C	%N	%C	%N	%C	%N
I	554,8	34,7	125,0	7,81	142,3	17,8
II	561,7	35,1	130,1	8,13	147,8	18,4
III	554,3	34,6	130,4	8,15	156,8	19,6
IV	560,3	35,0	129,0	8,06	160,2	20,0

2) Kadar padatan atau nilai TS

Kadar padatan dihitung menggunakan Persamaan (4) dan juga informasi yang diberikan pada Tabel 4. Untuk bahan organik sayuran dan buah %TS berdasarkan Tabel 4 adalah 15 – 20. Dengan menggunakan asumsi bahwa %TS adalah nilai tengah dari 15 dan 20 yakni 17,5 maka didapatkan kadar padatan untuk sayuran dan buah pada minggu pertama sebagai berikut:

$$\text{Sayur: } TS = 17,5 \% \times 2311,70 \text{ (kg)} = 404,55 \text{ kg}$$

$$\text{Buah: } TS = 17,5 \% \times 520,90 \text{ (kg)} = 91,16 \text{ kg}$$

Sedangkan untuk sampah organik yang berasal dari ikan/daging menggunakan nilai %TS sebesar 15%, maka kadar padatan untuk limbah ikan/daging didapatkan:

$$\text{Ikan/daging: } TS = 15 \% \times 254,10 \text{ (kg)} = 38,12 \text{ kg}$$

Dengan cara yang sama, maka kadar padatan atau total TS untuk semua bahan organik selama periode pengambilan data diberikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kadar padatan (kg) sampah organik pasar Sentral Kota Gorontalo

Minggu Ke-	Kadar Padatan (kg)		
	Sayuran	Buah	Ikan/Daging
I	404,55	91,16	38,12
II	409,56	94,85	39,60
III	404,22	95,11	42,00
IV	408,56	94,06	42,90
Rata-rata	404,55	91,16	38,12

3.3 Analisis Potensi Biogas Sampah Organik Pasar Sentral Kota Gorontalo Menjadi Energi Listrik

1) Produksi Biogas

Produksi gas dari pengolahan sampah/limbah organik yaitu sayuran, buah-buahan dan ikan/daging di Pasar Sentral Kota Gorontalo dihitung menggunakan Persamaan (5) dan juga didasarkan pada Tabel 4 tentang karakteristik dari beberapa bahan baku biogas. Berdasarkan Tabel 4, didapatkan bahwa setiap 1 kg kadar padatan untuk sayuran dan buah menghasilkan 0,25 – 0,50 m³ gas. Jika diambil nilai tengahnya maka dapat dihitung

potensi produksi biogas minggu pertama dari masing-masing jenis bahan baku sebagai berikut:

$$\text{Sayuran: Gas (m}^3\text{)} = 404,55 \text{ kg} \times 0,375 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 151,71 \text{ m}^3$$

$$\text{Buah: Gas (m}^3\text{)} = 91,16 \text{ kg} \times 0,375 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 34,18 \text{ m}^3$$

Sedangkan untuk ikan/daging, 1 kg kadar padatan dapat menghasilkan 0,4 – 0,68 m³ gas. Jika diambil nilai tengahnya maka dapat dihitung potensi produksi biogas minggu pertama dari jenis bahan baku ikan/daging sebagai berikut:

$$\text{Ikan/daging: Gas (m}^3\text{)} = 38,12 \text{ kg} \times 0,54 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 20,58 \text{ m}^3$$

Dengan cara yang sama, diperoleh produksi biogas dari sampah/limbah untuk semua jenis bahan baku yakni sayuran, buah, dan ikan/daging selama periode pengambilan data seperti diberikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Potensi biogas dari sampah organik pasar Sentral Kota Gorontalo

Minggu Ke-	Produksi Gas (m ³)			Jumlah
	Sayuran	Buah	Ikan/ Daging	
I	151,71	34,18	20,58	206,47
II	153,59	35,57	21,38	210,54
III	151,58	35,67	22,68	209,93
IV	153,21	35,27	23,17	211,65
Rata-rata	152,52	35,17	21,95	209,65

Dari Tabel 8 diperoleh bahwa potensi produksi biogas dalam setiap minggu rata-rata sebesar 209,65 m³. Jika dalam 1 bulan terdapat 4 minggu, maka dalam 1 bulan akan dapat diproduksi biogas sebanyak 4 x 209,65 m³ = 838,60 m³.

2) Potensi Energi Listrik

Berdasarkan Potensi Produksi Biogas, maka dapat dihitung potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari sampah organik yang ada di Pasar Sentral Kota Gorontalo dengan menggunakan Persamaan (6) dan informasi yang ada di Tabel 1 yakni sebagai berikut:

$$\text{Sayuran: } E \text{ (kwh)} = 151,71 \text{ m}^3 \times 6,10 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^3} = 925,40 \text{ kwh}$$

$$\text{Buah: } E \text{ (kwh)} = 34,18 \text{ m}^3 \times 6,10 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^3} = 208,52 \text{ kwh}$$

$$\text{Ikan/daging : } E \text{ (kwh)} = 20,58 \text{ m}^3 \times 6,10 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^3} = 125,55 \text{ kwh}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan potensi energi listrik yang bersumber dari sampah/limbah organik Pasar Sentral Kota Gorontalo seperti diberikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Produksi Energi Listrik dari Sampah Organik Pasar Sentral Kota Gorontalo

Minggu Ke-	Produksi Energi Listrik (kwh)			Jumlah
	Sayuran	Buah	Ikan/ Daging	
I	925,40	208,52	125,55	1259,48
II	936,87	216,97	130,44	1284,28
III	924,64	217,57	138,35	1280,56
IV	934,57	215,17	141,31	1291,05
Rata-rata	930,37	214,56	133,91	1278,84

Berdasarkan Tabel 9 didapatkan bahwa energi listrik yang dapat dihasilkan dari sampah organik Pasar Sentral Kota Gorontalo rata-rata per minggu adalah 1.278,84 kwh, atau setara dengan $4 \times 1.278,84 \text{ kwh} = 5.115,84 \text{ kwh}$ per bulan.

3.4 Prospek Pemanfaatan Energi Listrik dari Biogas di Pasar Sentral Kota Gorontalo

Berdasarkan Statistik PLN tahun 2021, didapatkan bahwa total beban terpasang adalah 22,27 MW dan beban puncak sistem Gorontalo sebesar 14,72 MW. Dari data ini dapat dihitung faktor kebutuhan (*demand factor*) konsumen listrik Gorontalo yakni **(PT. PLN, 2021)**:

$$df = \frac{\text{beban puncak}}{\text{beban terpasang}} = \frac{14,72}{22,27} = 0,661 = 66,1\%$$

Hal ini berarti bahwa, faktor kebutuhan energi listrik masyarakat Gorontalo hanya 66,1% dari beban terpasang. Jika diambil salah satu kelompok/golongan konsumen listrik yakni 450 VA, dengan asumsi bahwa faktor beban sistem ($\cos \phi = 0,8$) maka $450 \text{ VA} = 360 \text{ Watt}$. Jika faktor kebutuhan konsumen = 66,1% maka pemakaian daya setiap hari pelanggan listrik 450 VA adalah sebesar 237,96 watt. Dengan asumsi bahwa, sepanjang hari (24 jam) pelanggan menggunakan daya 237,96 watt, maka energi yang dikonsumsi selama satu bulan (720 jam) = $237,96 \times 720 \text{ jam} = 171,33 \text{ kwh}$ per bulan.

4. KESIMPULAN

Sampah organik Pasar Sentral Kota Gorontalo dari jenis sayuran mendominasi jumlah timbulan sampah yakni rata-rata 74,23%, selanjutnya sampah dari jenis buah 17,12%, dan sampah ikan/daging sebesar 8,65%. Kadar padatan rata-rata per hari adalah 404,55 kg untuk sampah sayuran, 91,16 kg untuk sampah buah, dan 38,12 kg untuk sampah ikan/daging. Potensi sampah ini dapat diolah menjadi Biogas dan menghasilkan Biogas per minggu sebesar 152,52 m³ dari sampah sayuran, 35,17 m³ dari sampah buah, dan 21,95 m³ dari sampah ikan/daging, dan secara keseluruhan sebanyak 209,65 m³ per minggu atau 838,60 m³ dalam 1 (satu) bulan. Energi listrik yang dapat dihasilkan dari sampah organik Pasar Sentral Kota Gorontalo rata-rata per minggu adalah 1.278,84 kwh, atau setara dengan $4 \times 1.278,84 \text{ kwh} = 5.115,84 \text{ kwh}$ per bulan. Dengan faktor kebutuhan energi listrik masyarakat Gorontalo yakni 66,1% dari beban terpasang, maka potensi energi listrik sebesar 5.115,84 kwh per bulan yang dihasilkan dari Biogas dapat dimanfaatkan oleh pelanggan listrik dari golongan beban 450 VA sebanyak 30 orang pelanggan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dari penulis kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Gorontalo atas pembiayaan penelitian terapan yang bersumber dari Dana BLU UNG Tahun 2022.

DAFTAR RUJUKAN

- Afiah, N., Nurjannah, dan Kalsum, U. (2022). Pengaruh Rasio Limbah Sayuran dan Limbah Ikan terhadap Hasil Produksi Biogas. *Journal of Technology Process*, 2(2), 24 – 31.
- Al Seadi, T. (2008). *Biogas Handbook*. ISBN 978-87-992962-0-0. University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark.
- Annur, S., Kusmasari, W., Wulandari, R., dan Sumiati. (2020). Pengembangan Biogas dari Sampah untuk Energi Listrik dan Bahan Bakar Kompor di TPA Cilowong, Kota Serang, Provinsi Banten. *Jurnal KUAT (Keuangan dan Akuntansi Terapan)*, 2(1), 48 – 51.
- Badan Standarisasi Nasional. (1994). *Standar Nasional Indonesia (SNI 19-3964-1994) - Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan*. Diambil dari https://www.nawasis.org/portal/download/digilib/265-SNI-1994_3964_19.pdf
- Bayuseno, Athanasius P. (2009). Penerapan dan Pengujian Model Teknologi Anaerob Digester untuk Pengolahan Sampah Buah-Buahan dari Pasar Tradisional. *ROTASI*, 11(2), 5 – 12.
- Damanhuri, E. dan Padmi, T. (2010). *Pengelolaan Sampah*. Diktat Kuliah TL-3104. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan. Institut Teknologi Bandung.
- Fatmah, F. (2019). Analisis Pengelolaan Sampah Organik Pasar Lasi Tradisional Di Kecamatan Canduang Kabupaten Agam. *MENARA Ilmu*, 8(2), 60 – 69.
- Ferina, R. R. dan Wilujeng, S. A. (2012). *Potensi Pengolahan Sampah Pasar Dan Sentra Makanan Di Kecamatan Sidoarjo Kabupaten Sidoarjo*. Program Studi Teknik Lingkungan, ITS. Diambil dari <https://adoc.pub/potensi-pengolahan-sampah-pasar-dan-sentra-makanan-di-kecama.html>.
- Fitri, M. A. dan Dhaniswara, T. K. (2018). Pemanfaatan Kotoran Sapi dan Sampah Sayur pada Pembuatan Biogas dengan Fermentasi Sampah Sayuran. *Journal of Research and Technology*, 4(1), 47 – 54.
- Ilham, J., Harun, E., dan Ridwan, W. (2017). Pengembangan dan Uji Kinerja Reaktor Biogas Tipe Fixed Dome Multi *Input*. *Jurnal Teknik*, 1412-8810 16(2).

- Johnny, A., Kumar, Y. T., and Rao, A. T. (2018). Investigation Study Of Biogas Production Using Catalyst. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 119(12), 15829 – 15839.
- Kausar, E., Notosudjono, D., dan Waryani. (2016). *Studi Evaluasi Pemanfaatan Sampah Menjadi Biogas Untuk Menghasilkan Energi Listrik*. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor. Diambil dari <https://jom.unpak.ac.id/index.php/teknikelektro/article/view/1005>.
- Kholiq, I. dan Muharom. (2015). Analisis Perencanaan Reaktor Biogas Kap 16 m³ dengan Pemanfaatan Kotoran Manusia. *JEMIS*, 3(2), 133 – 139.
- Manta, F., Artika, K. D., Suanggana, D., dan Tondok, P. D. (2022). Analisis Campuran Substrat Kotoran Sapi dan Limbah Organik Pasar Terhadap Produktivitas Biogas. *ELEMEN, Jurnal Teknik Mesin*, 9(1), 31 – 39.
- Nape, K. M., Moeletsi, M. E., Nakana, P. M., and Motesephe, M. I. (2019). Introduction of household biogas digesters in rural farming households of the Maluti-a-Phofung municipality, South Africa. *Journal of Energy in Southern Africa*, 30(2), 28 – 37.
- Noi, S., Jelínek, M., and Roubík, H. (2022). *Small-scale biogas plants in Vietnam: How are affected by policy issues?*. Ecological Questions 33(2022)4. Department of Sustainable Technologies, Faculty of Tropical AgriSciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 129, 165 00, Czech Republik.
- PT. PLN (Persero). (2021). *Statistik PLN 2021*. Diambil dari <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2022/03/Statistik-PLN-2021-Unaudited-21.2.22.pdf>
- Rahayu, D. E. dan Sukmono, Y. (2013). Kajian Potensi Pemanfaatan Sampah Organik Pasar berdasarkan Karakteristiknya (Studi Kasus Pasar Segiri Kota Samarinda). *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 5(2), 77 – 90.
- Rohman, F., Nuryosuwito, dan Shultoon, M. (2021). Analisa Matematis Hasil Biogas Dari Sampah Sayuran Berdasarkan Perbedaan Jumlah Bahan. *Jurnal Mesin Nusantara*, 4(2), 84 – 89.
- Romadhoni, H. A. dan Wesen, P. (2017). Pembuatan Biogas Dari Sampah Pasar. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(1), 59 – 64.
- Roubík, H., Mazancová, J., Dinh, P.L., Van, D. D., and Banout, J. (2018). Biogas Quality across Small-Scale Biogas Plants: A Case of Central Vietnam. *Energies*, 11(7), 1 – 12.

- Selintung, M., Rahim, I. R., dan Rombe, R. (2015). *Studi Pengelolaan Sampah Terpadu Di Tingkat Kelurahan Kota Makassar*. Teknik Sipil. Repository Universitas Hasanuddin. Diambil dari <https://core.ac.uk/outputs/77623913>.
- Sudarti, A.H. (2022). Analisis Berbagai Sampah Organik Sebagai Energi Alternatif Biogas Terbarukan. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 10 (2), 174 – 183.
- Sutrisno, Nelson, dan Sumarno, T. (2015). Pengolahan Sampah Organik Pasar Angso Duo Jambi Menjadi Biogas Bagi Masyarakat Sekitar. *Jurnal Pengabdian pada Masyarakat, UINISULA*, 30(3).
- Wahyudin dan Susane, H. (2018). Studi Sistem Pengelolaan Sampah Pasar di Pasar Tradisional Pagesangan Kota Mataram. *Jurnal AKRAB JUARA*, 3(2), 46 – 55.
- Widyastuti, S. dan Suyantara Y. (2017). Penambahan Sampah Sayuran Pada Fermentasi Biogas Dari Kotoran Sapi Dengan Starter EM4. *Jurnal Teknik WAKTU*, 15(1), 36 – 42.
- Werner, U., Stöhr, U., and Hees, N. (1989). *Biogas Plants in Animal Husbandry*. A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.