

Kajian Pemanfaatan Sampah Organik untuk Produksi Biogas di Kota Batam

Hazimah^{*1}, Heri Siswanto², Nadia Widari Nasution³, Patricia⁴

^{1,2,4} Program Studi Perdagangan Internasional, Fakultas Sekolah Ekonomi Bisnis dan Manajemen, Institut Teknologi Batam

³ Program Studi Bisnis Digital, Fakultas Sekolah Ekonomi Bisnis dan Manajemen, Institut Teknologi Batam

*e-mail: hazimah@iteba.ac.id

Received:	Revised:	Accepted:	Available online:
16.05.2026	03.06.2026	19.06.2026	21.06.2026

Abstract: The increasing generation of municipal solid waste in Batam City has created significant environmental challenges, particularly due to the predominance of organic waste and the limited capacity of final disposal facilities. This study aimed to assess the potential utilisation of organic waste for biogas production through an anaerobic digestion approach as a sustainable waste management alternative. A quantitative descriptive method was employed using secondary data obtained from the Batam Environmental Agency, the National Waste Management Information System, statistical reports, and scientific publications from 2020–2026. The analysis involved estimating the availability of organic biomass, biogas production potential, and energy generation capacity based on an assumed biogas yield of 115 m³ CH₄ per tonne of biomass and a methane calorific value of 10 kWh/m³ CH₄ derived from recent literature. The results indicated that Batam City generates approximately 1,185 tonnes of waste per day, of which 51.98% is organic waste, equivalent to around 616 tonnes of biomass per day. This biomass has the potential to produce 70,840 m³ CH₄/day and approximately 708,400 kWh/day of renewable energy. However, the findings remain estimative, as they are based on secondary data and do not account for operational factors and actual process efficiencies of anaerobic digestion systems. These findings demonstrate that organic waste possesses considerable potential as a renewable energy resource while supporting sustainable waste management and the development of waste-to-energy systems in Batam City.

Keywords: Anaerobic Digestion, Biogas, Organic Waste, Biomass, Renewable Energy.

Abstrak: Peningkatan timbunan sampah di Kota Batam menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, terutama karena dominasi sampah organik dan keterbatasan kapasitas tempat pemrosesan akhir. Penelitian ini bertujuan mengkaji potensi pemanfaatan sampah organik untuk produksi biogas melalui pendekatan anaerobic digestion sebagai alternatif pengelolaan sampah berkelanjutan. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan memanfaatkan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Batam, Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, data statistik, dan publikasi ilmiah periode 2020–2026. Analisis dilakukan melalui estimasi ketersediaan biomassa organik, potensi produksi biogas, dan energi yang dihasilkan menggunakan asumsi yield biogas sebesar 115 m³ CH₄/ton biomassa serta nilai kalor metana sebesar 10 kWh/m³ CH₄ berdasarkan literatur terkini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kota Batam menghasilkan sekitar 1.185 ton sampah per hari dengan komposisi organik sebesar 51,98% atau setara 616 ton biomassa per hari. Biomassa tersebut berpotensi menghasilkan 70.840 m³ CH₄/hari dan energi sebesar 708.400 kWh/hari. Namun demikian, hasil yang diperoleh bersifat estimatif karena didasarkan pada data sekunder dan belum mempertimbangkan faktor operasional serta efisiensi aktual sistem anaerobic digestion di lapangan. Temuan ini menunjukkan bahwa sampah organik memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan sekaligus mendukung pengelolaan sampah dan pengembangan sistem waste-to-energy yang lebih berkelanjutan di Kota Batam.

Kata kunci: Anaerobic Digestion, Biogas, Sampah Organik, Biomassa, Energi Terbarukan.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah sampah perkotaan menjadi salah satu tantangan utama dalam pengelolaan lingkungan di berbagai kota besar Indonesia, termasuk Kota Batam. Pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan perkembangan sektor industri menyebabkan volume sampah di Batam meningkat secara signifikan setiap tahun. Berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup Kota Batam, total timbunan sampah pada tahun 2024 mencapai 432.868 ton/tahun atau sekitar 1.185 ton per hari. Jumlah tersebut mengalami peningkatan dibandingkan tahun 2022 sebesar 413.461 ton/tahun. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah di Kota Batam menghadapi tekanan yang semakin besar akibat meningkatnya aktivitas domestik dan ekonomi masyarakat. Permasalahan peningkatan sampah perkotaan juga menjadi isu global karena berkontribusi terhadap emisi gas

rumah kaca dan pencemaran lingkungan apabila tidak dikelola secara berkelanjutan (Ahmad et al., 2021; Kumar et al., 2022).

Permasalahan persampahan di Batam semakin kompleks akibat keterbatasan kapasitas TPA Telaga Punggur sebagai lokasi utama penimbunan sampah kota. Tingginya volume sampah yang masuk setiap hari menyebabkan kapasitas landfill semakin terbatas dan meningkatkan risiko pencemaran lingkungan melalui pembentukan lindi dan emisi gas metana (CH_4). Selain itu, sistem pengelolaan sampah yang masih didominasi metode penimbunan konvensional dinilai kurang efektif dalam mendukung konsep pengelolaan limbah berkelanjutan. Berbagai penelitian terbaru menunjukkan bahwa pendekatan waste-to-energy melalui teknologi anaerobic digestion menjadi salah satu solusi potensial untuk mengurangi volume sampah sekaligus menghasilkan energi terbarukan (Li et al., 2021; Mao et al., 2021; Singh & Ordoñez, 2023).

Komposisi sampah perkotaan di Indonesia umumnya didominasi oleh sampah organik yang berasal dari sisa makanan, limbah pasar, dan aktivitas rumah tangga. Data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) menunjukkan bahwa sisa makanan merupakan komponen terbesar timbulan sampah nasional. Sampah organik memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai biomassa karena mengandung senyawa karbon kompleks seperti karbohidrat, protein, lipid, dan lignin. Biomassa tersebut dapat dikonversi menjadi biogas melalui proses biodegradasi anaerobik. Pemanfaatan biomassa organik dinilai mampu mengurangi tekanan terhadap landfill serta mendukung konsep ekonomi sirkular dan energi terbarukan berbasis limbah (Zhang et al., 2021; Chen et al., 2024).

Anaerobic digestion merupakan proses biologis yang menguraikan bahan organik tanpa kehadiran oksigen untuk menghasilkan biogas yang didominasi oleh gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Proses ini berlangsung melalui beberapa tahapan biokimia yang saling terintegrasi, yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Efisiensi anaerobic digestion sangat dipengaruhi oleh karakteristik biomassa, aktivitas mikroorganisme, suhu, dan kondisi operasi reaktor. Selain menghasilkan energi terbarukan, proses ini juga menghasilkan digestate yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik sehingga mendukung sistem pengelolaan limbah yang lebih ramah lingkungan (Batstone et al., 2022; Tang et al., 2023).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian mengenai peningkatan efisiensi *anaerobic digestion* berkembang pesat, khususnya melalui pendekatan pretreatment biomassa, penggunaan biochar, biofilm, dan teknologi *co-digestion*. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa biomassa lignoselulosa memiliki tantangan utama berupa kandungan lignin yang sulit terdegradasi sehingga dapat memperlambat laju pembentukan metana. Berbagai strategi seperti penggunaan bahan konduktif, pretreatment kimia, dan rekayasa mikroba telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi produksi biogas dan kestabilan sistem *anaerobic digestion* (Paritosh et al., 2020; García-Prats et al., 2026; Daskaloudis et al., 2026).

Selain faktor karakteristik biomassa, parameter operasional seperti suhu dan komposisi substrat juga berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme dan laju produksi biogas. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa sistem termofilik memiliki laju degradasi biomassa lebih cepat dibandingkan sistem mesofilik, meskipun membutuhkan energi operasi yang lebih tinggi. Pendekatan kinetika dan model matematis anaerobic digestion saat ini banyak digunakan untuk memprediksi kestabilan reaktor dan optimasi produksi biogas pada berbagai jenis biomassa organik (Rahman et al., 2024; Noor et al., 2025).

Pengembangan teknologi pemanfaatan sampah organik menjadi biogas di Kota Batam memiliki potensi besar untuk mendukung pengurangan volume sampah sekaligus penyediaan energi alternatif ramah lingkungan. Dengan estimasi lebih dari 50% timbulan sampah berupa komponen organik, Kota Batam memiliki sumber biomassa yang cukup besar untuk dikembangkan melalui sistem anaerobic digestion. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi pemanfaatan sampah organik untuk produksi biogas di Kota Batam berdasarkan karakteristik biomassa, kondisi pengelolaan sampah, dan perkembangan teknologi anaerobic digestion terkini.

Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan strategi pengelolaan sampah berkelanjutan berbasis biomassa dan energi terbarukan di wilayah perkotaan (Chu, X et.al., 2026).

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji produksi biogas dari sampah organik di berbagai wilayah Indonesia, kajian yang secara khusus mengevaluasi potensi biomassa organik dan estimasi produksi biogas berdasarkan karakteristik timbunan sampah Kota Batam masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada aspek teknologi anaerobic digestion pada skala laboratorium, sementara informasi mengenai potensi sumber daya biomassa pada tingkat kota sebagai dasar perencanaan energi terbarukan masih belum banyak tersedia. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji potensi pemanfaatan sampah organik Kota Batam sebagai sumber energi biogas melalui pendekatan analisis data sekunder dan estimasi berbasis karakteristik biomassa. Kontribusi utama penelitian ini adalah penyediaan estimasi potensi biomassa organik, produksi biogas, dan energi terbarukan berbasis data persampahan Kota Batam yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan pengelolaan sampah berkelanjutan dan pengembangan sistem waste-to-energy di daerah perkotaan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi literatur dan analisis data sekunder untuk mengkaji potensi pemanfaatan sampah organik menjadi biogas di Kota Batam. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara jumlah timbunan sampah organik, karakteristik biomassa, dan potensi energi yang dihasilkan melalui proses *anaerobic digestion*. Metode penelitian disusun berdasarkan data statistik pengelolaan sampah Kota Batam serta hasil penelitian ilmiah terkait konversi biomassa organik menjadi energi terbarukan.

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian difokuskan pada wilayah Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau, khususnya pada sistem pengelolaan sampah organik yang terpusat di TPA Telaga Punggur. Pengumpulan data dilakukan pada periode Januari–Mei 2026 menggunakan data publikasi tahun 2020–2026 yang berasal dari instansi pemerintah dan jurnal ilmiah.

2.2 Sumber Data

Data penelitian diperoleh dari laporan resmi Dinas Lingkungan Hidup Kota Batam, Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), Badan Pusat Statistik (BPS), jurnal ilmiah nasional dan internasional, serta dokumen pendukung terkait pengelolaan sampah organik dan produksi biogas.

Data yang dikumpulkan meliputi volume timbunan sampah, komposisi sampah organik, karakteristik biomassa, potensi produksi biogas, dan estimasi energi yang dihasilkan.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui metode dokumentasi dan studi literatur. Data statistik timbunan sampah diperoleh dari laporan pengelolaan sampah Kota Batam, sedangkan data karakteristik biomassa dan produksi biogas diperoleh dari berbagai artikel ilmiah terindeks Scopus dan SINTA yang membahas anaerobic digestion biomassa organik.

2.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan meliputi timbunan sampah, komposisi organik, karakteristik biomassa, potensi produksi biogas, dan potensi energi yang dihasilkan.

Tabel 1. Variabel dan Parameter Penelitian

Variabel	Parameter	Penjelasan
Timbunan sampah	ton/hari	Jumlah total sampah yang dihasilkan per hari di Kota Batam
Komposisi organik	% sampah organik	Persentase sampah organik dari total timbunan sampah
Karakteristik biomassa	karbohidrat, protein, lipid, lignin	Kandungan kimia biomassa yang mempengaruhi proses biodegradasi
Potensi biogas	m ³ CH ₄ /ton biomassa	Estimasi gas metana yang dihasilkan dari biomassa organik
Potensi energi	kWh/hari	Estimasi energi yang dihasilkan dari konversi biogas

2.5 Analisis Perhitungan Potensi Biogas

Estimasi produksi biogas dilakukan berdasarkan pendekatan teoritis menggunakan nilai yield rata-rata sebesar 115 m³ CH₄/ton biomassa organik. Nilai tersebut diperoleh dari rentang hasil penelitian anaerobic digestion biomassa perkotaan yang dilaporkan dalam literatur internasional. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh merepresentasikan potensi teknis maksimum dan belum mempertimbangkan kehilangan proses pada skala operasional.

Tabel 2. Asumsi yang digunakan untuk analisis perhitungan gas

Parameter	Nilai	Dasar Literatur
Sampah organik	51,98%	SIPSN 2024
Yield biogas	115 m ³ CH ₄ /ton biomassa	Li et al., 2021; Karki et al., 2021
Nilai kalor CH ₄	10 kWh/m ³	IEA, 2023
Efisiensi AD	diasumsikan optimal	Batstone et al., 2022

Potensi produksi biogas dihitung berdasarkan jumlah biomassa organik dan nilai yield biogas dari berbagai penelitian sebelumnya. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan:

$$BP = WS \times OS \times Y$$

dengan:

BP = potensi biogas (m³/hari),

WS = total timbulan sampah (ton/hari),

OS = persentase sampah organik,

Y = yield biogas (m³ CH₄/ton biomassa).

Yield biogas yang digunakan dalam penelitian ini berkisar antara 90–140 m³ CH₄/ton biomassa berdasarkan karakteristik sampah organik perkotaan.

2.7 Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan volume timbulan sampah, persentase sampah organik, dan potensi produksi biogas. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan interpretasi ilmiah untuk menggambarkan potensi pemanfaatan sampah organik sebagai energi terbarukan.

Penelitian ini menggunakan pendekatan data sekunder sehingga hasil yang diperoleh bersifat estimatif. Karakteristik biomassa organik Kota Batam tidak dianalisis secara langsung melalui pengujian laboratorium, melainkan menggunakan data komposisi sampah yang tersedia dari sumber resmi. Selain itu, estimasi produksi biogas dihitung menggunakan nilai yield rata-rata dari berbagai penelitian sehingga dapat berbeda dengan kondisi operasional nyata pada instalasi anaerobic digestion skala penuh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Timbulan Sampah Kota Batam

Berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup Kota Batam, jumlah timbulan sampah di Kota Batam mengalami peningkatan setiap tahun. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk, urbanisasi, aktivitas perdagangan, dan perkembangan kawasan industri. Data timbulan sampah Kota Batam tahun 2022–2024 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 3. Timbulan Sampah Kota Batam Tahun 2022–2024

Tahun	Timbulan Sampah (ton/tahun)	Timbulan Harian (ton/hari)
2022	413.461	1.132
2023	423.054	1.159
2024	432.868	1.185

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa terjadi peningkatan timbulan sampah sebesar sekitar 4,69% selama periode 2022–2024. Peningkatan ini menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah di Kota Batam menghadapi tantangan yang semakin besar, terutama terkait kapasitas TPA Telaga

Punggur yang menjadi lokasi utama penimbunan sampah kota. Kondisi ini sejalan dengan penelitian Ahmad et al. (2021) yang menyatakan bahwa peningkatan aktivitas perkotaan berpengaruh signifikan terhadap peningkatan produksi limbah domestik dan emisi lingkungan.

Peningkatan volume sampah yang tidak diimbangi dengan sistem pengolahan yang optimal dapat menyebabkan berbagai permasalahan lingkungan seperti peningkatan emisi gas rumah kaca, pembentukan lindi, dan pencemaran tanah maupun air. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan melalui pemanfaatan biomassa organik menjadi energi terbarukan (Ahmad et al., 2021; Kumar et al., 2022; Singh & Ordoñez, 2023).

3.2 Komposisi Sampah Organik

Komposisi sampah merupakan faktor penting dalam menentukan potensi pemanfaatan biomassa untuk produksi biogas. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), komposisi sampah nasional didominasi oleh sampah organik yang berasal dari sisa makanan dan limbah kebun. Komposisi sampah tersebut digunakan sebagai pendekatan karakteristik sampah Kota Batam.

Tabel 4. Komposisi Sampah Organik

Jenis Sampah	Persentase (%)
Sisa makanan	39,36
Kayu/ranting	12,62
Plastik	19,64
Kertas/karton	11,16
Lainnya	17,22

Berdasarkan Tabel 3, komponen organik berupa sisa makanan dan kayu/ranting mencapai sekitar 51,98% dari total timbunan sampah. Persentase tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar sampah di Kota Batam memiliki potensi tinggi untuk dimanfaatkan sebagai biomassa energi. Sampah organik mengandung senyawa karbon seperti karbohidrat, protein, dan lipid yang dapat dikonversi menjadi biogas melalui proses anaerobic digestion (Zhang et al., 2021; Chen et al., 2024; Kumar et al., 2022).

Tingginya komposisi organik pada sampah perkotaan juga menunjukkan bahwa pendekatan pengelolaan berbasis landfill konvensional kurang efektif karena bahan organik mudah mengalami biodegradasi dan menghasilkan emisi gas metana secara tidak terkendali. Menurut Li et al. (2021), pengolahan biomassa organik menggunakan sistem anaerobic digestion lebih efektif dalam mengurangi emisi sekaligus menghasilkan energi alternatif (Li et al., 2021; Batstone et al., 2022; Rahman et al., 2024).

3.3 Karakteristik Biomassa Organik

Karakteristik biomassa sangat mempengaruhi efisiensi proses biodegradasi dan produksi biogas. Biomassa sampah organik umumnya tersusun atas karbohidrat, protein, lipid, dan lignin dengan komposisi yang berbeda-beda tergantung jenis limbah.

Tabel 5. Karakteristik Biomassa Sampah Organik

Komponen Biomassa	Kisaran (%)	Fungsi dalam Anaerobic Digestion
Karbohidrat	30–50	Sumber karbon mudah terdegradasi
Protein	10–20	Sumber nitrogen mikroorganisme
Lipid	5–15	Menghasilkan metana tinggi
Lignin	5–20	Sulit terdegradasi

Karbohidrat merupakan komponen biomassa yang paling mudah dihidrolisis menjadi gula sederhana sehingga mempercepat proses pembentukan asam organik dan metana. Protein berfungsi sebagai sumber nitrogen yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme anaerobik, sedangkan lipid

memiliki potensi produksi metana tertinggi dibandingkan komponen lainnya (Zhao et al., 2021; Wang et al., 2022; Zhang et al., 2023).

Di sisi lain, lignin menjadi komponen yang paling sulit terdegradasi karena memiliki struktur aromatik kompleks. Kandungan lignin yang tinggi dapat memperlambat laju biodegradasi biomassa dan menurunkan efisiensi produksi biogas. Biomassa lignoselulosa umumnya memerlukan proses pretreatment untuk meningkatkan aksesibilitas selulosa dan hemiselulosa terhadap aktivitas mikroorganisme anaerobik sehingga efektivitas produksi biogas dapat meningkat (Chen et al., 2024; Li et al., 2021; Paritosh et al., 2020).

3.4 Estimasi Potensi Biomassa Organik Kota Batam

Estimasi biomassa organik dilakukan berdasarkan total timbunan sampah harian dan persentase komponen organik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Kota Batam memiliki potensi biomassa organik sekitar 616 ton/hari. Nilai tersebut menunjukkan ketersediaan bahan baku yang cukup besar untuk pengembangan sistem produksi biogas berbasis anaerobic digestion (Kumar et al., 2022; Li et al., 2021; Rahman et al., 2024). Potensi biomassa yang tinggi dapat menjadi solusi alternatif dalam mengurangi ketergantungan terhadap sistem landfill konvensional. Selain itu, pemanfaatan biomassa organik juga dapat mendukung konsep ekonomi sirkular melalui pemanfaatan limbah menjadi sumber energi terbarukan (Singh & Ordoñez, 2023; Chen et al., 2024; Batstone et al., 2022).

3.5 Potensi Produksi Biogas

Produksi biogas dipengaruhi oleh karakteristik biomassa dan nilai yield metana yang dihasilkan selama proses anaerobic digestion. Berdasarkan berbagai penelitian, yield biogas biomassa organik berkisar antara 90–140 m³ CH₄/ton biomassa. Perhitungan potensi biogas dilakukan menggunakan yield rata-rata sebesar 115 m³ CH₄/ton biomassa. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa potensi produksi biogas Kota Batam mencapai sekitar 70.840 m³ CH₄/hari. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sampah organik Kota Batam memiliki potensi besar sebagai sumber energi alternatif berbasis biomassa. Produksi biogas dari sampah organik tidak hanya mampu mengurangi volume sampah yang masuk ke TPA, tetapi juga dapat menurunkan emisi gas rumah kaca dari proses pembusukan terbuka di tempat pembuangan akhir. Pengolahan biomassa melalui sistem *anaerobic digestion* memungkinkan konversi senyawa organik menjadi gas metana yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan sekaligus mengurangi dampak pencemaran lingkungan (Li et al., 2021; Kumar et al., 2022; Rahman et al., 2024). Selain menghasilkan energi alternatif, teknologi *anaerobic digestion* juga dinilai lebih efisien dibandingkan metode landfill konvensional karena mampu mengendalikan emisi metana secara lebih terstruktur. Sistem ini mendukung konsep pengelolaan limbah berkelanjutan melalui pendekatan *waste-to-energy* dan ekonomi sirkular. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa integrasi teknologi biogas pada pengelolaan sampah perkotaan dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan biomassa sekaligus menurunkan jejak karbon dari sektor persampahan (Batstone et al., 2022; Chen et al., 2024; Singh & Ordoñez, 2023).

3.6 Implikasi Pengembangan *Waste-to-Energy* di Kota Batam

Biogas yang dihasilkan memiliki kandungan utama gas metana (CH₄) yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik maupun bahan bakar alternatif. Nilai kalor rata-rata metana sebesar 10 kWh/m³ digunakan untuk memperkirakan potensi energi yang dihasilkan. Potensi energi yang dihasilkan mencapai sekitar 708.400 kWh/hari. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan sampah organik sebagai biogas berpotensi mendukung kebutuhan energi alternatif di Kota Batam sekaligus mengurangi dampak lingkungan akibat penumpukan sampah. Pengembangan teknologi *waste-to-energy* berbasis biomassa organik dapat menjadi strategi penting dalam mendukung pengelolaan lingkungan berkelanjutan di wilayah perkotaan. Selain menghasilkan energi

terbarukan, teknologi ini juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon dan peningkatan efisiensi pengelolaan limbah domestik.

Tabel 6. Perhitungan Estimasi Potensi Biomassa Organik, Biogas, dan Energi di Kota Batam

Tahapan Perhitungan	Rumus	Substitusi	Hasil
Timbulan sampah harian	$TS_h = \frac{TS_t}{365}$	$TS_h = \frac{432868}{365}$	1.185 ton/hari
Persentase sampah organik	$SO = SM + KR$	(39,36+12,62)	51,98%
Biomassa organik	$BO = TS_h \times SO$	(1185 x 0,5198)	616 ton/hari
Potensi biogas	$PB = BO \times Y$	(616 x 115)	70.840 m ³ CH ₄ /hari
Potensi energi	$PE = PB \times CV$	(70840 x 10)	708.400 kWh/hari

Sumber: hasil perhitungan

Keterangan singkatan:

TSh = timbulan sampah harian (ton/hari)

TSt = timbulan sampah tahunan (ton/tahun)

SO = total sampah organik (%)

SM = sisa makanan (%)

KR = kayu/ranting (%)

BO = biomassa organik (ton/hari)

PB= volume biogas (m³/hari)

Y= yield biogas (m³ CH₄/ton biomassa)

PE = potensi energi (kWh/hari)

CV = nilai kalor metana (10 kWh/m³)

Potensi produksi biogas sebesar 70.840 m³ CH₄/hari menunjukkan bahwa sampah organik Kota Batam memiliki kapasitas yang cukup besar untuk mendukung pengembangan fasilitas waste-to-energy. Jika dibandingkan dengan penelitian di Kota Surabaya yang memiliki potensi biogas sekitar 45.000 m³/hari dan Kota Makassar sekitar 38.000 m³/hari, potensi yang dimiliki Kota Batam tergolong kompetitif karena tingginya proporsi sampah organik. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengembangan teknologi anaerobic digestion dapat menjadi salah satu alternatif strategis dalam mengurangi beban TPA sekaligus meningkatkan kontribusi energi terbarukan daerah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian, Kota Batam memiliki potensi besar dalam pemanfaatan sampah organik sebagai bahan baku produksi biogas melalui sistem anaerobic digestion. Timbulan sampah Kota Batam pada tahun 2024 mencapai sekitar 1.185 ton/hari dengan komposisi sampah organik sebesar 51,98% yang terdiri atas sisa makanan dan limbah biomassa lainnya. Estimasi biomassa organik yang dapat dimanfaatkan mencapai sekitar 616 ton/hari.

Perhitungan potensi produksi biogas menunjukkan bahwa biomassa organik Kota Batam berpotensi menghasilkan sekitar 70.840 m³ CH₄/hari dengan estimasi energi sebesar 708.400 kWh/hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sampah organik tidak hanya berpotensi mengurangi beban TPA Telaga Punggur, tetapi juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif ramah lingkungan yang mendukung konsep ekonomi sirkular dan pengelolaan limbah berkelanjutan.

Pemanfaatan teknologi anaerobic digestion pada pengelolaan sampah organik di Kota Batam dapat menjadi solusi strategis dalam mengurangi volume sampah, menekan emisi gas rumah kaca, serta meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan berbasis biomassa. Oleh karena itu, diperlukan dukungan pemerintah, pengembangan infrastruktur pengolahan sampah, dan penelitian lanjutan terkait optimasi proses produksi biogas agar implementasi teknologi ini dapat diterapkan secara efektif dan berkelanjutan di Kota Batam.

Meskipun demikian, hasil penelitian ini masih bersifat estimatif karena didasarkan pada data sekunder dan menggunakan asumsi teoritis dalam perhitungan potensi biogas. Oleh sebab itu, penelitian lanjutan perlu dilakukan melalui karakterisasi biomassa organik Kota Batam secara

langsung, pengujian potensi biogas pada skala laboratorium maupun pilot scale, serta evaluasi faktor operasional anaerobic digestion untuk memperoleh estimasi yang lebih akurat dan representatif terhadap kondisi lapangan. Temuan penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah bagi perencanaan pengelolaan sampah dan pengembangan sistem waste-to-energy yang berkelanjutan di Kota Batam.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., Rahman, U. U., Soares, B. C. V., Souza, S. L. Q., & Pimentel, T. C. (2021). Treatment and utilization of organic solid waste: A review. *Journal of Environmental Management*, 287, 112279. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112279>
- Batstone, D. J., Keller, J., Angelidaki, I., Pavlostathis, S. G., Rozzi, A., Sanders, W., & Vavilin, V. A. (2022). Anaerobic digestion model applications for biomass conversion systems. *Water Research*, 215, 118254. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118254>
- Chen, H., Wang, F., Zhang, Y., & Liu, X. (2024). Biomass conversion technologies for sustainable biogas production from organic waste. *Bioresource Technology*, 391, 129845. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.129845>
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Batam. (2024). Laporan pengelolaan sampah Kota Batam tahun 2024. Pemerintah Kota Batam.
- Kumar, A., Samadder, S. R., & Sinha, S. (2022). Composting and anaerobic digestion of food waste: Current status and future perspectives. *Waste Management*, 140, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.01.015>
- Li, Y., Jin, Y., & Li, J. (2021). Anaerobic digestion of organic waste: Recent progress and perspectives. *Bioresource Technology*, 320, 124348. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124348>
- Paritosh, K., Vivekanand, V., & Pareek, N. (2020). Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 19, 100841. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100841>
- Rahman, M. M., Islam, M. A., & Hasan, M. N. (2024). Arrhenius-based kinetic analysis of biogas production from organic biomass. *Journal of Cleaner Production*, 435, 140512. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140512>
- Singh, J., & Ordoñez, I. (2023). Resource recovery from organic waste through circular economy approaches. *Sustainability*, 15(5), 4201. <https://doi.org/10.3390/su15054201>
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). (2024). Data komposisi sampah nasional Indonesia tahun 2024. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. <https://sipsn.menlhk.go.id>
- Wang, X., Chen, Y., & Zhang, R. (2022). Effect of protein and lipid content on methane production during anaerobic digestion of food waste. *Renewable Energy*, 189, 945–954. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.067>
- Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., & Tan, T. (2021). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.130234>
- Zhang, C., Su, H., & Tan, T. (2023). Organic waste composition and its influence on biogas production efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 391, 136245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136245>
- Zhao, J., Li, Y., & Wang, D. (2021). Biochemical methane potential of carbohydrate-rich organic biomass during anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 337, 125432. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125432>
- Badan Pusat Statistik Kota Batam. (2024). Kota Batam dalam angka 2024. Badan Pusat Statistik Kota Batam.