

## Analisis Potensi Sampah di Provinsi Sumatera Utara Menjadi Sumber Energi Listrik Alternatif (Biogas)

Syafrida Hanum Hutasuhut<sup>1</sup>, Mawardi<sup>2</sup>, Yoga Tri Nugraha<sup>3\*</sup>, Sari Novalianda<sup>4</sup>, Arif Milando Setiawan<sup>5</sup>, Ahmad Arif<sup>6</sup>, Resep Sembiring<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Al-Azhar Medan, Medan, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Al-Azhar Medan, Medan, Indonesia

<sup>3,4,5,6</sup> Program Studi Teknik Elektro, Universitas Al-Azhar Medan, Medan, Indonesia

<sup>7</sup> Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Immanuel, Medan, Indonesia

<sup>1</sup> syahnaasa@yahoo.co.id, <sup>2</sup> mawardi.ipc@gmail.com, <sup>3\*</sup> yogatrinugraha@alazhar-university.ac.id,

<sup>4</sup> sari\_novalianda@yahoo.com, <sup>5</sup> arifmilando@gmail.com, <sup>6</sup> ahmadarifstmt@gmail.com,

<sup>7</sup> resep.sembiring@gmail.com

\*) yogatrinugraha@alazhar-university.ac.id

**Abstrak**– Provinsi Sumatera Utara menghadapi tantangan yang signifikan dalam pengelolaan sampah akibat peningkatan populasi dan aktivitas ekonomi. Sebagian besar sampah yang dihasilkan adalah sampah organik yang memiliki potensi besar untuk diubah menjadi sumber energi alternatif melalui teknologi biogas. Penelitian ini menganalisis potensi sampah organik di Sumatera Utara sebagai sumber energi listrik alternatif, dengan fokus pada proses konversi sampah menjadi biogas melalui fermentasi anaerobik. Hasil analisis menunjukkan bahwa pemanfaatan biogas dari sampah organik dapat menghasilkan energi listrik. Potensi energi listrik yang dihasilkan dari pengkonversian sampah menjadi biogas pada tahun 2020 sebesar 25.14 MW, pada tahun 2021 sebesar 30.25 MW, pada tahun 2022 sebesar 65.74 MW, dan pada tahun 2023 sebesar 70.86 MW.

**Kata Kunci:** Potensi Sampah; Biogas; Konversi Energi; Listrik

**Abstract**– North Sumatra Province faces significant challenges in waste management due to increasing population and economic activity. Most of the waste produced is organic waste which has great potential to be converted into alternative energy sources through biogas technology. This research analyzes the potential of organic waste in North Sumatra as an alternative source of electrical energy, with a focus on the process of converting waste into biogas through anaerobic fermentation. The analysis results show that the use of biogas from organic waste can produce electrical energy. The potential for electrical energy produced from converting waste into biogas in 2020 is 25.14 MW, in 2021 it is 30.25 MW, in 2022 it is 65.74 MW, and in 2023 it is 70.86 MW.

**Keywords:** Potential Waste; Biogas; Energy conversion; Electrical

### 1. PENDAHULUAN

Masalah sampah merupakan salah satu isu lingkungan yang sangat mendesak di banyak wilayah, termasuk Provinsi Sumatera Utara. Pertumbuhan populasi dan peningkatan aktivitas ekonomi telah mengakibatkan peningkatan volume sampah yang dihasilkan setiap harinya[1]. Sampah yang tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan berbagai masalah lingkungan, kesehatan, dan sosial[2]. Provinsi Sumatera Utara, dengan ibukota Medan sebagai pusatnya, merupakan salah satu provinsi yang mengalami pertumbuhan populasi yang signifikan. Pertumbuhan ini diiringi dengan peningkatan aktivitas ekonomi, urbanisasi, dan perubahan pola konsumsi masyarakat[3]. Akibatnya, volume sampah yang dihasilkan juga mengalami peningkatan yang cukup signifikan setiap tahunnya. Menurut data dari Dinas Lingkungan Hidup Sumatera Utara, jumlah sampah yang dihasilkan mencapai ribuan ton per hari, dengan proporsi terbesar berasal dari sampah organik[4].

Sampah organik, yang mencakup sisa makanan, limbah pertanian, dan limbah ternak, merupakan bagian terbesar dari total sampah yang dihasilkan[5]. Pengelolaan sampah organik yang kurang optimal dapat menimbulkan berbagai masalah, seperti pembusukan sampah organik yang tidak dikelola dengan baik dapat menghasilkan gas rumah kaca seperti metana (CH<sub>4</sub>)[6] dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), yang berkontribusi terhadap

perubahan iklim, sampah yang menumpuk dan tidak dikelola dengan baik dapat menjadi sarang penyakit dan menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat sekitar, dan pembusukan sampah organik dapat menghasilkan bau yang tidak sedap, yang dapat mengganggu kenyamanan masyarakat.

Di balik tantangan tersebut, sampah organik memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif, khususnya melalui produksi biogas. Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerob (tanpa oksigen) bahan organik oleh mikroorganisme. Komponen utama biogas adalah metana ( $\text{CH}_4$ ), yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk berbagai keperluan, seperti memasak, penerangan, dan pembangkit listrik[7].

## 2. METODE PENELITIAN

Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan oleh aktivitas bakteri metanogenik pada bahan organik dalam kondisi anaerobik (tanpa oksigen)[8]. Komponen utama biogas adalah metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), dengan metana sebagai komponen yang paling bernilai karena sifatnya yang mudah terbakar dan dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif[9][10]. Proses produksi biogas dari sampah organik melibatkan beberapa tahap utama:

1. Pengumpulan dan Pemilahan Sampah: Sampah organik dikumpulkan dan dipilah untuk memastikan hanya bahan yang dapat terdegradasi secara biologis yang masuk ke dalam proses fermentasi.
2. Penghancuran dan Pengenceran: Sampah organik dihancurkan menjadi partikel kecil dan dicampur dengan air untuk memudahkan proses fermentasi.
3. Fermentasi Anaerob: Campuran sampah organik dimasukkan ke dalam digester anaerobik, di mana mikroorganisme akan menguraikan bahan organik dan menghasilkan biogas. Proses ini biasanya berlangsung selama beberapa minggu.
4. Pemurnian Biogas: Biogas yang dihasilkan mengandung kotoran dan gas lain yang tidak diinginkan. Proses pemurnian diperlukan untuk menghilangkan kotoran tersebut dan meningkatkan kandungan metana dalam biogas.
5. Penggunaan Biogas: Biogas yang telah dimurnikan dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk keperluan rumah tangga, industri, atau pembangkit listrik.

### 2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSampah) thermal dengan gasifikasi adalah teknologi yang memanfaatkan sampah sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik melalui proses termal dan gasifikasi dapat dilihat pada gambar 1. Proses ini mengubah sampah menjadi gas yang dapat dibakar untuk menghasilkan listrik. Gasifikasi adalah teknologi yang mengubah bahan organik atau bahan bakar berbasis karbon menjadi gas sintesis (syngas) yang terdiri dari hidrogen ( $\text{H}_2$ ), karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), dan metana ( $\text{CH}_4$ ). Tahapan Proses Gasifikasi adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan dan Pemilahan Sampah: Sampah dikumpulkan dan dipilah untuk memisahkan bahan organik yang dapat diolah dari bahan yang tidak dapat diolah. Proses ini memastikan bahwa hanya bahan yang sesuai untuk gasifikasi yang digunakan.
2. Pengeringan dan Penghancuran: Sampah yang telah dipilah dikeringkan untuk mengurangi kadar airnya dan dihancurkan menjadi partikel kecil untuk mempermudah proses gasifikasi.
3. Gasifikasi:
  - a. Pengumpanan: Sampah kering dan hancur dimasukkan ke dalam reaktor gasifikasi.
  - b. Pirolisis: Sampah dipanaskan pada suhu tinggi dalam kondisi minim oksigen, yang menyebabkan bahan organik terurai menjadi char (arang), tar (minyak berat), dan gas volatil.
  - c. Oksidasi: Char dan gas volatil dioksidasi sebagian dengan jumlah oksigen yang terbatas untuk menghasilkan panas dan gas sintesis (syngas). Oksidasi ini menghasilkan suhu tinggi yang cukup untuk mempertahankan reaksi gasifikasi.
  - d. Reduksi: Gas yang dihasilkan dari tahap oksidasi, terutama karbon monoksida dan hidrogen, kemudian mengalami reaksi reduksi dengan char yang tersisa untuk menghasilkan lebih banyak syngas.
4. Pembersihan dan Pemurnian Syngas: Gas sintesis yang dihasilkan dari proses gasifikasi biasanya mengandung kotoran seperti partikel padat, tar, dan senyawa sulfur. Gas ini dibersihkan melalui berbagai tahap pemurnian untuk menghilangkan kotoran dan menghasilkan syngas yang bersih dan dapat dibakar.
5. Pembakaran Syngas: Syngas yang telah dibersihkan digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran dalam turbin gas atau mesin pembakaran internal yang menghasilkan panas. Panas ini kemudian digunakan untuk memanaskan air dan menghasilkan uap.

6. Produksi Listrik: Uap yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan turbin uap yang terhubung ke generator listrik, sehingga menghasilkan listrik.



Gambar 1. Proses Perubahan Sampah Menjadi Energi (Siklus PLTSampah)

Untuk mengetahui potensi produksi biogas dari sampah yang diperoleh dari Bank Sampah Utama Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, sampah terlebih dahulu akan ditransformasi dengan menggunakan beberapa faktor perkalian. Persamaan berikut dapat digunakan untuk mengubah sampah menjadi biogas[4].

$$\text{Konversi total sampah} = \text{jumlah sampah (ton)} \times 2.831 \text{ m}^3 \quad (1)$$

$$\text{Potensi biogas} = 0.04 \times \text{konversi total sampah (m}^3) \quad (2)$$

$$\text{Methana dari biogas} = 0.7 \times \text{total biogas (m}^3/\text{tahun)} \quad (3)$$

$$\text{Konversi energi listrik} = 11.17 \times \text{total methana} \quad (4)$$

Dimana:

0.04 = Faktor konversi sampah menjadi biogas

0.7 = Persentase methana

11.17 = Faktor kali gas methana dikarenakan 1 m<sup>3</sup> gas methana menghasilkan 11.17 kW energi listrik

1 ton = 2.831 m<sup>3</sup>

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian yang digunakan adalah data primer yang terdapat pada Bank Sampah Induk Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Data penelitian tersebut diambil dari tahun 2020 sampai tahun 2023 yang terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Sampah Provinsi Sumatera Utara

Tahun	Data Sampah (Ton/tahun)
2020	28402.15
2021	34170.45
2022	742502.2
2023	80036.04

Data sampah Kota Medan yang terkumpul akan diolah menjadi listrik alternatif. Berikut perhitungan konversi data sampah yang diambil dari Bank Sampah Utama Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan:

a. Data Tahun 2020

Data sampah Provinsi Sumatera Utara tahun 2020 tercatat sebanyak 28402.15 ton. Dari data tersebut maka akan dikonversikan menjadi sumber energi listrik alternatif (biogas) dengan menggunakan persamaan 1,2,3 dan 4.

$$\text{Konversi total sampah} = \text{jumlah sampah (ton)} \times 2.831 \text{ m}^3 = 28402.15 \times 2.831 = 80406.49 \text{ m}^3$$

$$\text{Potensi biogas} = 0.04 \times \text{konversi total sampah} = 0.04 \times 80406.49 \text{ m}^3 = 3216.3 \text{ m}^3$$

$$\text{Methana dari biogas} = 0.7 \times \text{total biogas} = 0.7 \times 3216.3 \text{ m}^3 = 2251.41 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$$\text{Konversi energi Listrik} = 11.17 \text{ kW} \times \text{total methana} = 11.17 \times 2251.41 \text{ m}^3/\text{tahun} = 25148.25 \text{ kW} = 25.14 \text{ MW}$$

Sehingga, potensi energi listrik yang dihasilkan dari pengkonversian sampah menjadi biogas pada tahun 2020 sebesar 25.14 MW.

b. Data Tahun 2021

Data sampah Provinsi Sumatera Utara tahun 2021 tercatat sebanyak 34170.45 ton. Dari data tersebut maka akan dikonversikan menjadi sumber energi listrik alternatif (biogas) dengan menggunakan persamaan 1,2,3 dan 4.

$$\text{Konversi total sampah} = \text{jumlah sampah (ton)} \times 2.831 \text{ m}^3 = 34170.45 \times 2.831 = 96736.54 \text{ m}^3$$

$$\text{Potensi biogas} = 0.04 \times \text{konversi total sampah} = 0.04 \times 96736.54 \text{ m}^3 = 3869.46 \text{ m}^3$$

$$\text{Methana dari biogas} = 0.7 \times \text{total biogas} = 0.7 \times 3869.46 \text{ m}^3 = 2708.62 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$$\text{Konversi energi Listrik} = 11.17 \text{ kW} \times \text{total methana} = 11.17 \times 2708.62 \text{ m}^3/\text{tahun} = 30255.29 \text{ kW} = 30.25 \text{ MW}$$

Sehingga, potensi energi listrik yang dihasilkan dari pengkonversian sampah menjadi biogas pada tahun 2021 sebesar 30.25 MW.

c. Data Tahun 2022

Data sampah Provinsi Sumatera Utara tahun 2022 tercatat sebanyak 742502.2 ton. Dari data tersebut maka akan dikonversikan menjadi sumber energi listrik alternatif (biogas) dengan menggunakan persamaan 1,2,3 dan 4.

$$\text{Konversi total sampah} = \text{jumlah sampah (ton)} \times 2.831 \text{ m}^3 = 742502.2 \times 2.831 = 210202.31 \text{ m}^3$$

$$\text{Potensi biogas} = 0.04 \times \text{konversi total sampah} = 0.04 \times 210202.31 \text{ m}^3 = 8408.1 \text{ m}^3$$

$$\text{Methana dari biogas} = 0.7 \times \text{total biogas} = 0.7 \times 8408.1 \text{ m}^3 = 5885.67 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$$\text{Konversi energi Listrik} = 11.17 \text{ kW} \times \text{total methana} = 11.17 \times 5885.67 \text{ m}^3/\text{tahun} = 65742.94 \text{ kW} = 65.74 \text{ MW}$$

Sehingga, potensi energi listrik yang dihasilkan dari pengkonversian sampah menjadi biogas pada tahun 2022 sebesar 65.74 MW.

d. Data Tahun 2023

Data sampah Provinsi Sumatera Utara tahun 2023 tercatat sebanyak 80036.04 ton. Dari data tersebut maka akan dikonversikan menjadi sumber energi listrik alternatif (biogas) dengan menggunakan persamaan 1,2,3 dan 4.

$$\text{Konversi total sampah} = \text{jumlah sampah (ton)} \times 2.831 \text{ m}^3 = 80036.04 \times 2.831 = 226581.92 \text{ m}^3$$

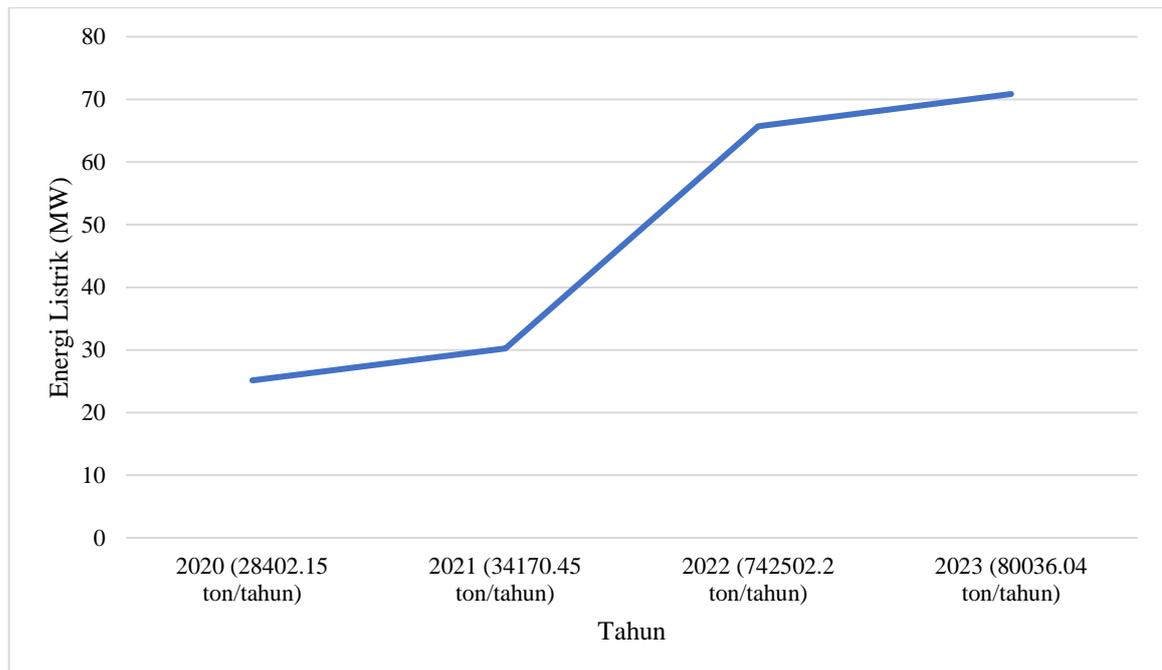
$$\text{Potensi biogas} = 0.04 \times \text{konversi total sampah} = 0.04 \times 226581.92 \text{ m}^3 = 9063.23 \text{ m}^3$$

$$\text{Methana dari biogas} = 0.7 \times \text{total biogas} = 0.7 \times 9063.23 \text{ m}^3 = 6344.26 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$$\text{Konversi energi Listrik} = 11.17 \text{ kW} \times \text{total methana} = 11.17 \times 6344.26 \text{ m}^3/\text{tahun} = 70865.38 \text{ kW} = 70.86 \text{ MW}$$

Sehingga, potensi energi listrik yang dihasilkan dari pengkonversian sampah menjadi biogas pada tahun 2023 sebesar 70.86 MW.

Dari hasil perhitungan potensi sampah yang dikonversikan menjadi sumber energi listrik alternatif yang berasal dari biogas diatas maka sampah yang terdapat pada Provinsi Sumatera Utara sangatlah cocok dijadikan sebagai sumber energi listrik alternatif yang berasal dari biogas, dimana setiap tahunnya terus menghasilkan energi listrik yang meningkat, dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2.** Konversi Potensi Sampah Menjadi Energi Listrik Alternatif

#### 4. KESIMPULAN

Provinsi Sumatera Utara memiliki volume sampah yang terus meningkat akibat pertumbuhan populasi dan aktivitas ekonomi, menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan sampah. Namun, dengan pendekatan yang tepat, sampah tersebut memiliki potensi besar untuk diubah menjadi sumber energi alternatif, khususnya melalui teknologi biogas. Konversi sampah menjadi biogas di Provinsi Sumatera Utara tidak hanya menawarkan solusi untuk masalah pengelolaan sampah, tetapi juga memberikan manfaat yang luas bagi lingkungan, ekonomi, dan sosial. Dari hasil pengkonversian sampah menjadi sumber biogas untuk energi listrik alternatif setiap tahunnya terus meningkat, potensi energi listrik yang dihasilkan dari pengkonversian sampah menjadi biogas pada tahun 2020 sebesar 25.14 MW, pada tahun 2021 sebesar 30.25 MW, pada tahun 2022 sebesar 65.74 MW, dan pada tahun 2023 sebesar 70.86 MW.

#### REFERENSI

- [1] Y. T. Nugraha, P. M. Simanjuntak, M. Irwanto, R. Rida, and M. Othman, "Analysis of Forecast of Renewable Energy Development In North Sumatra Using ANFIS," *J. Media Elektro*, vol. XIII, no. 1, pp. 27–36, 2024, doi: 10.35508/jme.v13i1.15310.
- [2] Y. T. Nugraha and M. Irwanto, "Modelling Demand for Energy Sources as Alternative Energy in the Province of North Sumatra," *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 2, no. 2, p. 84, 2022, doi: 10.29103/jreece.v2i2.9278.
- [3] P. Agung, D. Hartono, and A. A. Awirya, "Pengaruh Urbanisasi Terhadap Konsumsi Energi Dan Emisi CO<sub>2</sub>: Analisis Provinsi di Indonesia," *J. Ekon. Kuantitatif Terap.*, pp. 9–18, 2018, doi: 10.24843/jekt.2017.v10.i01.p02.
- [4] Y. T. Nugraha, T. Richardo, F. Dony, and M. Irwanto, "Analisis Potensi Energi Sampah Sebagai Energi Alternatif Terbaru Di Kota Medan," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 1–4, 2022, doi: 10.30596/rele.v5i1.10783.
- [5] S. S. Sunyoto Sunyoto, Danang Dwi Saputro, "Pengolahan Sampah Organik Menggunakan Reaktor Biogas Di Kabupaten Kendal," *Rekayasa*, vol. 14, no. 1, pp. 29–36, 2016.

- [6] W. Marhento and R. Isdiyanto, "Prospek Pemanfaatan Biogas Dari Pengolahan Air Limbah," *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbaru*, vol. 10, no. 2, pp. 103–112, 2011.
- [7] D. Sholeha and M. F. Zambak, "The Implementasi ANFIS Dalam Prakiraan Perkembangan Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia Pada Tahun 2030," *J. Sist. Inf. ...*, vol. 5, no. 2, pp. 1–4, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.unprimdn.ac.id/index.php/JUSIKOM/article/view/2503%0Ahttp://jurnal.unprimdn.ac.id/index.php/JUSIKOM/article/download/2503/1552>
- [8] Tumiran *et al.*, "The Masterplan for Developing Electricity Systems for Archipelagic Area by Considering Local Energy Resources: A Case Study of Maluku Islands," *Proc. 2019 7th Int. Conf. Smart Energy Grid Eng. SEGE 2019*, pp. 290–293, 2019, doi: 10.1109/SEGE.2019.8859915.
- [9] G. Dwiyoiko, T. Sukisno, and E. S. Damarwan, "Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Kabupaten Purbalingga Tahun 2030 Menggunakan Software Leap," *J. Edukasi Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 29–40, 2020, doi: 10.21831/jee.v4i1.32043.
- [10] Y. Wang and Q. Fan, "Research on Electricity Price Subsidy Policy of Biomass Energy in Shandong Province of China by CGE Model," *IEEE*, pp. 1056–1060, 2020.