

Tinjauan Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Biogas dari Sampah Organik Pasar Tradisional

JUMIATI ILHAM, ERVAN HASAN HARUN

Universitas Negeri Gorontalo
Email: jumiatiilham@ung.ac.id

ABSTRAK

Produksi minyak bumi Indonesia terus berkurang, tapi konsumsinya naik, di sisi lain penggunaan bahan bakar fosil telah menimbulkan berbagai masalah, termasuk emisi gas rumah kaca, polusi udara, dan ketergantungan pada pasokan energi yang terbatas. Penelitian kali ini akan melakukan tinjauan teknis dan ekonomis pemanfaatan biogas menggunakan sampah organik yang dihasilkan dari kegiatan pasar sebagaimana hasil penelitian sebelumnya yakni Kajian Potensi Sampah Organik Pasar Sentral Kota Gorontalo Sebagai Bahan Baku Reaktor Biogas pada tahun 2022. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah potensi timbulan sampah dari kegiatan pasar, dan artikel-artikel terpilih lainnya yang terkait dengan pemanfaatan sampah organik sebagai sumber energi melalui proses fermentasi di dalam reaktor biogas. Dari aspek teknis, telah berhasil merancang sebuah reaktor biogas tipe fixed dome, volume reaktor 15,3 m³ dengan konstruksi beton bertulang beserta anggaran biaya dan gambar detail untuk pembangunannya. Sedangkan dari aspek ekonomis telah dilakukan analisis ekonomi dan dapat disimpulkan bahwa, investasi dengan modal awal Rp. 78.793.000, layak secara ekonomi ditunjukkan dengan parameter NPV > 0, IRR (22,22%) > MARR (10,07%), B/C Ratio 2,0 kali, dan Payment Period 12 tahun 0 bulan.

Kata kunci: desain, reaktor, biogas, sampah organik, analisis ekonomi

ABSTRACT

Indonesia's petroleum production continues to decrease, but consumption is increasing. On the other hand, the use of fossil fuels has caused various problems, including greenhouse gas emissions, air pollution, and dependence on limited energy supplies. This research will carry out a technical and economic review of the use of biogas using organic waste produced from market activities as the results of previous research, namely the Study of the Potential of Gorontalo City Central Market Organic Waste as Raw Material for Biogas Reactors in 2022. The material used in this research is generation potential waste from market activities, and other selected articles related to the use of organic waste as an energy source through the fermentation process in a biogas reactor. From a technical aspect, we have succeeded in designing a fixed dome type biogas reactor, reactor volume 15.3 m³ with reinforced concrete construction along with a cost budget and detailed drawings for its construction. Meanwhile, from an economic aspect, an economic analysis has been carried out and it can be concluded that investment with initial capital of Rp. 78,793,000, economically feasible as indicated by the parameters NPV > 0, IRR (22.22%) > MARR (10.07%), B/C Ratio 2.0 times, and Payment Period 12 years 0 months.

Keywords: design, reactor, biogas, organic waste, economic analysis

1. PENDAHULUAN

Energi adalah salah satu komponen utama dalam pembangunan dan pertumbuhan ekonomi suatu negara. Dalam beberapa dekade terakhir, kebutuhan akan sumber energi telah meningkat secara signifikan karena pertumbuhan populasi dan perkembangan industri. Namun, penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama telah menimbulkan berbagai masalah, termasuk emisi gas rumah kaca, polusi udara, dan ketergantungan pada pasokan energi yang terbatas **(Setyono & Kiono, 2021), (Anjani, 2023)**.

Bahan bakar fosil memenuhi 80 persen kebutuhan energi primer global saat ini, dan sistem energi merupakan sumber dari sekitar dua pertiga emisi CO₂ global. Karena emisi metana dan polutan iklim jangka pendek lainnya (*short-lived climate pollutant, SLCP*) diyakini terlalu diremehkan, kemungkinan besar produksi dan penggunaan energi merupakan sumber emisi yang lebih besar. Selain itu, sebagian besar bahan bakar biomassa saat ini digunakan di seluruh dunia untuk pemanasan dan memasak skala kecil. Hal ini sangat tidak efisien dan menimbulkan polusi, terutama terhadap kualitas udara dalam ruangan di banyak negara yang masih kurang berkembang. Biomassa terbarukan yang digunakan dengan cara ini merupakan masalah bagi pembangunan berkelanjutan **(Foster & Elzinga, 2013)**, sehingga kebijakan pemerintah dalam cofiring PLTU yakni mengganti batu bara baik sebagian atau seluruhnya dengan bahan biomassa perlu kehati-hatian.

Krisis energi global dan dampak negatifnya terhadap lingkungan telah mendorong berbagai upaya untuk mencari alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu sumber energi alternatif yang menarik adalah biogas. Biogas adalah gas yang dihasilkan melalui proses fermentasi anaerobik bahan organik seperti limbah pertanian, limbah makanan, dan limbah kotoran hewan (Harun & Ilham, 2023). Gas ini terutama terdiri dari metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂), dan dapat digunakan untuk menghasilkan listrik, panas, dan bahkan sebagai bahan bakar kendaraan yang dapat diperoleh melalui pemanfaatan sampah organik.

Sampah sudah menjadi masalah masyarakat saat ini, khususnya Indonesia. Volume timbunan sampah yang terus meningkat sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: pertumbuhan penduduk, laju pembangunan, tingkat sosial ekonomi masyarakat, aktivitas masyarakat (Artiani & Handayasari, 2017), dan juga pola penanggulangan sampah yang masih bertumpu pada pengurugan (*landfilling*) yang dilakukan di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), serta menurut **(Sunyoto, Saputro, & Suwahyo, 2016)** adalah masih kurangnya kesadaran masyarakat dalam proses pemilahan dan 3R (*reduce, reuse, dan recycle*). Begitu juga dengan kegiatan pemisahan dan pengolahan sampah secara terpusat yang menjadi tugas utama dari Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) hingga saat ini belum dapat berfungsi secara optimal oleh karena masih kurangnya sarana dan prasarana **(Marlena, Wahyu Adi, & Warmadewanthi, 2020)**.

Kota Gorontalo yang menjadi ibu kota Provinsi Gorontalo terus mengalami perkembangan yang ditandai oleh peningkatan kegiatan ekonomi termasuk salah satunya adalah Pasar Sentral Kota Gorontalo yang menjadi pusat perbelanjaan kebutuhan sehari-hari masyarakat Kota Gorontalo dan sekitarnya. Penelitian yang dilakukan oleh **(Harun & Ilham, 2023)** mendapatkan informasi bahwa sayuran mendominasi jumlah timbunan sampah Pasar Sentral Kota Gorontalo yakni rata-rata 74,23%, selanjutnya sampah dari jenis buah 17,12%, dan sampah ikan/daging sebesar 8,65%. Produksi sampah ini jika dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik melalui pemanfaatan reaktor biogas dapat menghasilkan energi listrik sebesar 5.115,84 kwh per bulan atau setara dengan pemakaian energi listrik dari pelanggan listrik golongan beban 450 VA sebanyak 30 orang pelanggan.

Implementasi biogas sebagai sumber energi memiliki potensi besar untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (**Romadhoni & Wesen, 2014**), mengurangi limbah organik yang masuk ke tempat pembuangan sampah, dan meningkatkan ketahanan energi lokal. Energi terbarukan sangat penting untuk mencapai pembangkitan listrik yang berkelanjutan dan bersih (**Widyastuti & Suyantara, 2017**). Sedangkan menurut penelitian (**Abanades, Abbaspour, & Ahmadi, 2022**) dan (**Strantzali, Aravossis, & Livanos, 2017**) bahwa di antara seluruh metodologi konvensional untuk pembangkit listrik terbarukan, hanya sekitar 8,3% sumber daya energi terbarukan dimiliki oleh unit bioenergi.

Salah satu faktor yang paling berpengaruh dalam pembangkitan listrik berkelanjutan didasarkan pada jenis bahan bakar. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (**Abanades, Abbaspour, & Ahmadi, 2022**), biogas merupakan bahan bakar penting dalam menghasilkan tenaga listrik yang bersih dan berkelanjutan. Menilai keberlanjutan memerlukan tindakan yang lebih jauh dari penilaian siklus hidup lingkungan konvensional dan menggabungkan studi aspek ekonomi dengan kinerja sosial. Terlepas dari keberadaan berbagai sumber daya terbarukan dan persepsi ramah lingkungan dalam pembangkitan listrik, laju produksi tenaga listrik dari biogas perlu diketahui dan dihitung secara efektif. Dan menurut (**Ruiz, San Miguel, Corona, Gaitero, & Domínguez, 2018**) bahwa Penilaian Siklus Hidup (*LCA*) adalah pendekatan fungsional yang digunakan untuk mengukur kelestarian lingkungan sistem energi. Penggabungan berbagai indikator penilaian lingkungan dan ekonomi, melalui cakupan dan model standar, akan memberikan wawasan yang lebih luas mengenai keberlanjutan sistem biogas.

Pembangkit listrik berkelanjutan melalui biogas dipengaruhi secara langsung oleh produksi biogas. Menurut penelitian (**ter Veld, 2012**), keberlanjutan produksi biogas tidak ditentukan oleh hasil regional melainkan oleh faktor pemulihan nutrisi dan operasional. Bahan baku pembangkit biogas dan ketersediaannya menunjukkan potensi produksi biogas untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif untuk pembangkit listrik berkelanjutan. Di antara sumber energi terbarukan, berdasarkan penelitian (**Abanades, Abbaspour, & Ahmadi, 2022**) biogas lebih mudah beradaptasi dan fleksibel dibandingkan dengan energi angin dan matahari, serta lebih ekonomis karena memerlukan investasi modal dan biaya operasional yang relatif lebih rendah yang dapat bervariasi bergantung lokasi geografis.

Implementasi biogas sebagai sumber energi memiliki potensi untuk menjadi solusi yang berkelanjutan dalam mengatasi tantangan energi global sambil mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sebagaimana penelitian yang sudah dilakukan oleh (**Basri, Kadirman, & Jamaluddin, 2019**) dan juga (**Annur, Kusmasari, Wulandari, & Sumiati, 2020**). Penelitian ini adalah keberlanjutan dari penelitian yang sudah dilakukan oleh (**Harun & Ilham, 2023**) dengan aspek teknis dan ekonomis menjadi fokus penelitian kali ini.

2. METODOLOGI

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penulisan artikel kali ini berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan penulis pada tahun 2023 dari artikel-artikel terpilih lainnya yang terkait dengan pemanfaatan sampah organik sebagai sumber energi melalui proses fermentasi di dalam reaktor biogas (*digester*)

2.2 Metode

Artikel ini merupakan keberlanjutan dari penelitian sebelumnya tentang potensi timbunan sampah di Pasar Sentral Kota Gorontalo yang dilakukan penulis tahun 2023. Dan pada artikel

kali ini dilanjutkan dengan menyusun *detail engineering design (DED)* sebagai tinjauan teknis dan melakukan analisis kelayakan ekonomi sebagai tinjauan pemanfaatan reaktor biogas tipe *fixed dome* berbahan baku sampah organik pasar Sentral Kota Gorontalo dari aspek ekonomis.

2.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini akan diselesaikan dalam 6 (enam) bulan pelaksanaan penelitian dengan tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan
2. Perancangan

Pada tahap ini dilakukan perhitungan terutama kapasitas (volume) dari reaktor biogas yang akan dibuat, dan ukuran pipa yang dibutuhkan. Selanjutnya dibuat gambar rancangan reaktor biogas. Komponen-komponen utama yang perlu dilakukan perhitungan secara teliti adalah sebagai berikut:

 - a. Volume Digister berdasarkan potensi sampah pasar Sentral Kota Gorontalo yang mengacu pada hasil penelitian sebelumnya;
 - b. Dimensi ruang bahan baku;
 - c. Dimensi ruang gas;
 - d. Dimensi reaktor biogas (digester) tipe kubah tetap (fixed dome);
 - e. Saluran inlet, saluran outlet, dan penampungan limbah padat maupun limbah cair.
 - f. Selang gas
 - g. Konstruksi Reaktor Biogas
3. Menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) reaktor biogas baik berdasarkan potensi sampah organik Pasar Sentral Kota Gorontalo.
4. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan apakah reaktor biogas layak secara ekonomi untuk dibangun berdasarkan pertimbangan modal dan keuntungan yang akan didapatkan dari instalasi biogas ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perancangan Reaktor Biogas

1) Menghitung volume digester

Volume digester dihitung berdasarkan potensi timbunan sampah pasar Sentral Kota Gorontalo sebagaimana hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh **(Harun & Ilham, 2023)**. Dari hasil penelitian diperoleh data-data seperti pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Jumlah sampah organik per minggu di Pasar Sentral Kota Gorontalo

Minggu Ke-	Sayuran	Buah	Ikan / Daging	Total (kg)
	Jumlah (kg)	Jumlah (kg)	Jumlah (kg)	
I	2311,70	520,90	254,10	3086,70
II	2340,35	542,00	264,00	3146,35
III	2309,80	543,50	280,00	3133,30
IV	2334,60	537,50	286,00	3158,10

Kadar Padatan (*Total Solid*) sampah organik pasar Sentral Kota Gorontalo dihitung menggunakan persamaan (1) dengan berpedoman pada karakteristik dari beberapa bahan baku biogas menurut (Al Seadi, et al., 2008) dan hasilnya diberikan pada Tabel 2.

$$TS = TS(\%) \times jml \text{ bahan baku}(kg) \quad (1)$$

Tabel 2. Kadar padatan sampah organik per minggu di 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

Berdasarkan Tabel 2, total kadar padatan per minggu sebanyak 533,83 kg/minggu atau 78,26 kg/hari. Dengan menggunakan persamaan (2), maka volume digester dihitung sebagai berikut:

$$V_R = V \times HRT \quad (2)$$

Volume substrat yang diumpankan per satuan waktu [m^3 /hari] sebesar 78,26 kg/hari. Sedangkan rasio bahan baku dengan air untuk biogas dari bahan organik adalah 1:2 maka volumen substrat yang diumpankan adalah 76,26 kg + 152,2 liter atau setara 228,78 liter.

Dengan *hydraulic retention time (HRT)* yakni waktu tinggal dalam digester untuk biodigester sederhana tanpa pemanasan adalah 40 hari (Werner, Stöhr, & Hees, 1989), maka:

$$\begin{aligned} V_R &= V \times HRT \\ &= 228,78 \times 40 = 9151 \text{ liter} = 9,2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Ini adalah volume 60% dari total volume reaktor biogas (*digester*), sehingga total volume Reaktor adalah: $\frac{9,2}{0,6} = 15,3 \text{ m}^3$

2) Dimensi ruang bahan baku

Volume total reaktor biogas berdasarkan timbunan sampah harian pasar Sentral Kota Gorontalo dari perhitungan sebelumnya yaitu $15,3 \text{ m}^3$. Sedangkan ruang untuk bahan baku (substrat) adalah 60% dari volume total reaktor yakni $9,2 \text{ m}^3$. Jika diameter reaktor biogas direncanakan 2,5 m, maka berdasarkan volume ruang bahan baku, dan dengan menggunakan persamaan untuk menghitung volume tabung dapat dihitung tinggi ruang bahan baku (h_s) sebagai berikut:

$$v = \pi r^2 t \quad (3)$$

Dengan mengganti v menjadi v_{rs} (volume ruang substrat) dan t menjadi hrs maka persamaan (3) dapat ditulis dalam bentuk persamaan (4) untuk menghitung h_{rs} sebagai berikut:

$$h_{rs} = \frac{v_{rs}}{\pi r^2} \quad (4)$$

dengan:

hrs : tinggi ruang substrat

v_{rs} : volume ruang substrat

r : jari-jari = $\frac{1}{2}$ dari diameter

maka tinggi ruang substrat (h_s) dihitung dengan persamaan (4) adalah:

$$h_{rs} = \frac{9,2}{3,14 \times 1,25^2} = 1,9 \text{ m}$$

3) Dimensi ruang gas

Reaktor biogas yang dirancang dalam penelitian ini adalah reaktor biogas (*digester*) tipe kubah tetap (*fixed dome*). Ciri utama dari reaktor biogas tipe kubah tetap adalah bentuknya silinder dengan penutup bagian atas berupa kubah berbentuk setengah bola. Volume ruang gas diperoleh dari selisih antara volume total reaktor biogas dengan volume ruang bahan baku yaitu: $v_{rg} = v_R - v_{rs} = 15,3 - 9,2 = 6,1 \text{ m}^3$ dimana bagian atas dari ruang gas ini berupa kubah setengah bola. Oleh karena itu, dihitung dulu volume ruang gas setengah bola dengan diameter 2,5 m atau jari-jari (r) 1,25 m menggunakan persamaan menghitung luas setengah bola sebagai berikut:

$$v_{\text{setengah bola}} = \frac{2}{3}\pi r^3 \quad (5)$$

$$v_{rg1} = \frac{2}{3} 3,14 \times 1,25^3 = 4,1$$

Dengan volume kubah 4,1 m³, maka masih terdapat $6,1 \text{ m}^3 - 4,1 \text{ m}^3 = 2 \text{ m}^3$ (v_{rg2}) ruang gas yang berada di bawah kubah. Tinggi ruang gas di bawah kubah ini juga dapat dihitung menggunakan persamaan (4) dengan mengganti h_{rs} menjadi h_{rg2} dan v_{rs} menjadi v_{rg2} sebagai berikut:

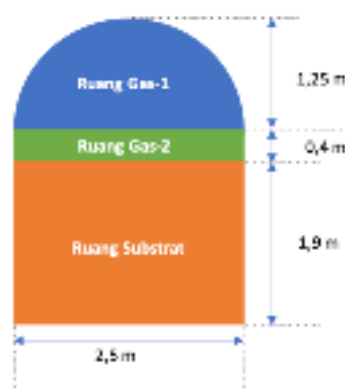
$$h_{rg2} = \frac{v_{rg2}}{\pi r^2} = \frac{2}{3,14 \times 1,25^2} = 0,4 \text{ m}$$

4) Dimensi reaktor biogas (*digester*) tipe kubah tetap (*fixed dome*)

Secara keseluruhan reaktor biogas (*digester*) tipe kubah tetap (*fixed dome*) menggunakan sampah organik pasar Sentral Kota Gorontalo terdiri atas 3 segment yakni:

- Segement untuk ruang bahan baku (substrat) dengan dimensi: volume 9,2 m³; tinggi 1,9 m; dan diameter 2,5 m.
- Segment ruang gas-1 (r_{g1}) berbentuk kubah setengah bola dengan dimensi: volume 4,1 m³; tinggi 1,25 m; dan diameter 2,5 m.
- Segment ruang gas-2 (r_{g2}) berbentuk silinder berada di bawah kubah setengah bola dengan dimensi: volume 2 m³; tinggi 0,4 m; dan diameter 2,5 m.

Lebih jelasnya dimensi dari reaktor biogas ini ditunjukkan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Desain reaktor biogas pasar Sentral Kota Gorontalo

5) Saluran inlet, saluran outlet, dan penampungan limbah padat maupun limbah cair

Saluran inlet dan outlet menggunakan pipa PVC 10" dengan penempatan lubang untuk inlet maupun outlet tepat di bawah batas atas dari ruang bahan baku (substrat). Saluran outlet dihubungkan dengan penampungan limbah padat, dan selanjutnya dihubungkan dengan

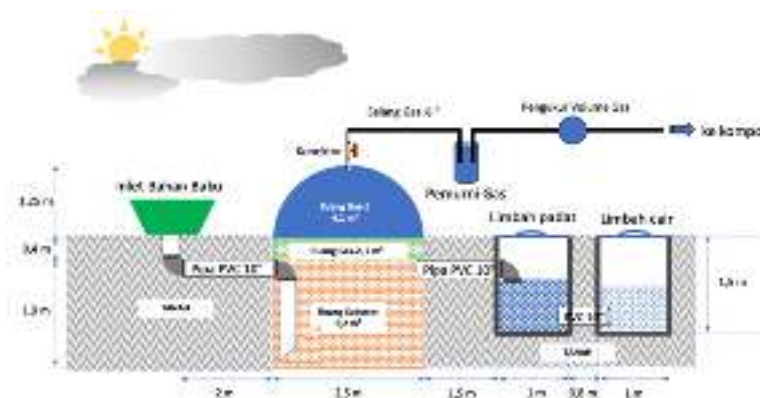
penampungan limbah cair. Fasilitas penampungan limbah padat maupun limbah cair berbentuk kotak dengan penampang persegi empat (1 m x 1 m) dan tinggi 1,5 m.

6) Selang gas

Selang gas yang digunakan berukuran ½ inch, dan panjang disesuaikan dengan kondisi/kebutuhan di lapangan. Pada saluran gas ini, ditambahkan juga alat pemurnian dan pengukur volume gas yang melewati selang gas.

7) Konstruksi Reaktor Biogas

Reaktor biogas tipe kubah tetap (*fixed dome*) dibuat dari bahan beton bertulang dengan ketebalan 10 cm. Untuk mengurangi resiko kebocoran kedua sisi baik bagian dalam maupun bagian luar dari reaktor biogas diplester dan dilapisi dengan bahan/cat anti bocor. Desain reaktor biogas fixed dome ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Rangkaian reaktor biogas Pasar Sentral Kota Gorontalo

8) Anggaran Biaya

Anggaran biaya dihitung berdasarkan desain gambar, volume, bahan/material, dan upah sesuai dengan koefisien Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang diatur berdasarkan Standar Nasional Indonesia (BSN, 2008) yang terkait dengan pekerjaan konstruksi sipil, sedangkan untuk harga bahan dan upah pekerja didasarkan pada **Peraturan Gubernur Gorontalo Nomor 48 tahun 2021 tentang Standar Harga Satuan Regional Tahun Anggaran 2022** yang tertuang dalam dokumen (Gubernur Gorontalo, 2021). Dari hasil perhitungan diperoleh anggaran biaya untuk reaktor biogas berdasarkan potensi sampah organik pasar Sentral Kota Gorontalo adalah sebesar Rp. 78.793.000,-.

3.2 Analisis Ekonomi

Berdasarkan anggaran biaya, selanjutnya dilakukan analisis ekonomi untuk menghitung nilai paramater kelayakan ekonomi yakni *Internal Rate Of Return (IRR)*, *Benefit Cost Ratio (B/C Ratio)*, *Net Present Value (NPV)*, dan *Payback Period (PP)*, dengan asumsi yang digunakan pada analisis ekonomi sebagai berikut:

1. Modal (P).

Modal atau investasi diperoleh dari Rencana Anggaran Biaya (RAB) seperti yakni: Rp Rp. 78.793.000,-

2. Suku bunga (i).

Suku bunga adalah rata-rata suku bunga bank dari berbagai jenis bank di Indonesia per Juni 2023 pada saat dilakukan penelitian yakni = 10,07 %. Suku bunga bank ini juga diasumsikan sebagai *Minimum Attractive Rate of Return (MARR)* yang pantas sehingga dari

proyek investasi akan diperoleh keuntungan. Jika diperoleh IRR yang lebih kecil atau sama dengan MARR maka proyek penanaman modal atau investasi tersebut tidak layak untuk direalisasi. Bila IRR yang diperoleh dari proyek penanaman modal atau investasi lebih besar dari MARR, maka proyek tersebut layak untuk direalisasi.

3. Periode pinjaman (kriteria finansial).

Periode pinjaman atau yang menjadi kriteria finansial adalah 15 tahun yang didasarkan pada umur minimal digester yaitu 10 tahun dan maksimal 20 tahun (Irsyad & Yanti, 2016).

4. Produksi gas per hari.

Produksi gas diasumsi sama dengan volume ruang gas pada reaktor biogas (digester) yakni $9,2 \text{ m}^3$ yang akan penuh dalam 40 hari (masa HRT, *Hydrolic Retention Time*) atau setara 5,1 kg methana per hari atau 1861,5 kg per tahun. Jika harga per kg gas methana setara dengan LPG per kg yakni Rp. 17.167,- maka 1861,5 kg = Rp. 31.955.750,0 per tahun.

5. Biaya Operasional per tahun (Annual Operation Cost).

Biaya ini diperoleh dari biaya tenaga kerja dan diasumsikan sebesar Rp. 2.291.368,- per tahun, dan dianggap konstan selama periode pinjaman yakni 15 tahun.

Hasil analisis ekonomi reaktor biogas tipe *fixed dome* berbahan baku berupa sampah organik pasar Sentral Kota Gorontalo diberikan pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Hasil analisis kelayakan ekonomi reaktor biogas tipe fixed dome

Resume of the Economic Feasibility			
<i>Initial investment</i>		78.793.000	Rp
<i>Investment Period</i>		15	tahun
<i>Average Annual Revenue</i>		31.955.750	Rp
<i>MARR = i</i>		10,07	%
1	<i>NPV</i>	66.086.320	> 0 Rp
2	<i>IRR</i>	22,22%	> MARR (10,07%)
3	<i>B/C Ratio</i>	3,86	<i>kali (tanpa discount factor 10,07%)</i>
		2,00	<i>times (dengan discount factor 10,07%)</i>
4	<i>Payback Period</i>	7 tahun 8 bulan	<i>tanpa discount factor 10,07%</i>
		12 tahun 0 bulan	<i>dengan discount factor 10,07%</i>

Analisis kelayakan ekonomi sebagaimana diberikan pada Tabel 3 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Net Present Value (NPV)*

Net Present Value (NPV) merupakan metode yang menghitung selisih antara manfaat atau penerimaan dengan biaya atau pengeluaran, atau selisih antara nilai sekarang (present value) dari investasi dengan nilai sekarang atas seluruh penerimaan kas bersih di masa yang akan datang. Penilaian investasi dengan menggunakan metode NPV biasanya digunakan bila cost of capital dari investasi sudah diketahui dan required of return yang diharapkan oleh investor atas rencana investasinya tersebut sudah ditetapkan nilainya (Ruminta, 2020). Dari hasil perhitungan dengan tingkat suku bunga 10,07% dan asumsi biaya operasional sama setiap tahunnya diperoleh nilai NPV adalah sebesar Rp. 66.086.320,- selama periode 15 tahun. Hal ini berarti bahwa nilai keuntungan yang diperoleh dari pemanfaatan reaktor biogas pada 15 tahun yang akan datang adalah setara dengan nilai uang sebesar Rp. 66.086.320,- saat sekarang. Secara umum kriteria NPV ini mengatakan bahwa proyek akan layak dipilih apabila nilai $NPV > 0$. Sebaliknya bila suatu proyek memiliki $NPV < 0$ maka tidak akan dipilih karena proyek tidak layak untuk dijalankan. Berdasarkan perhitungan NPV maka investasi reaktor biogas tipe *fixed dome* menggunakan bahan baku sampah organik Pasar Sentral Kota Gorontalo layak secara ekonomi.

2. *Internal Rate of Return (IRR)*

Adalah tingkat marjin/fee/bagi hasil yang menjadikan jumlah nilai sekarang dari *proceeds* yang diharapkan (*PV of future proceeds*) sama dengan jumlah nilai sekarang dari pengeluaran modal (*PV of capital outlays*) (Ruminta, 2020; Kurniawan, 2019). Suatu proyek investasi dinilai menguntungkan apabila IRR lebih besar daripada tingkat marjin/fee/bagi hasil yang dikehendaki atau $IRR > \text{cost of money}$ (tingkat resiko + SWBI atau dalam penelitian ini adalah MARR, sebesar 10,07%). Dari hasil perhitungan IRR diperoleh nilai sebesar 22,22%, atau lebih besar dari MARR (10,07%), dengan demikian berdasarkan penilaian IRR maka investasi reaktor biogas tipe fixed dome menggunakan bahan baku sampah organik Pasar Sentral Kota Gorontalo layak secara ekonomi.

3. *B/C Ratio*

Penilaian proyek investasi berdasarkan *benefit cost ratio (B/C Ratio)* adalah suatu metode penilaian proyek investasi dengan menggunakan ukuran; perbandingan antara benefit atau *present value of proceeds* dengan *present value cost* atau *present value of capital outlay* (Ruminta, 2020; Kurniawan, 2019). Proyek investasi dikatakan layak secara ekonomi apabila perbandingan tersebut menghasilkan nilai minimal 1 atau $PV \text{ Proceeds} / PV \text{ Capital Outlay} > 1$. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh B/C Ratio = 3,86 tanpa faktor df (*without discount factor 10,07%*) dan 2,0 dengan faktor df (*with discount factor 10,07%*). Hal ini berarti bahwa, keuntungan atas investasi adalah sebesar 3,86 kali tanpa faktor df (*without discount factor 10,07%*) dan 2,0 kali dengan faktor df (*with discount factor 10,07%*). Dengan demikian, investasi reaktor biogas tipe fixed dome menggunakan bahan baku sampah organik Pasar Sentral Kota Gorontalo layak secara ekonomi.

4. *Payback Period*

Payback Period adalah periode yang diperlukan untuk menutup kembali pengeluaran investasi (*initial cash investment*) atau jangka waktu kembalinya investasi yang telah dikeluarkan, melalui keuntungan yang diperoleh dari suatu proyek yang telah direncanakan. Menurut Kurniawan (2019), *payback period* adalah suatu periode yang diperlukan untuk dapat menutup kembali pengeluaran investasi dengan menggunakan proceeds atau aliran kas netto (*net cash flows*). Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa Payback Period dari investasi reaktor biogas tipe fixed dome menggunakan bahan baku sampah organik Pasar Sentral Kota Gorontalo adalah 7 tahun 8 bulan tanpa faktor df (*without discount factor 10,07%*) dan 12 tahun 0 bulan dengan faktor df (*with discount factor 10,07%*). Hal ini berarti bahwa investasi ini akan dapat mengembalikan modal dalam kurun waktu 7 tahun dan 8 bulan tanpa faktor df (*without discount factor 10,07%*) dan 12 tahun 0 bulan dengan faktor df (*with discount factor 10,07%*), atau dengan kata lain tidak melebihi periode pinjaman yakni 15 tahun. Dengan demikian, investasi reaktor biogas tipe fixed dome menggunakan bahan baku sampah organik Pasar Sentral Kota Gorontalo layak secara ekonomi.

4. KESIMPULAN

1. Aspek Teknis

Secara keseluruhan reaktor biogas (digester) tipe kubah tetap (fixed dome) menggunakan sampah organik pasar Sentral Kota Gorontalo terdiri atas 3 segment yakni:

- a. Segment untuk ruang bahan baku (substrat) dengan dimensi: volume 9,2 m³; tinggi 1,9 m; dan diameter 2,5 m.

- b. Segment ruang gas-1 (r_{g1}) berbentuk kubah setengah bola dengan dimensi: volume 4,1 m³; tinggi 1,25 m; dan diameter 2,5 m.
- c. Segment ruang gas-2 (r_{g2}) berbentuk silinder berada di bawah kubah setengah bola dengan dimensi: volume 2 m³; tinggi 0,4 m; dan diameter 2,5 m.

Dalam konteks implementasi biogas sebagai sumber energi, sejumlah aspek teknis harus dipertimbangkan. Pertama-tama, proses produksi biogas harus dioptimalkan untuk memaksimalkan produksi metana. Ini melibatkan pemilihan jenis bahan organik yang sesuai, pengaturan kondisi fermentasi yang optimal, dan manajemen limbah yang efisien. Selain itu, teknologi penyimpanan dan distribusi biogas juga penting untuk memastikan pasokan yang stabil. Sistem pemanfaatan biogas juga harus dirancang dengan baik. Biogas dapat digunakan untuk menghasilkan listrik, panas, atau digunakan sebagai bahan bakar dalam kendaraan. Oleh karena itu, pemilihan teknologi yang sesuai dan pengaturan yang tepat harus diperhitungkan untuk memenuhi kebutuhan energi secara efisien.

2. Aspek Ekonomi

Secara ekonomis, pemanfaatan sampah organik pasar sentral kota Gorontalo memenuhi kriteria kelayakan ekonomis. Dari segi ekonomis, implementasi biogas sebagai sumber energi memiliki potensi untuk memberikan manfaat ekonomi yang signifikan. Pertama-tama, biogas dapat membantu mengurangi biaya energi, terutama dalam sektor pertanian dan industri. Selain itu, produksi biogas juga dapat menciptakan peluang bisnis baru, seperti produksi pupuk organik dari sisa fermentasi. Namun, ada juga biaya yang terkait dengan implementasi biogas, termasuk investasi awal dalam infrastruktur dan peralatan, serta biaya operasional dan perawatan. Oleh karena itu, analisis ekonomi yang cermat perlu dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomis dari proyek implementasi biogas. Selain itu, faktor-faktor seperti kebijakan dukungan pemerintah, harga energi konvensional, dan potensi pendapatan dari penjualan energi biogas juga perlu diperhitungkan dalam penilaian ekonomi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Gorontalo atas pendanaan penelitian ini yang bersumber dari dana PNBPU UNG tahun 2023.

DAFTAR RUJUKAN

- Abanades, S., Abbaspour, H., & Ahmadi, A. (2022). A critical review of biogas production and usage with legislations framework across the globe. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(4), 3377-3400.
- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., & Janssen, R. (2008). *Biogas Handbook*. Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark.
- Anjani, A. (2023, Juli 20). *Dampak Ekonomi Penggunaan Bahan Bakar Fosil bagi Indonesia*. Diambil kembali dari IBEKA: <https://ibeka.or.id/dampak-ekonomi-penggunaan-bahan-bakar-fosil-bagi-indonesia/>

- Annur, S., Kusmasari, W., Wulandari, R., & Sumiati, S. (2020). Pengembangan Biogas Dari Sampah Untuk Energi Listrik Dan Bahan Bakar Kompor Di TPA Cilowong, Kota Serang, Provinsi Banten. *Jurnal Kuat: Keuangan Umum dan Akuntansi Terapan*, 2(1), 48-51.
- Artiani, G. P., & Handayasari, I. (2017). Optimalisasi Pengolahan Sampah Organik Dengan Teknologi Biodigester Sebagai Upaya Konservasi Lingkungan. *KILAT: Jurnal Kajian Ilmu dan Teknologi*, 6(2), 95-105.
- Basri, A. K., Kadirman, & Jamaluddin. (2019). Rancang Bangun Reaktor Biogas Skala Rumah Tangga. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 5(1), 79-84.
- BSN. (2008). *Tata cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan (SNI DT-91-006), (SNI 2836), (SNI 7394), (SNI 6897), (SNI 2837)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Foster, S., & Elzinga, D. (2013). The role of fossil fuels in a sustainable energy system. *UN Chronicle*, 52(3), 17-19.
- Gubernur Gorontalo. (2021, Oktober 5). *Peraturan Gubernur Gorontalo No 48 Tahun 2021 tentang Standar Harga Satuan Regional Tahun Anggaran 2022*. Diambil kembali dari Database Peraturan: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/184957/pergub-prov-gorontalo-no-48-tahun-2021>
- Harun, E. H., & Ilham, J. (2023). Analisis Potensi Sampah Organik Pasar Sentral Kota Gorontalo sebagai Bahan Baku Energi Biogas. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(1), 113-127.
- Irsyad, F., & Yanti, D. (2016). Evaluasi Tekno-Ekonomi Pemanfaatan Biogas Skala Rumah Tangga Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 20(2), 73-79.
- Marlena, Wahyu Adi, T. J., & Warmadewanthi, I. (2020). Evaluasi Kinerja Aset Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) di Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur dan Fasilitas*, 4(3), 211-218.
- Romadhoni, H. A., & Wesen, P. (2014). Pembuatan Biogas dar Sampah Pasar. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(1), 59-64.
- Ruiz, D., San Miguel, G., Corona, B., Gaitero, A., & Domínguez, A. (2018). Environmental and economic analysis of power generation in a thermophilic biogas plant. *ELSEVIER Science of The Total Environment*, 633, 1418-1428.
- Ruminta, D. (2020). Analisis Perbandingan Perhitungan Kelayakan Finansial Konvensional dan Syariah. *Jurnal Ecodemica*, 4(1), 92-102.

- Setyono, A. E., & Kiono, B. F. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 2(3), 154-162.
- Strantzali, E., Aravossis, K., & Livanos, G. (2017). Evaluation of future sustainable electricity generation alternatives: The case of a Greek island. *ELSEVIER: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76(C), 775-787.
- Sunyoto, Saputro, D. D., & Suwahyo. (2016). Pengolahan Sampah Organik Menggunakan Reaktor Biogas Di Kabupaten Kendal. *REKAYASA: Jurnal Penerapan Teknologi dan Pembelajaran*, 14(1), 29-36.
- ter Veld, F. (2012). Beyond the Fossil Fuel Era: On the Feasibility of Sustainable Electricity Generation Using Biogas from Microalgae. *Energy & Fuels*, 26(6), 3882-3890.
- Werner, U., Stöhr, U., & Hees, N. (1989). *Biogas plants in animal husbandry*. Deutschland: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Widyastuti, S., & Suyantara, Y. (2017). Penambahan Sampah Sayuran Pada Fermentasi Biogas Dari Kotoran Sapi Dengan Starter EM4. *Jurnal Teknik WAKTU*, 15(1), 36-42.