

SUBMISSION 78

Desain Reaktor Biodigester untuk Pembangkit Listrik Kapasitas 0,6 MW

Eka Maulana, Dwi Rahmalina, Much. Ihsan Fadillah, La Ode M. Firman, Sorimuda Harahap, dan Agri Suwandi
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa, 12640 Jakarta

Abstrak. Penelitian ini membahas mengenai penentuan dimensi dari reaktor biodigester untuk pembangkit listrik kapasitas 0.6 MW dan mengetahui jumlah sampah organik yang dibutuhkan. Metode yang dilakukan adalah dengan menentukan berapa jumlah gas *methane*, *total solid* dan *volatile solid* yang diperlukan untuk menghasilkan energi listrik, dan menentukan dimensi reaktor dengan mempertimbangkan beban mekanis seperti tekanan dan tegangan yang terjadi di dalam reaktor. Hasil dari penelitian ini adalah Reaktor biodigester menggunakan tipe *fixed dome* dengan konstruksi di atas tanah yang dibuat dari material *stainless steels*. Reaktor memiliki dimensi diantaranya diameter 4,81 m, tinggi 3,49 m dan tebal 4 mm, jumlah sampah organik yang dibutuhkan sebesar 39,83 m³/hari dan jumlah kebutuhan gas *methane* sebesar 1566,5 m³/hari.

Kata kunci: Sampah organik, Reaktor Biodigester, Dimensi

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan masalah bagi masyarakat, untuk itu diperlukan pengolahan sampah dengan konsep *zero waste*. Salah satunya menggunakan teknologi biodigester. Biodigester adalah sebuah tempat untuk menghasilkan biogas dengan menggunakan bakteri anaerob untuk mengurai sampah organik. Jumlah sampah organik yang ada di kabupaten Tegal pada tahun 2015 sebesar 22% (211,22 m³/hari) dari total seluruh sampah yang ada yaitu 960,09 m³/hari[1]. Sampah yang dikelola di TPA Penujah masih menggunakan teknologi *open dumping*. *Open dumping* merupakan sistem pembuangan paling sederhana dimana sampah dibuang begitu saja dalam sebuah tempat pembuangan akhir tanpa pengolahan lebih lanjut. Untuk itu sampah organik akan diubah menjadi biogas dengan menggunakan biodigester untuk dikonversi menjadi energi listrik kapasitas 0,6 MW.

Selama proses penguraian sampah organik secara anaerob, komponen nitrogen berubah menjadi amonia, komponen belerang berubah menjadi H₂S, dan komponen fosfor berubah menjadi *orthophosphates*. Beberapa komponen lain seperti kalsium, magnesium, atau sodium berubah menjadi jenis garam[2]. Dalam pembentukan biogas yang baik, reaktor biodigester harus memenuhi beberapa syarat seperti lingkungan yang anaerob, temperatur biodigester paling tinggi 65°C, derajat keasaman pH diantara 6,6-7, kebutuhan nutrisi, kadar padatan, pengadukan dan pengaruh *starter*. Komposisi biogas bervariasi tergantung dari mana asal proses anaerobik yang terjadi. Bila proses pembentukannya terjadi dengan proses gas *landfill* yang memiliki konsentrasi *methane* sekitar 50%, sedangkan bila menggunakan sistem pengolahan limbah maju dapat menghasilkan biogas dengan komposisi 55-75 % CH₄[3]. Hasil dari 1 kg gas metan setara dengan 6,13 x 10⁷ J, sedangkan 1 kWh setara dengan 3,6 x 10⁶ J. Untuk massa jenis gas metan adalah 0,656 kg/m³ sehingga 1 m³ gas metan menghasilkan energi listrik sebesar 11,17 kWh.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Guyup Mahrdhian Dwi Putra, dkk[4]. Reaktor biogas dibuat secara portabel untuk limbah kotoran ternak sapi yang di buat dari bahan plastik dan *fiber glass* dengan diameter 52 cm dan tinggi 92 cm. menghasilkan volume biogas 2,721 m³/ 37 hari dengan rata-rata pembentukan gas sebesar 0,074 m³/hari. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Sari dan Puji Widodo[5]. Biogas dibuat jenis *fixed dome*, konstruksi berada di dalam tanah yang dibuat dari material fiber dengan diameter 0,477 m dan tinggi 2,33 m. Menghasilkan produksi biogas mencapai 3,334 m³/hari. Penelitian kali ini bertujuan untuk menentukan

dimensi reaktor biodigester untuk pembangkit listrik 0,6 MW dengan memperhatikan beberapa faktor diantaranya kebutuhan gas metan, kebutuhan *volatile solid* dan *total solid*, menentukan kebutuhan sampah organik, dan memilih material yang digunakan. Dalam pembuatan reaktor biodigester, pemilihan material juga merupakan faktor yang penting.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan dimensi reaktor dan kebutuhan sampah organik untuk pembangkit listrik kapasitas 0,6 MW. Reaktor ini akan menggunakan jenis *fixed dome* dengan konstruksi diatas tanah.

A. Kebutuhan Sampah Organik

Dalam menentukan kebutuhan biogas dan jumlah sampah yang dibutuhkan untuk pembangkit listrik kapasitas 0,6 MW, maka di perlukan beberapa persamaan untuk menentukan berapa jumlah sampah yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik.

Tabel 1 Hasil Pengujian Produksi Biogas [6]

Sampah Organik	Volume (Ton)	Total Solid		Volatile Solid		Biogas	
		(%)	(kg)	(%)	(kg)	(m ³ /kg)	(m ³)
Sampah Perkotaan							
Sampat padat organik	907	27,7	251.279	74,1	186.168	0,676	125.850
Padatan Bio	4.500	5,1	229.500	71,1	163.175	0,320	52.216

Perhitungan Energi Listrik

$$El = V_{CH_4} \times H_{\text{metan}} \times \eta_{el} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Perhitungan Jumlah TS, VS, Biogas

$$TS = 27,7\% \times P_{so} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$VS = 74,1\% \times TS \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$Vb = 0,676 \times VS \quad \dots\dots\dots(4)$$

Perhitungan Jumlah Gas Metana

$$V_{gm} = 60\% \times Vb \quad \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

P_{so} : Sampah organik (kg)

TS : *Total solid* (kg)

VS : *Volatile solid* (kg)

Vb : Volume biogas (m³)

V_{gm} : Jumlah gas metan (m³)

B. Dimensi Reaktor Biodigester

Untuk menentukan dimensi ukuran dari reaktor biodigester, maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan volume sampah yang dibutuhkan perhari untuk menentukan dari dimensi ukuran reaktor.[7]

$$D = 1,3078 \times V^{1/3} \quad \dots\dots\dots (6)$$

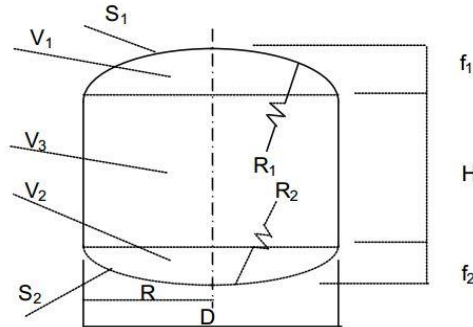
Keterangan

D : Diameter (m)

V : Volume biodigester (m³)

Tabel 2 Dimensi Reaktor Biodigester[7]

Dimensi	Rumus Dimensi	Dimensi	Rumus Dimensi
V_1	$0,0827 \times D^3 \dots(7)$	f_1	$D/5 \dots(12)$
V_2	$0,05011 \times D^3 \dots(8)$	f_2	$D/8 \dots(13)$
V_3	$0,3142 \times D^3 \dots(9)$	S_1	$0,911 \times D^2 \dots(14)$
R_1	$0,725 \times D \dots(10)$	S_2	$0,8345 \times D^2 \dots(15)$
R_2	$1,0625 \times D \dots(11)$	Vtotal	$V_1 + V_2 + V_3 \dots(16)$



Gambar 1. Dimensi Reaktor[7]

C. Tekanan di dalam reaktor

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui tekanan yang disebabkan oleh *slurry* dan gas metan yang terdapat didalam reaktor.

$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} + \rho gh \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan:

- P_{gas} : Tekanan Biogas (N/m^2).
- P_{atm} : Tekanan udara luar ($101,325 \text{ N/m}^2$).
- ρ : Massa Jenis (kg/m^3)
- g : Gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$).
- h : Perbedaan tinggi air (m).

D. Tegangan pada Dinding reaktor

Untuk menentukan tegangan yang terjadi di dalam reaktor, maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan:

- σ : Tegangan (MPa).
- F : gaya (N).
- A : Luas penampang (m^2).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Total kapasitas listrik yang direncanakan adalah 0,6 MW, diasumsikan generator digunakan selama 10 jam dengan efisiensi listrik generator sebesar 38,1 %. Faktor konversi dari 1 m^3 gas metan setara dengan $11,17 \text{ kWh/m}^3$. Sehingga jumlah gas metan yang dibutuhkan adalah $1409,85 \text{ m}^3$. Dengan diasumsikan terjadi kebocoran gas sebesar 10%, maka jumlah gas metan yang dibutuhkan menjadi $1566,5 \text{ m}^3/\text{hari}$. Dibawah ini adalah hasil dari jumlah gas metan, *volatile solid*, *total solid* dan sampah organik yang dibutuhkan.

Tabel 3 Perhitungan Kebutuhan Sampah Organik

No	Data yang dicari	Hasil
1.	Perhitungan potensi Energi listrik (El)	6000 kWh/hari
2.	Perhitungan jumlah gas metan (VGM)	1566,5 m ³ /hari
3.	Perhitungan jumlah volume produksi biogas (Vb)	2610,6 m ³ /hari
4.	Perhitungan jumlah dari <i>Volatle Solid</i> (Vs)	3861,83 kg/hari
5.	Perhitungan jumlah dari <i>Total Solid</i> (Ts)	5211,65 kg/hari
6.	Perhitungan sampah organik yang dibutuhkan (Pso)	19160,48 kg/hari
7.	Perhitungan volume sampah organik yang dibutuhkan (V) (dimana ρ sampah organik = 481 kg/m ³)	39,83 m ³ /hari

Dalam menentukan dimensi reaktor biodigester, maka hal yang perlu dilakukan adalah menentukan volume biodigester. Volume ini terdiri dari volume sampah organik dengan volume air dengan perbandingan 1:1. Volume biodigester sebesar 79,66 m³. Untuk menjaga sumber energi listrik jika terjadi kerusakan maka reaktor diasumsikan dapat bertahan selama 5 hari kedepan. Volume biodigesternya menjadi 398,3 m³.

Setelah mendapatkan volume biodigester, untuk menghitung diameter dapat menggunakan persamaan (6), maka diameternya sebesar 9,62 m. karena biodigester direncanakan dibangun dengan 2 buah maka diamaternya menjadi 4,81 m. dibawah ini adalah hasil perhitungan dari dimensi reaktor biodigester.

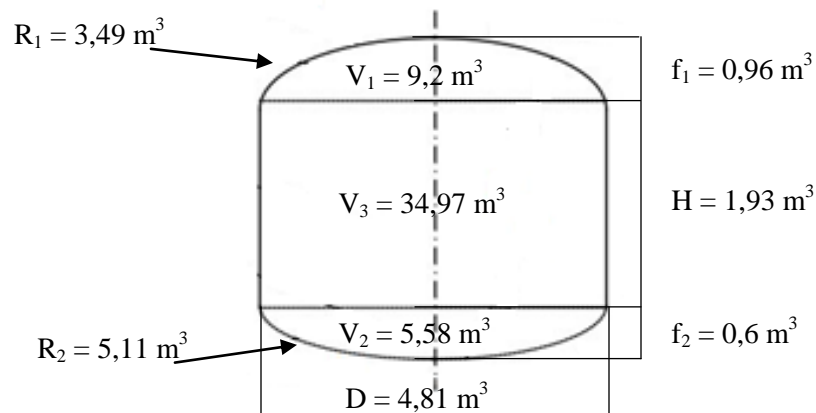
Tabel 4 Dimensi Reaktor Biodigester

Dimensi	Rumus Dimensi	Nilai	Dimensi	Rumus Dimensi	Nilai
V ₁	0,0827 x D ³	9,2 m ³	f ₁	D/5	0,96 m
V ₂	0,05011 x D ³	5,58 m ³	f ₂	D/8	0,60 m
V ₃	0,3142 x D ³	34,97 m ³	S ₁	0.911 x D ²	21,1 m ²
R ₁	0,725 x D	3,49 m	S ₂	0.8345 x D ²	19,3 m ²
R ₂	1,0625 x D	5,11 m	Vtotal	V ₁ + V ₂ + V ₃	49,75 m ³

Menentukan nilai H dengan menggunakan rumus volume tabung, sehingga:

$$V \text{ tabung } (V_3) = \frac{1}{4} \pi D^2 H$$

$$H = 1,93 \text{ m}$$



Gambar 2. Hasil Dimensi Reaktor

Setelah mendapatkan dimensi reaktor, maka dapat ditentukan tekanan dan tegangan yang terjadi di dalam reaktor dengan menggunakan persamaan (17) dan (18).

Tabel 5
Tekanan di dalam Reaktor

Dicari	Rumus	Nilai
Tekanan Operasi	-	1 atm (101,32 N/m ²)
Tekanan Hidrostatik	$\rho_{slurry} g H_L$	19.468,34 N/m ²
Tekanan kerja Absolut	$P_{operasi} + P_{Hidrostatik}$	19.569,66 N/m ²
Tekanan Desain	$1,1 \times P_{kerja Absolut}$	21.526,63 N/m ²

Tabel 6
Gaya pada Dinding Reaktor

Dicari	Rumus	Nilai
Luas penampang reaktor (A)	$2 \pi R H$	29,15 m ²
Gaya pada dinding (F)	P.A	627,5 kN

Gaya yang terjadi pada dinding reaktor sebesar 627,5 kN, maka dapat ditentukan tegangan yang terjadi pada dinding reaktor. Tebal pelat diasumsikan tebalnya 4 mm.

Tabel 7
Tegangan pada Dinding Reaktor

Dicari	Rumus	Nilai
Luas penampang dinding (A)	Panjang x tebal	29,18 m ²
Tegangan pada dinding (σ)	F/A	81,28 MPa
Tegangan Maksimum	$\sigma \times safety\ factor$	162,56 MPa

Tegangan yang terjadi pada reaktor adalah 162,56 MPa, sehingga material sesuai dengan reaktor biodigester adalah *stainless steel* karena mengandung kromium dan nikel yang berfungsi menjaga reaktor dari sifat korosi yang disebabkan oleh pH rendah, *Hydrogen sulfide*, *Carbon dioksida* dan air.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kebutuhan produksi biogas untuk pembangkit listrik kapasitas 0,6 MW sebesar 2610,6 m³/hari dan kebutuhan sampah organik perhari sebesar 39,83 m³/hari. Dimensi dari reaktor biodigester adalah diameter 4,81 m, tinggi 3,49 m dan tebal 4 mm. Untuk penelitian selanjutnya dapat ditingkat dengan menentukan material reaktor berdasarkan parameter yang dibutuhkan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Badan Pusat Statistik Kabupaten Tegal. *Kabupaten Tegal Dalam Angka 2017*. Tegal. (2017).
- [2]. Suyitno, Sujono, A., & Dharmanto. *Ilmu Biogas*. Yogyakarta: Graha Ilmu. (2010).
- [3]. Wahyuni, S. *Biogas Energi Alternatif Pengganti BBM Gas dan Listrik*. Jakarta Selatan: AgroMedia Pustaka. (2013).
- [4]. Sari, A., & Widodo, P. Perancangan dan Penerapan Instalasi Biogas Skala Kecil di Ciamis. *Prosiding Seminar Nasional*, 415-423. (2015).

- [5]. D, G. M., A, S. H., Priyati, A., S, D. A., & M, S. A. Rancang Bangun Reaktor Biogas Tipe Portable dari Limbah Kotoran Ternak Sapi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. (2017).
- [6]. McDonald, T., Achari, G., & Abiola, A. Feasibility of increased biogas production from the co-digestion of agricultural, municipal, and agro-industrial wastes in rural communities. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 263-273. (2008).
- [7]. Muthupandi, K. *Design of Biogas Plant*. Bangalore. (2007).