

PERANCANGAN REAKTOR BIODIGESTER TIPE *FIXED DOME* BERKAPASITAS 35 M³ *SLURRY* DI TPA PANUJAH TEGAL.

Eka Maulana^{1*}, Idham Kholid², dan Dhidik Mahandika³

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila Jakarta

ABSTRAK – Sampah organik merupakan komponen sisa yang dihasilkan makhluk hidup khususnya dikabupaten Tegal menghasilkan sampah organik sebesar 183,456 m³, hal ini dapat diolah digester dan menghasilkan biogas. Pada penelitian ini akan di jelaskan tentang bagaimana merancang Reaktor Biodigester untuk menghasilkan daya 2 kiloWatt/jam, dimulai dari indentifikasi kebutuhan, pembuatan konsep, pemilihan konsep, pemberian bentuk konsep, and perancangan detail melalui metoda perancangan french. Sistem kerja dari Reaktor Biodigester mempunyai tahapan digestive yang mengubah cairan *slurry* menjadi Biogas pada ruang tertutup dengan bantuan bakteri *Anaerob*. Varian 2 terpilih dari hasil rancangan Reaktor Biodigester tipe *Fixed dome* yang mempunyai kapasitas 35 m³ dengan nilai 0,185 mempunyai tekanan hidrostatik 0,035 MPa pada dasar dan 6,45 x 10⁻³ MPa pada dinding, ketebalan plat minimal dari tekanan tersebut 0,65 mm kemudian laju pengkaratan 6,60x10⁻⁴ mm/y, dan berdaya pengaduk 1,064 kW. Sambungan baut dan hasil lasan melalui perhitungan dikatakan aman. Material komponen yang dipakai SS 304, SS 201 dan *ASTM A36*.

Kata kunci : *Slurry* , *Fixed Dome*, *Biogas*,

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sampah merupakan komponen sisa yang terus dihasilkan manusia oleh karena itu dibutuhkan cara-cara yang khusus untuk menanggulangnya, semakin tinggi jumlah populasi manusia maka semakin tinggi juga jumlah sampah yang dihasilkan, mulai dari jenis sampah organik, dan non organik. Mengacu pada Pasal 4 Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang “Pengelolaan Sampah” sebagaimana diamanatkan dalam rangka mengubah sampah sebagai sumber energi dan meningkatkan kualitas lingkungan, Undang-undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, dengan pembuatan PLTSA mengacu pada kota-kota yang berkonsep pada Peraturan Presiden Nomor 18 tahun 2016 tentang Percepatan Pembangunan Pembangkit Listrik Berbasis Sampah di Provinsi DKI Jakarta, Kota Tangerang, Kota Bandung, Kota Semarang, Kota Surakarta, Kota Surabaya dan Kota Makassar. [1]

Alternatif pembangkit listrik yang mengubah sampah organik menjadi biogas dengan memanfaatkan alat reaktor biodigester, reaktor biodigester bekerja dengan memanfaatkan bakteri *anaerob* (bakteri non konsumsi oksigen) untuk melakukan fermentasi pada sampah organik. Pengolahan sampah yang dilakukan merupakan konsep (*zero waste*) dan bernilai ekonomis tinggi. Salah satu caranya adalah dengan menjadikannya sebagai pembangkit listrik tenaga sampah.

Anaerobic digestion merupakan suatu proses pengolahan biologis yang mengembalikan nilai produk, energi dan nutrisi, dari sampah organik menjadi bentuk yang dapat digunakan karena meniru konsep kekekalan energi. Proses *anaerobic digestion* menghasilkan output energi yang bersih dan tidak membuat pencemaran bau pada sekitar. Prinsip pengolahan pada biodigester adalah dengan membusukan sampah organik menggunakan bakteri *anaerob* pada suhu pembentukan *thermophilic* (53°C-55°C). Proses pembusukan (*retention time*) berkisar antara 10-60 hari. [2] Hasil dari proses pembusukan tersebut berupa gas (CH₄, CO₂, H₂S) serta padatan cair (*slurry*) yang dapat digunakan sebagai kompos.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari umum dari perancangan reaktor biodigester tipe *fixed dome* adalah untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan sebagai sumber energi alternatif mengurangi pemakaian sumber daya alam berupa minyak dan batu bara. Adapun tujuan khusus dari perancangan reaktor biodigester sebagai berikut.

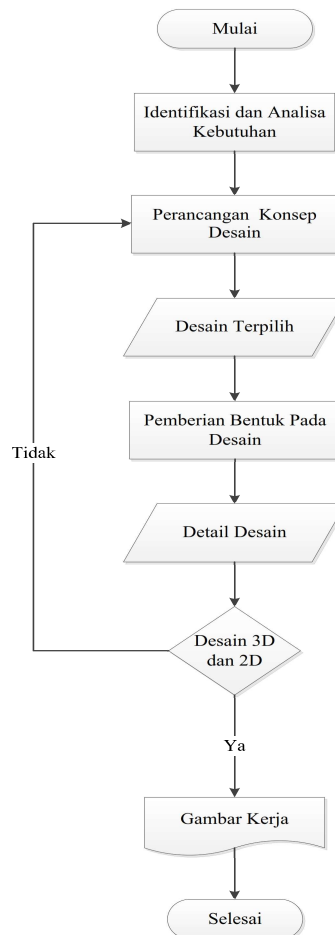
1. Untuk menghasilkan desain reaktor biodigester tipe *fixed dome* yang menampung 35 m³ *slurry* dengan output daya desain 2 kiloWatt/jam.
2. Menentukan material dan komponen utama dengan spesifikasi reaktor biodigester tipe *fixed dome*.

C. Rumusan Masalah.

1. Bagaimana menghasilkan desain reaktor biodigester tipe *fixed dome* yang menampung 35 m³ *slurry* untuk menghasilkan daya 2 kiloWatt/jam ?
2. Apa saja material dan komponen utama pembentuk reaktor biodigester tersebut ?

METODOLOGI

Berikut ini akan dijelaskan bagaimana tahapan-tahapan dalam perancangan reaktor biodigester tipe *fixed dome* berkapasitas 35 m³ untuk menghasilkan daya 2 kiloWatt/jam dengan menggunakan metodologi *French*. [3]



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Reaktor Biodigester. [3]

- a. Identifikasi Kebutuhan dan analisa kebutuhan : Identifikasi kebutuhan data merupakan kegiatan pengumpulan data ataupun informasi yang diperlukan dari reaktor biodigester.
- b. Perancangan Konsep desain : Pada fase ini dibutuhkan permasalahan yang telah dianalisa maka diperlukan suatu konsep desain. Konsep desain tersebut akan menjadi acuan untuk proses desain berikutnya.
- c. Desain Terpilih : Dalam fase ini, merencanakan proses desain yang meliputi desain awal yang sesuai konsep. Jika ada lebih dari satu pilihan maka akan dilakukan pemilihan sampai desain terpilih.
- d. Pemberian Bentuk Pada Desain : Dalam fase ini akan dikerjakan berdasarkan sketsa yang ada, dan jika terdapat lebih dari satu sketsa maka sketsa yang terpilih lah yang akan diberi bentuk yang detail dan sesuai satu kesatuan gambar, berikut dengan perhitungan yang menjadi landasan yang mempengaruhi kebutuhan reaktor.
- e. Gambar Detail Desain : Berikut ini adalah fase terakhir dari diagram alir yang mana merupakan proses *detailed* pada skets yang terpilih. Fase perancangan detail adalah fase terakhir dari proses perancangan dimana terdapat sangat banyak keputusan keputusan tentang hal-hal kecil tetapi penting yang harus diambil.
- f. Gambar Kerja : Berisi dokumen hasil kerja.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi kebutuhan

Identifikasi ini berdasarkan perbandingan dengan produk yang sudah ada dipasaran, melalui hal tersebut dapat ditentukan. Prasyarat teknologi pengolahan sampah organik yang dibutuhkan diantaranya yaitu:

1. Jenis Biodigester yang akan dibuat;
2. Kondisi Lingkungan Abiotis;
3. Temperatur (suhu) dikondisikan di dalam Biodigester;
4. Derajat keasaman (PH); dan
5. Pengadukan.

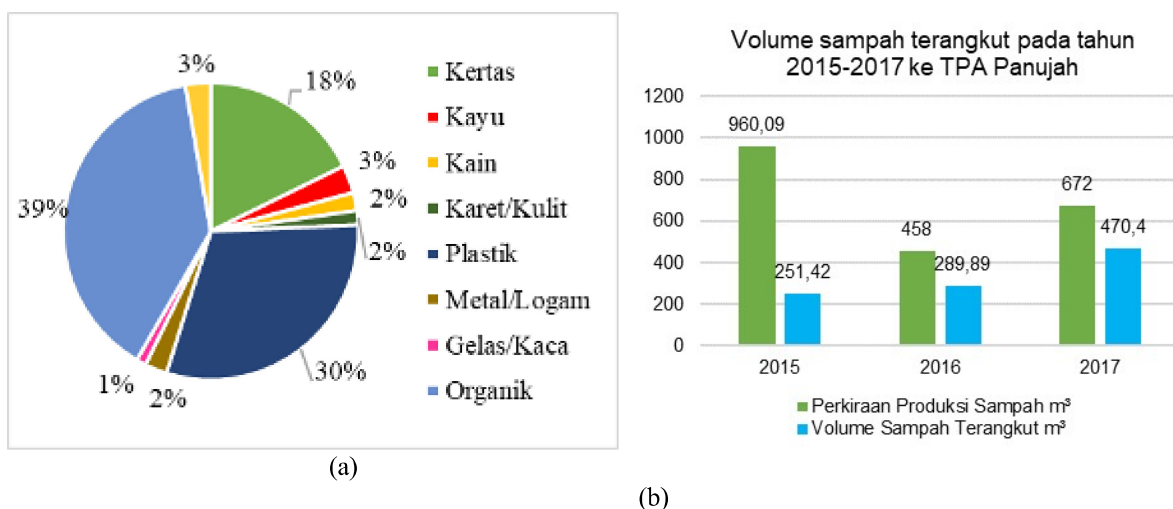
Tabel 1. *Wise and Demand* Reaktor Biodigester

NO	W D	Uraian Spesifikasi	Keterangan	
			BARU	LAMA
1	D	Menggunakan sistem pengolahan sampah organik yang kedap udara		O
2	D	Menggunakan Jenis Reaktor Biogas yang Sederhana		O
3	D	Menggunakan Sistem dan Instalasi pengolah sampah yang mudah dirawat dan diperbaiki		O
4	D	Penggunaan komponen dan instalasi yang mudah dirakit		O
5	D	Konstruksi dan Pemasangan yang kuat dan tahan terhadap bencana		O
6	W	Peningkatan Kualitas dan Kuantitas Biogas dengan menjaga temperatur	O	
7	D	Ketahanan reaktor biodigester terhadap korosi untuk memperpanjang umur pemakaian		O
8	W	Konsep pengaduk untuk memaksimalkan hasil produksi biogas dari bakteri <i>anaerob</i>	O	

B. Analisis Masalah Perancangan Reaktor Biodigester

1. Pengumpulan Data Lapangan

Perencanaan yang dibuat harus disesuaikan dengan jumlah komposisi Sampah organik yang ada di Kabupaten Tegal. Berdasarkan data yang diperoleh dari BPS Kabupaten Tegal pada tahun 2017, sampah organik dengan komposisi terbanyak yaitu sebesar 39 % jika dihitung persentase dengan volume sampah terangkut maka lebih kurang 183.456 m³, bisa dialihkan untuk pasokan PLTSa. Berikut ini adalah data produksi sampah yang ada di Kabupaten Tegal:



Gambar 2. (a) Komposisi Sampah di Kabupaten Tegal. (b) Volume Sampah Terangkut [4]

Kondisi geografis TPAS Penujah yang berada di dataran tinggi, dan berbukit-bukit dengan kemiringan

tertentu. Selanjutnya instalasi yang cocok pada produk ini adalah dengan menerapkan reaktor diatas tanah bukan ditanam dalam tanah, hal ini dikarenakan tinggi dari reaktor, dan tertimbunnya reaktor akibat longsor karena geografi TPA panujah yang berbukit-bukit.



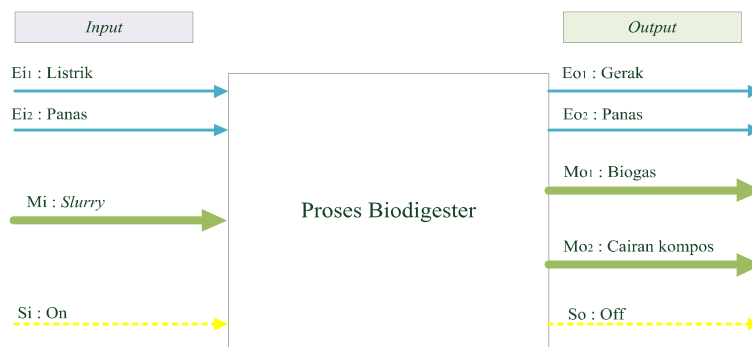
Gambar 3. Kondisi Geografis Tanah TPA Panujah.

Keadaan iklim Kabupaten Tegal dapat diinformasikan bahwa, bahwa Kabupaten Tegal beriklim tropis, dengan rata-rata curah hujan sepanjang tahun 2017 sebesar 141,54mm., Banyaknya curah hujan bergantung pada kelembaban udara yang tinggi, tetapi tekanan udara rendah dengan kecepatan angin, suhu udara dan lama penyinaran matahari serta penguapan sedang-sedang saja. Curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Februari sebanyak 394,3 mm dengan kelembapan 84 persen, Tekanan Udara 1010,1 milibar, Kecepatan rata-rata angin 4,00 knots, (7.40 km/jam) Suhu udara rata-rata 27,3° C dan Lama penyinaran matahari 130,9 jam. [1]

C. Perancangan Konsep

1. Blok fungsi

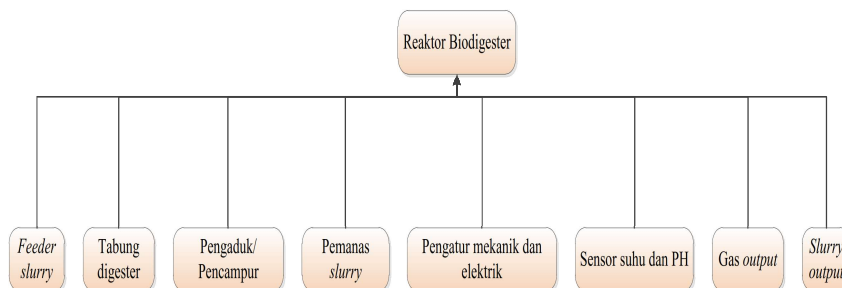
Blok fungsi reaktor biodigester akan memberikan gambaran tentang *feeder slurry* dan *slurry output* yang dihasilkan biodigester.



Gambar 4. Blok Fungsi

2. Pohon Fungsi

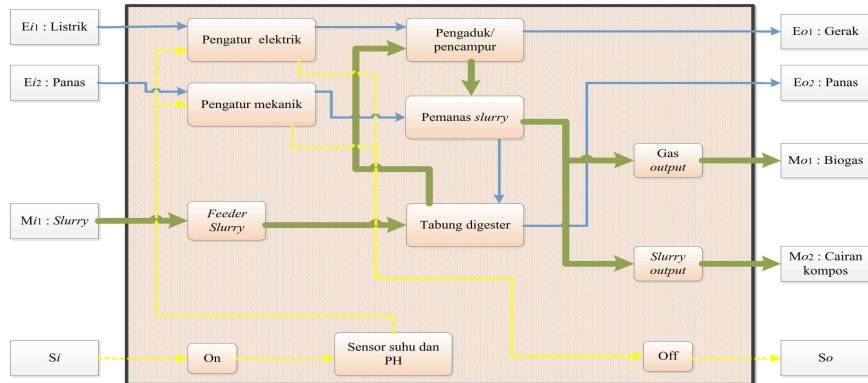
Dari blok fungsi diatas langkah selanjutnya yaitu menentukan pohon fungsi. Sebagai turunan dari blok fungsi yang berkaitan dengan system dan komponen utama reaktor biodigester.



Gambar 5. Pohon Fungsi

3. Diagram Fungsi.

Merupakan skema kerja dari reaktor biodigester, diagram fungsi menggabungkan pohon fungsi dan blok fungsi sebagai skema kerja yang menentukan kerja reaktor biodigester.



Gambar 6. Diagram Fungsi

4. Morphologi Chart

Langkah selanjutnya adalah menentukan jenis dan spesifikasi komponen yang akan digunakan, agar sesuai dengan identifikasi masalah yang telah dilakukan. berikut ini adalah *Morphological Chart* untuk perancangan reaktor biodigester di Kabupaten Tegal.

Tabel 2. Morphologi Chart

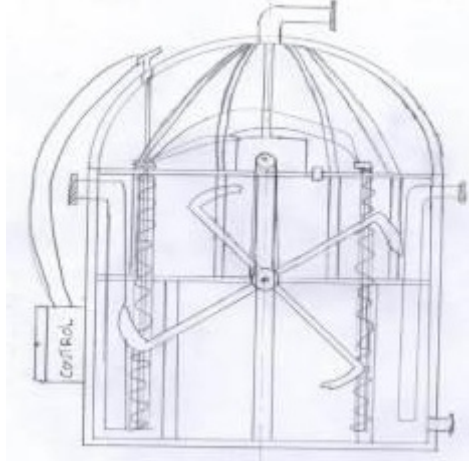
No	Sub Fungsi	Solusi A	Gambar	Solusi B	Gambar
1.	<i>Feeder slurry</i>	Katup dengan Corong		Katup dengan Lubang <i>flange</i>	
2.	Pengatur Mekanik dan Elektrik	Semi otomatis		Manual tombol	
3.	Pemanas <i>slurry</i> .	<i>Electric Heater</i>		Fluida gas <i>Heater</i>	
4.	Sensor Suhu dan PH	Menyatu		Terpisah	
5.	Pencampur/pengaduk	<i>Baffle</i> vertikal		<i>Baffle</i> horizontal	
6.	Tabung digester	<i>Fixed Dome</i> kubah hiperbola		<i>Fixed Dome</i> kubah kerucut	
7.	<i>Slurry output</i>	Pipa berlubang dengan katup		Pipa berlubang dengan katup dan <i>flange</i> .	

Sesuai dengan *Morphological Chart* di atas, berikut ini adalah hasil perancangan produk yang telah dihasilkan :

Varian 1 (1B-2B-3A-4A-5B-6A-7B), Cara Kerja:

- a) Saluran Masuk (*feeder slurry*) berbentuk pipa *flange* dengan katup, pemasukan campuran sampah organik melalui sambuanga pipa lain.

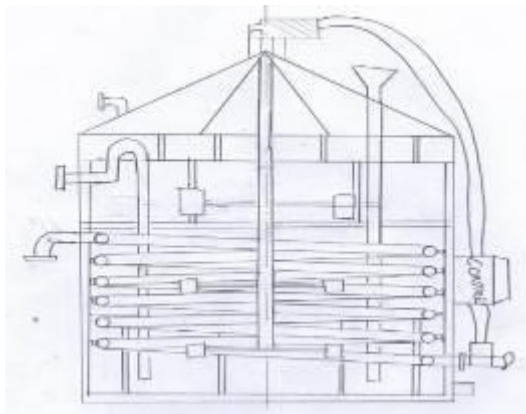
- b) Pengatur mekanik dan elektrik dengan manual tombol
- c) Untuk menjaga agar proses tetap pada suhu optimum pembusukan, maka dilakukan pemanasan pada digester dengan menggunakan electric heater.
- d) Menggunakan sensor suhu dan PH yang menyatu.
- e) Alat pencampur/pengaduk secara horizontal (menggunakan energi listrik) digunakan untuk mencampur sampah organik cacah dengan air dan bakteri anaerob.
- f) Sampah organic cacah yang telah tercampur dimasukkan ke dalam tabung digester tipe fixed dome (penutup tangki hiperbola).
- g) Saluran keluar (*output slurry*) berbentuk lubang pipa dengan katup dan *flange*.



Gambar 7. Varian 1

Varian 2 (1A-2B-3B-4A-5B-6A-7B), Cara Kerja:

- a) Saluran masuk (*feeder slurry*) berbentuk corong flange dengan katup.
- b) Pengatur mekanik dan elektrik dengan semi otomatis menggunakan *timer*.
- c) Untuk menjaga agar proses tetap pada suhu optimum pembusukan, maka dilakukan pemanasan pada digester dengan menggunakan *Heater* yang didistribusikan dari genset biogas.
- d) Menggunakan sensor suhu dan PH yang menyatu.
- e) Alat pencampur secara vertikal (menggunakan tenaga listrik) digunakan untuk mencampur sampah organik cacah dengan air dan bakteri anaerob.
- f) Sampah organic cacah yang telah tercampur dimasukkan ke dalam tangki digester tipe fixed dome (kepala tangki kerucut).
- g) Saluran keluar (*output slurry*) berbentuk lubang pipa dengan katup dan *flange*.



Gambar 8. Varian 2

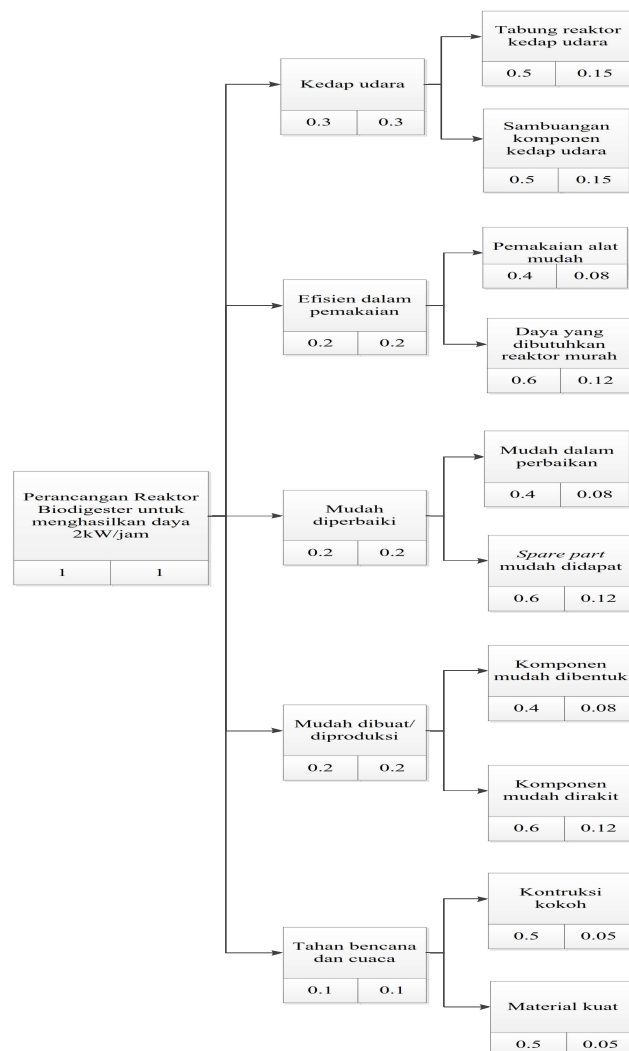
Pemilihan desain dengan mempertimbangkan kriteria sebagai berikut:

- a) Kedap Udara
 1. Tabung biodigester kedap udara
 2. Penyambungan komponen kedap udara

- b) Efisiensi dalam pemakaian
 - 1. Pemakaian alat mudah
 - 2. Daya yang dibutuhkan reaktor biodigester murah
- c) Mudah diperbaiki
 - 1. Mudah dalam perbaikan
 - 2. Spare part mudah didapat
- d) Mudah dibuat/diproduksi
 - 1. Komponen mudah dibentuk
 - 2. Komponen mudah dirakit
- e) Tahan Bencana dan Cuaca
 - 1. Konstruksi kokoh
 - 2. Material kuat

5. Pohon Keputusan

Untuk menentukan konsep yang ditentukan (dipilih), maka sebelumnya harus membuat pohon keputusan desain, seperti di bawah ini:



Gambar 9. Pohon Keputusan Desain

Setelah ditentukan pohon keputusan desain yang sesuai dengan kebutuhan, maka akan dibuat keputusan desain yang dibuat seperti di bawah ini:

Tabel 3. Pembobotan Nilai Varian

NO	KRITERIA	BOBOT	VARIAN 1		VARIAN 2	
			Nilai	bobot nilai	Nilai	bobot nilai
1	Tabung Reaktor Kedap Udara	0,15	4	0,6	4	0,6
2	Sambungan Komponen Kedap Udara	0,15	4	0,6	4	0,6
3	Pemakaian alat mudah	0,08	3	0,24	4	0,32
4	Daya yang Dibutuhkan Reaktor Murah	0,12	2	0,24	4	0,48
5	Mudah dalam Perbaikan	0,08	5	0,4	2	0,16
6	<i>Spare part</i> Mudah Didapat	0,12	4	0,48	3	0,36
7	Komponen Mudah Dibentuk	0,08	2	0,16	5	0,4
8	Komponen Mudah Dirakit	0,12	3	0,36	3	0,36
9	Konstruksi Kokoh	0,05	4	0,2	4	0,2
10	Material Kuat	0,05	4	0,2	4	0,2
TOTAL		1	35	3,48	37	3,68

Dari hasil perhitungan pembobotan varian diatas maka terpilihlah varian 2 dengan bobot nilai 3,68 dan nilai bobot akhir varian 0,184.

D. Perancangan Bentuk Dan Perhitungan

1. Perhitungan Kebutuhan Sampah Dan Volume Reaktor

Dalam menunjang perancangan reaktor biodigester diperlukan beberapa perhitungan teoritis, perhitungan ini sebagai dasar acuan untuk desain bentuk 3D yang akan dibuat pada software *pro-enginerring 5.0*

$$\begin{aligned} \text{Diket} &: \quad E_l = 2 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} = 48 \text{ kW} \\ &\quad H_{\text{Metan}} = 11,17 \text{ kWh/m}^3 \\ &\quad \eta_{el} = 34,8 \% [5] \\ \text{Dit} &: \quad V_{CH_4} = \dots? \end{aligned}$$

$$E_l = V_{CH_4} \times H_{\text{metan}} \times \eta_{el} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} V_{CH_4} &= \frac{E_l}{H_{\text{metan}} \times \eta_{el}} \\ &= \frac{48}{11,17 \times 34,8 \%} \\ &= \frac{48}{3,89} \\ &= 12,34 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Diasumsikan pesimis kerugian kehilangan gas metan akibat kebocoran sebesar 10% sehingga hanya 90% produksi gas metan yang masuk ke generator. Hal ini berdasarkan penelitian *Kurt Hjort-Gregersen* dengan judul laporan *Methane emission from Danish biogas plants*, kehilangan biogas 10% merupakan kehilangan terbesar dalam penelitian sehingga diharapkan kehilangan biogas kurang dari 10%. [6]

$$\begin{aligned} V_{gm} &= \frac{\text{Gas Metan}}{FK} \\ &= \frac{12,34}{0,9} \\ &= 13,72 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Gas Metan (Vgm)} = 60\% \times V_b \tag{2}$$

$$\begin{aligned} V_b &= \frac{\text{Gas Metan}}{60 \%} \\ &= \frac{13,72}{60 \%} \\ &= 22,86 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Produksi Biogas (Vb)} = 0,676 \times \text{VS} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{VS} &= \frac{\text{Vb}}{0,676} \\ &= \frac{22,86}{0,676} \\ &= 33,82 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volatile Solid (VS)} = \% \text{ VS} \times \text{TS} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{TS} &= \frac{\text{VS}}{\% \text{ VS}} \\ &= \frac{33,82}{74,1 \%} \\ &= 45,64 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Total Solid (TS)} = \% \text{ TS} \times \text{Pso} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Pso} &= \frac{\text{TS}}{\% \text{ TS}} \\ &= \frac{45,64}{27,7 \%} \\ &= 164,76 \text{ kg} \end{aligned}$$

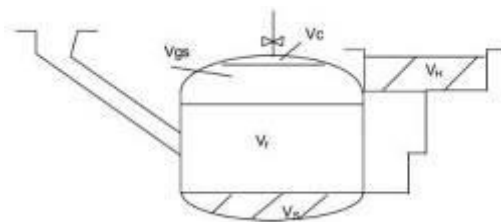
Diasumsikan massa jenis sampah organik yang dipakai adalah 290 kg/m^3 . [7] Hal ini mengacu pada literatur sebelumnya jumlah padatan organik yang dipakai merupakan sisa-sisa produk pertanian maka volume sampah yang dibutuhkan adalah:

$$\text{Volume sampah} = \frac{164,76 \text{ kg}}{290 \text{ kg/m}^3} = 0,56 \text{ m}^3$$

Dengan perbandingan campuran sampah yang akan digunakan yaitu 1:3 dengan sampah organik 1 bagian dan air 3 bagian maka total volume *slurry* harian masuk sampah adalah:

$$\begin{aligned} V_{\text{biodigester}} &= V_{\text{sampah}} + (3 \cdot V_{\text{air}}) \\ &= 0,56 \text{ m}^3 + (0,56 \text{ m}^3 \cdot 3) = 2,24 \text{ m}^3 \times 14 \text{ hari} = 31,36 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Selanjutnya lamanya proses *digestive (Retention Time)* mempunyai waktu 14 hari terhitung dari hari pertama pemasukan *slurry*, jadi volume penampung *slurry* $31,36 \text{ m}^3$. Lalu memberikan toleransi faktor kelonggaran tambahkan 10% dari volume penampung *slurry*, maka tabung penampung dibuat sebesar 35 m^3 . Jika diasumsikan diameter tabung reaktor 3,2 m, asumsi ini dipakai untuk mempermudah pengangkutan reaktor menggunakan transportasi mobil berbanding dengan tinggi total reaktor biodigester.



Gambar 10. Bagian-bagian dari Biodigester [8]

$$V = V_c + V_{gs} + V_f + V_h + V_s \quad (6)$$

Keterangan :

V_c : Volume ruang pengumpul gas

V_{gs} : Volume ruang penyimpanan gas

V_f : Volume ruang fermentasi

V_h : Volume ruang hidrolik

V_s : Volume lapisan lumpur

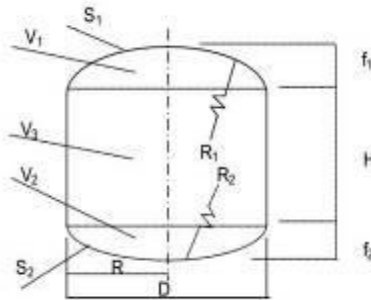
Total Volume Biodigester :

$$\text{Tinggi tabung penampung } \textit{slurry} = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot d^2} = \frac{35 \text{ m}^3 \cdot 4}{\pi \cdot 3,2 \text{ m}^2} = 4,35 \text{ m.}$$

Dari rumus pada $V_{gs} + V_f = 80\% V$, V_{gs} merupakan volume ruang penyimpanan gas diasumsikan dengan persamaan dibawah:

$$V_1 = 0,0827 D^3 \tag{7}$$

$$V_1 = 0,0827 (3,2 \text{ m})^3 = 2,70 \text{ m}^3$$



Gambar 11. Dimensi Geometris Biodigester. [8]

Dari volume total penampungan *slurry*, maka didapat $2,70 \text{ m}^3$ sebagai ruang penyimpanan biogas pada tabung reaktor biodigester, selanjutnya menghitung tinggi tabung tersebut :

$$\text{Tinggi tabung penyimpan biogas} = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot d^2} = \frac{2,70 \text{ m}^3 \cdot 4}{\pi \cdot 3,2 \text{ m}^2} = 0,33 \text{ m.}$$

Ruang pengumpul gas, $V_c \leq 5\% V$, [8] dari volume total penampungan *slurry*, maka didapat $1,70 \text{ m}^3$ volume ruang pengumpul gas, agar ruang pengumpul gas efektif sebagai pengganti bentuk *round* (lengkungan) dibuatlah *cover* penutup *fixed dome* berbentuk kerucut.

$$\text{Tinggi kerucut pengumpul biogas} = \frac{V \cdot 12}{\pi \cdot d^2} = \frac{1,7 \text{ m}^3 \cdot 12}{\pi \cdot 3,2 \text{ m}^2} = 0,63 \text{ m.}$$

Dari perhitungan diatas didapat tinggi total reaktor biodigester (tidak termasuk tinggi motor listrik), hanya tabung reaktor biodigester.

T. Total tabung reaktor biodigester = $4,35 \text{ m} + 0,33 \text{ m} + 0,63 \text{ m} = 5,31 \text{ m}$, dan

V. total tabung reaktor biodigester = $35 \text{ m}^3 + 2,7 \text{ m}^3 + 1,70 \text{ m}^3 = 39,4 \text{ m}^3$.

2. Perhitungan Tekanan Hidrostatik dan Kekuatan Tabung

a. Tekanan Hidrostatik Pada Tabung Reaktor Biodigester

Gaya tekan yang berlangsung pada tabung reaktor biodigester merupakan gaya tekan hidrostatik dengan asumsi volume penuh dengan kapasitas 35 m^3 maka:

$$\rho_{slurry} = 290 \left(\frac{25}{100} \right) + 1000 \left(\frac{75}{100} \right) = 822,5 \text{ kg/m}^3$$

Berat total *slurry* = $35 \text{ m}^3 \times 822,5 \text{ kg/m}^3 = 28787,5 \text{ kg}$ maka diubah :

$$F = m \times g = 282405,375 \text{ N} \text{ atau } 282,405 \text{ kN}$$

Untuk tekanan pada alas dengan gaya yang telah dapat dihitung maka :

$$P_{\text{alas}} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot \frac{1}{4} \cdot (d)^2} = \frac{282405,37 \text{ N}}{\pi \cdot \frac{1}{4} \cdot (3200 \text{ mm})^2}$$

$$= \frac{282405,37 \text{ N}}{8042477,19 \text{ mm}^2} = 0,035 \text{ MPa}$$

$$P_{\text{dinding}} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot t} = \frac{282405,37 \text{ N}}{\pi \cdot 3200 \text{ mm} \cdot 4350 \text{ mm}}$$

$$= \frac{282405,37 \text{ N}}{43730969,74 \text{ mm}^2}$$

$$= 6,45 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

b. Ketebalan Minimal Dinding Reaktor Biodigester

Setelah menentukan tekanan yang terjadi pada dinding tabung reaktor biodigester diperlukan perhitungan tebal plat. Kita masukan faktor keamanan 3, faktor keamanan ini mengacu pada ASME B31.1 seksi boiler dan bejana bertekanan untuk pemakaian 20 tahun, yang berarti

kekuatan plat 3 kali lebih kuat dengan tekanan kerja yang sama, material yang digunakan adalah SS 304 dengan *Tensile strength* 517 MPa.

$$\sigma_t = \frac{\sigma_u}{FS}$$

$$\sigma_t = \frac{517 \text{ Mpa}}{3} = 172,3 \text{ MPa}$$

dengan material SS 304, dengan dimensi jari-jari 3200 mm dan *pressure*/tekanan terdapat pada alas tabung sebesar 0,035 MPa.

$$t = r_i \left[\sqrt{\frac{\sigma_t + P}{\sigma_t - P}} - 1 \right] \quad (8)$$

$$t = 3200 \text{ mm} \left[\sqrt{\frac{172,3 + 0,035}{172,3 - 0,035}} - 1 \right]$$

$$t = 0,65 \text{ mm}$$

c. *Corrosion Allowance* Dan Laju Korosi Pada Dinding Reaktor Bioigester

Corrosion allowance kita berikan sebesar 1/8 inch atau 0,3175 mm [9] berfungsi sebagai kelebihan bahan yang disediakan untuk dikikis oleh korosi.

Melalui penelitian yang dilakukan oleh Puguh ogi nurachman “Analisa Laju Korosi Pada Pump Impeller Di Industri Pertambangan Batu Bara” tes yang digunakan berdasarkan ASTM G1-72. [10] material yang digunakan merupakan material SS 304 dengan variable pengkorosi air limbah batu bara dengan PH 6,7-7,6 didapat nilai 0,026 *mpy*, dikonversikan nilai tersebut menjadi mm/years menjadi :

$$\text{Konversi} = 0,026 \text{ mpy} \times \left(\frac{8,76 \times 10^4}{3,45 \times 10^6} \right) \text{ mm/years}$$

$$\text{Konversi} = 6,60 \times 10^{-4} \text{ mm/y}$$

Untuk umur pemakaian reaktor biodigester selama 20 tahun maka laju korosi sebesar 0,013 mm.

Perancangan tabung menggunakan plat SS 304 dengan tebal 3 mm, maka :

$$\text{Tebal sisa} = 3 \text{ mm} - 0,013 \text{ mm} - 0,65 \text{ mm} = 2,33 \text{ mm}.$$

d. Kekuatan Hasil Pengelasan Pada Dinding Reaktor Biodigester

Penyambungan plat dinding pada reaktor menggunakan hasil pengelasan GTAW dan dengan elektroda yang digunakan NSN 308 Ø 2,6 mm. *Dissimiliar* material pada *stainless steel* dan *carbon steel* mempunyai kisaran *tensile strength* 470,71-500,13 MPa. [11]

$$l = \frac{3200 \times \pi}{5 \text{ (jumlah plattabung)}} = 2010 \text{ mm}$$

$$P = 0,707 \text{ s} \times l \times \sigma_t \quad (9)$$

$$P = 0,707 (3 \text{ mm}) \times 2010 \text{ mm} \times 490 \text{ MPa}$$

$$P = 2088973 \text{ N atau } 2088,97 \text{ kN}.$$

Hasil kekuatan pengelasan 2088,97 kN \geq 282,405 kN gaya tekanan yang dihasilkan *slurry*.

3. Menghitung Daya Motor

Untuk menghitung daya motor perlu diketahui torsi dari setiap sirip pengaduk, dari ketinggian setiap sirip yang berbeda, disamaratakan tekanan pada dinding tabung dan di sirip.

Menggunakan tekanan pada dinding digester yang sudah didapat pada langkah perhitungan maka:

$$F(\text{sirip 1}) = P \times A$$

$$F(\text{sirip 1}) = 6,45 \times 10^{-3} \text{ MPa} \times 43282 \text{ mm}^2$$

$$F(\text{sirip 1}) = 279,16 \text{ N}.$$

$$F(\text{sirip 2}) = 6,45 \times 10^{-3} \text{ MPa} \times 35226 \text{ mm}^2$$

$$F(\text{sirip 2}) = 227,20 \text{ N}.$$

Torsi yang didapat adalah :

$$T (\text{sirip 1}) = F \times r$$

$$T (\text{sirip 1}) = 4 \times 279,16 \text{ N} \times 0,57 \text{ m}$$

$$T (\text{sirip 1}) = 636,48 \text{ N.m}$$

$$\begin{aligned} T (\text{sirip } 2) &= 2 \times 227,20 \text{ N} \times 0,464 \text{ m} \\ T (\text{sirip } 2) &= 210,84 \text{ N.m} \\ T (\text{total}) &= T(\text{sirip } 1) + T (\text{sirip } 2) \\ T (\text{total}) &= 636,48 \text{ N.m} + 210,84 \text{ N.m} \\ T (\text{total}) &= 847,32 \text{ N.m} \end{aligned}$$

Daya pada motor dengan rpm perancangan 12 rpm adalah :

$$P = \frac{T \times 2\pi \times n}{60} \quad (10)$$

$$P = \frac{847,32 \text{ N.m} \times 2\pi \times 12}{60} = 1064,77 \text{ W} = 1,064 \text{ kW}$$

4. Menghitung Ketebalan Poros

Poros yang digunakan merupakan poros dengan material ASTM A36 berdiameter luar 60 mm dengan *shear strength* 300 MPa. [12]

$$T = \frac{\pi}{16} \times \tau (d_o)^3 (1-k^4) \quad (11)$$

Faktor keamanan dimasukkan 3 dihitung sebagai berikut :

$$\tau_a = \frac{\tau}{FS} = \frac{300 \text{ MPa}}{3} = 100 \text{ MPa}$$

$$T = \frac{P \times 60}{2\pi \times n} = \frac{1,06 \times 10^3 \times 60}{2\pi \times 12} = 846,70 \text{ N.mm}$$

$$846,70 \text{ N.mm} = \frac{\pi}{16} \times 100 \text{ MPa} (60)^3 (1-k^4) = 4241150 (1-k^4)$$

$$k = \sqrt[4]{\frac{846,70 \text{ N.mm} - 4241150}{-4241150}} = 0,99$$

$$d_i = 0,99 (d_o) = 0,99 (60 \text{ mm}) = 59,4 \text{ mm}$$

maka $d_o - d_i = 0,6 \text{ mm}$, karena dipasaran untuk pipa *hollow* dengan diameter luar 60 mm dan diameter dalam 52 mm maka ketebalan pipa yang dipakai sebagai pengaduk adalah 4 mm bisa dikatakan torsional pengaduk aman dari beban putaran untuk mengaduk *slurry*.

5. Menghitung Umur Bearing

Bearing dalam pemakaiannya membutuhkan waktu kerja untuk sewaktu-waktu diganti atau diperbaiki (*maintenance*) bearing yang dipakai merupakan bearing jenis UCF 212 *groove ball bearing* dengan kemampuan beban static (C_0) = 32 kN dan beban dinamis (C) = 40,5 kN, [13] untuk mencari umur *bearing* perlu diketahui beban aksial (W_A) berupa jumlah berat pengaduk, berdasarkan analisis menggunakan *software proengineering* didapat beban pengaduk sebesar 38,57 kg diubah ke newton menjadi 378,37 N, sedangkan untuk beban radial (W_R) berdasarkan gaya sentrifugal didapat sebesar 259,36 N.

$$W = X \cdot V \cdot W_R + Y \cdot W_A \quad (12)$$

$$L = \left(\frac{C}{W}\right)^k \times 10^6 \text{ revolution} \quad (13)$$

$$L_H = \frac{L}{60 \times N} \quad (14)$$

Maka perhitungan umur *bearing* yang dipakai adalah :

$$W = 0,56 \times 1 \times 259,36 \text{ N} + 1,4 \times 378,37 \text{ N}$$

$$W = 674,95 \text{ N}$$

$$L = \left(\frac{40500 \text{ N}}{674,95 \text{ N}}\right)^3 \times 10^6 = 2,16 \times 10^{11}$$

$$L_H = \frac{2,16 \times 10^{11}}{60 \times 12} = 3 \times 10^8 \text{ jam.}$$

Ball bearing UCF 212 yang dipakai pada pengaduk untuk mengaduk *slurry* mempunyai *life time* 3 x 10⁸ jam.

6. Perhitungan Sambungan Baut

direncanakan sambungan baut dikatakan aman apabila kekuatan baut lebih besar dari kekuatan hidrostatik

- a. Perhitungan sambungan baut pada *manhole*
Pada flange *manhole* digunakan baut M16 dengan *property class* 4,6 mempunyai tensile strength 400 MPa, *diameter core* (dc) 13,54 mm [13]
- $$P = \frac{\pi}{4} (dc)^2 \sigma_t \times n \quad (15)$$
- $$P = \frac{\pi}{4} (13,54 \text{ mm})^2 \times 400 \text{ MPa} \times 16 \text{ baut}$$
- $$P = 921525,13 \text{ N atau } 921,52 \text{ kN.}$$
- Pada gaya hidrostatik didapat $282,405 \text{ kN} \leq 921,52 \text{ kN}$.
- b. Perhitungan sambungan baut pada *drainhole*
Pada flange *drainhole* digunakan baut M12 dengan *property class* 8,8 mempunyai tensile strength 800 MPa, *diameter core* (dc) 9,858 mm.[13]
- $$P = \frac{\pi}{4} (9,858 \text{ mm})^2 \times 800 \text{ MPa} \times 8 \text{ baut}$$
- $$P = 488480,78 \text{ N atau } 488,48 \text{ kN.}$$
- Pada gaya hidrostatik didapat $282,405 \text{ kN} \leq 488,48 \text{ kN}$.

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Tahap perancangan reaktor biodigester berdasarkan identifikasi kebutuhan, perancangan konsep, perhitungan dan gambar detail.
2. Varian terpilih untuk menghasilkan 2kW/jam berdasarkan identifikasi kebutuhan yang ada di TPAS Penujah Kabupaten Tegal adalah Varian 2 dengan keunggulan mudah dibuat, mudah perawatan dan konstruksi kokoh, dengan parameter teknik dimensi Ø3306 x 5935 mm, mempunyai tekanan pada alas 0,035 MPa dan tekanan pada dinding reaktor $6,45 \times 10^{-3}$ MPa tebal plat 3 mm daya motor pengaduk 1,068 kW mempunyai 12 rpm dan umur bearing 3×10^8 jam.
3. Material yang dipakai carbon steel A36 pada rangka dan Stainless steel SS 304 dan SS 201 untuk mengurangi laju korosi pada dinding reaktor biodigester
4. Komponen utama yang digunakan adalah reaktor biodigester tipe *fixed dome*, Heater, Motor Listrik dan Pengaduk

B. Saran

1. Sebaiknya dilakukan kajian lebih mendalam terhadap pengaruh kondisi faktor korosi, umur rancangan ; dan
2. Sebaiknya dilakukan diperhitungkan cara pengurangan produksi gas lain yang dihasilkan dari biodigester.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. S. Liddinillah, Y. Ardiansyah, And E. Maulana, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Organik Zero Waste Di Kabupaten Tegal (Studi Kasus Di Tpa Penujah Kabupaten Tegal)," Vol. 06, No. 4, Pp. 282–289, 2017.
- [2] Suyitno, A. Sujono, And Dharmanto, *Teknologi Biogas*, Cetakan Pe. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [3] D. Harsokoesoemo, *Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk)*, 2nd Ed. Bandung Indonesia: Bandung Penerbit Itb , 2004, 2004.
- [4] BPS Kabupaten Tegal, "Kabupaten Tegal Dalam Angka 2018." Cv. Romo Tegal, P. 453, 2018.
- [5] A. M. L. Sanfiyan, "Perancangan Reaktor Biodigester Untuk Bahan Bakar Pembangkit Listrik Biogas Kapasitas 50 Kw (Studi Kasus Di Tpa Penujah Kabupaten Tegal) Skripsi Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Pancasila, Jakarta." Pp. 5–14, 2017.
- [6] K. Hjort-Gregersen, "Methane Emission From Danish Biogas Plants Economic Impact Of Identified Methane Leakages," *Agro Tech*, No. March, 2014.
- [7] R. Chandrappa And D. B. Das, "Solid Waste Management, Environmental Science And Engineering," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.
- [8] N. Maheta, B. Kathiriya, And N. Joshi, "Design Of Digester For Biogas Plant For Kadi Sarva

- Vishwavidhlya Gandhinagar Gujarat,” Vol. 4, No. 7, 2015.
- [9] M. S. Peters And K. D. Timmerhaus, *Plant Design And Economics For Chemical Engineers*, 4th Ed. New York: Mcgraw-Hill, Inc., 1991.
- [10] P. O. N. Rachman, “Analisa Laju Korosi Pada Pump Impeller Di Industri Pertambangan Batu Bara,” *Jtm*, Vol. 05, No. 1, Pp. 7–13, 2016.
- [11] M. Y. L. Nasrul, H. Suryanto, And A. Qolik, “Pengaruh Variasi Arus Las Smaw Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Sambungan Dissimilar Stainless Steel 304 Dan St 37,” *Jtm*, No. 1, Pp. 1–12, 2016.
- [12] Anonim “Astm A36 (Ss400, S275) Structural Carbon Steel :: Makeitfrom.Com.” [Online]. Available: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/astm-a36-ss400-s275-structural-carbon-steel>. [Accessed: 05-Feb-2019].
- [13] R. S. Khurmi And J. K. Gupta, *Manchine Design*, 4th Ed., Vol. 4, No. 2. Ram Nagar, New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) LTD., 2005.