

BAB IV
HASIL PERANCANGAN, PEMBUATAN,
DAN PENGUJIAN ALAT

4.1 Proses Perancangan Alat

4.1.1 Massa Biogas (\dot{m}_{Biogas})

Berdasarkan koefisien kelarutan CO₂ dalam air (k) pada Gambar 2.7 bahwa pada suhu atmosfer (27⁰C) untuk setiap 1,3 g CO₂ membutuhkan air sebanyak 1 kg atau 1 L. Massa biogas dicari terlebih dahulu menggunakan *persamaan gas ideal* agar volume air yang dibutuhkan dapat diketahui. Pada rancangan ini, debit biogas yang akan dimurnikan adalah 0,43 m³/jam dengan 54,77% volume CH₄ dan 41,96% volume CO₂ (Tabel 1.1) dan umumnya biogas menghasilkan tekanan sampai 1,095 atm (Sholeh dkk., 2012)

$$P = 1,095 \text{ atm} \cdot \frac{101.325 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} = 110950 \text{ Pa}$$

$$Q_{\text{biogas}} = 0,43 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \cdot \frac{1 \text{ jam}}{60 \text{ menit}} = 0,00717 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}}$$

$$Q_{\text{CO}_2} = 0,4196 \cdot Q_{\text{biogas}} = 0,4196 \cdot 0,00717 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} = 0,003 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}}$$

$$Q_{\text{CH}_4} = 0,5477 \cdot Q_{\text{biogas}} = 0,5477 \cdot 0,00717 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} = 0,004 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}}$$

$$R_u = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$m_{\text{rCO}_2} = A_{\text{rC}} + 2A_{\text{rO}} = [12 + (2 \cdot 16)] \text{ g/mol} = 44 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{rCH}_4} = A_{\text{rC}} + 4A_{\text{rH}} = [12 + (4 \cdot 1)] \text{ g/mol} = 16 \text{ g/mol}$$

$$T = 27^0\text{C} + 273 = 300 \text{ K}$$

$$P \cdot Q = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_r} \cdot R_u \cdot T \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\dot{m} = \frac{P \cdot Q \cdot \dot{m}_r}{R_u \cdot T}$$

$$\dot{m}_{\text{Biogas}} = \dot{m}_{\text{CO}_2} + \dot{m}_{\text{CH}_4}$$

$$= \frac{P \cdot Q_{\text{CO}_2} \cdot \dot{m}_{r\text{CO}_2}}{R_u \cdot T} + \frac{P \cdot Q_{\text{CH}_4} \cdot \dot{m}_{r\text{CH}_4}}{R_u \cdot T}$$

$$= \frac{110950 \text{ Pa} \cdot 0,003 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \cdot 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{mol} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^2} \cdot 300 \text{ K}} + \frac{110950 \text{ Pa} \cdot 0,004 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \cdot 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{mol} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^2} \cdot 300 \text{ K}}$$

$$= 5,88 \frac{\text{g}}{\text{menit}} + 2,84 \frac{\text{g}}{\text{menit}}$$

$$= 8,73 \frac{\text{g}}{\text{menit}}$$

4.1.2 Volume Air (V_{Air})

Volume Air yang dibutuhkan dapat diketahui dari koefisien kelarutan gas CO_2 terhadap air (Gambar 2.7).

$$k = 1,3 \frac{\text{g CO}_2}{\text{kg Air}}$$

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 5,88 \frac{\text{g}}{\text{menit}}$$

$$k = \frac{\dot{M}_{\text{CO}_2}}{\dot{M}_{\text{Air}}}$$

$$\dot{M}_{\text{Air}} = \frac{\dot{M}_{\text{CO}_2}}{k}$$

$$= \frac{5,88 \frac{\text{g CO}_2}{\text{menit}}}{1,3 \frac{\text{g CO}_2}{\text{kg Air}}}$$

$$= 4,5 \frac{\text{kg Air}}{\text{menit}}$$

$$Q_{\text{air}} = 4,5 \frac{\text{L Air}}{\text{menit}}$$

$\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ $= 1 \text{ kg/L}$

Maka Debit Air yang harus tersedia minimal $4,5 \frac{\text{L Air}}{\text{menit}}$ atau Volume Air yang harus tersedia untuk penyerapan selama satu menit sebesar 4,5 L.

4.1.3 Ukuran Tandon Air

Berdasarkan perhitungan Volume Air, maka tandon air dapat dibuat dari pipa berdiameter 3".

$$D = 3'' \cdot \frac{0,0254 \text{ m}}{1''} = 0,0762 \text{ m}$$

$$V_{\text{Air}} = 4,5 \text{ L} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,0045 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume} = \text{Luas} \cdot \text{Tinggi}$$

$$V_{\text{Air}} = A \cdot z$$

$$z = \frac{V_{\text{Air}}}{A}$$

$$= \frac{V_{\text{Air}}}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}$$

$$= \frac{0,0045 \text{ m}^3}{\pi \cdot \frac{(0,0762 \text{ m})^2}{4}}$$

$$= 0,99 \text{ m}$$

$$\sim 1 \text{ m}$$

4.1.4 Kedalaman Air Maksimal (H_{max})

Perbedaan ketinggian (ΔH) yang akan diperoleh saat menggunakan manometer U adalah perbedaan tekanan (ΔP) yang terjadi antara tekanan atmosfer (P_{atm}) dengan tekanan biogas (P_{biogas}). Jika kolom air naik pada sisi kanan, tekanan yang besar adalah P_{biogas} dan begitupun sebaliknya jika kolom air naik pada sisi kiri, tekanan yang besar adalah P_{atm} .

$$P_{\text{biogas}} = 1,095 \text{ atm}$$

$$P_{\text{atm}} = 1 \text{ atm}$$

$$\rho_{\text{air}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_{\text{abs.}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{gauge}} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$P_{\text{biogas}} = P_{\text{atm}} + \Delta P$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{\text{biogas}} - P_{\text{atm}} \\ &= (1,095 - 1) \text{ atm} \end{aligned}$$

$$= 0,095 \text{ atm}$$

$$= 0,095 \text{ atm} \cdot \frac{101325 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}}$$

$$= 9625,87 \text{ Pa}$$

Dari ΔP di atas, kedalaman air maksimal yang dapat dilawan oleh biogas sebesar:

$$\Delta P = \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot \Delta H \dots \dots \dots (2.11)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \Delta H$$

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}$$

$$= \frac{9625,87 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0,98 \text{ mka}$$

4.2 Proses Pembuatan Alat

4.2.1 Alat dan Bahan Pembuatan

a) Alat

- | | |
|------------------|-----------------------|
| 1. Lem Pipa | 4. <i>Marker</i> |
| 2. <i>Solder</i> | 5. <i>Double Tape</i> |
| 3. Gunting | |


b) Bahan

- | | |
|-----------------------|------------------|
| 1. Pipa PVC Ø3" | (0,9 m) |
| 2. Tutup Pipa PVC Ø3" | (2 buah) |
| 3. Katup Biogas Ø¼" | (1 buah) |
| 4. Selang Air Ø8 mm | (1 m) |
| 5. Selang Air Ø4 mm | (4 m) |
| 6. Kayu | (2 m) |
| 7. <i>Cable Ties</i> | (1 <i>pack</i>) |
| 8. Engsel Pintu | (1 buah) |
| 9. Meteran | (1 buah) |




4.2.2 Langkah-langkah Pembuatan

Pembuatan alat dijelaskan pada Tabel 4.1.

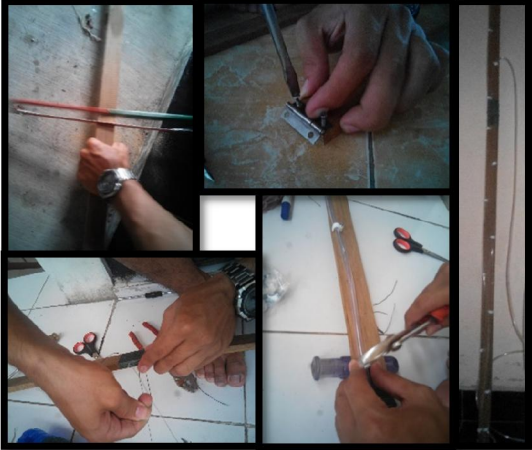

Tabel 4.1 Langkah-langkah Pembuatan

No.	Langkah-langkah	Alat dan Bahan yang digunakan
1.	Melubangi Pipa sesuai dengan diameter selang. 	1. Pipa 2. <i>Marker</i> 3. <i>Solder</i>

Tabel 4.1 Langkah-langkah Pembuatan (lanjutan)

No.	Langkah-langkah	Alat dan Bahan yang digunakan
2.	Memasukkan Selang Input Biogas dan <i>Bubbler</i> . 	1. Pipa 2. Selang Ø4 mm 3. Isolasi 4. <i>Bubbler</i>
3.	Melubangi Tutup Pipa untuk keluaran biogas. 	1. Tutup Pipa 2. <i>Solder</i> 3. Selang
4.	Memasang Indikator Kedalaman Air 	1. Pipa 2. <i>Double Tape</i> 3. Meteran

Tabel 4.1 Langkah-langkah Pembuatan (lanjutan)




No.	Langkah-langkah	Alat dan Bahan yang digunakan
5.	<p>Membuat Manometer</p>  <p>*Manometer dibuat dari balok kayu dengan panjang 2 m yang diberi selang manometer U sehingga dapat mengukur perbedaan ketinggian air sampai dengan 2 m.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kayu 2. <i>Cable Ties</i> 3. Engsel Pintu 4. Selang
6.	<p>Selesai</p> 	

4.3 Proses Pengujian Alat

4.3.1 Alat dan Bahan Pengujian

Alat dan bahan pengujian dijelaskan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Alat dan Bahan Pengujian

No.	Alat dan Bahan	Spesifikasi
Alat		
1.	<p><i>Gas Analyzer/Kromatografi (Simadzu GC-2010 plus)</i></p> 	<p>Pengujian sample dilakukan di Lab. Pengelolaan Limbah Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.</p>
2.	<p><i>Vacuum Tube</i></p> 	<p>Volume 5 ml (9 buah) 2 sample/variasi dan 1 sample biogas mentah</p>
3.	<p>Suntikan</p> 	<p>Volume 10 ml</p>

Tabel 4.2 Alat dan Bahan Pengujian (lanjutan)

No.	Alat dan Bahan	Spesifikasi
Bahan		
1.	Biogas Mentah	Penelitian dilaksanakan di Pusat Pelatihan Pertanian dan Pedesaan Swadaya (P4S) Pandan Mulyo, Ngentak, Poncosari, Srandakan, Bantul, Yogyakarta.

4.3.2 Cara Pengoperasian Alat

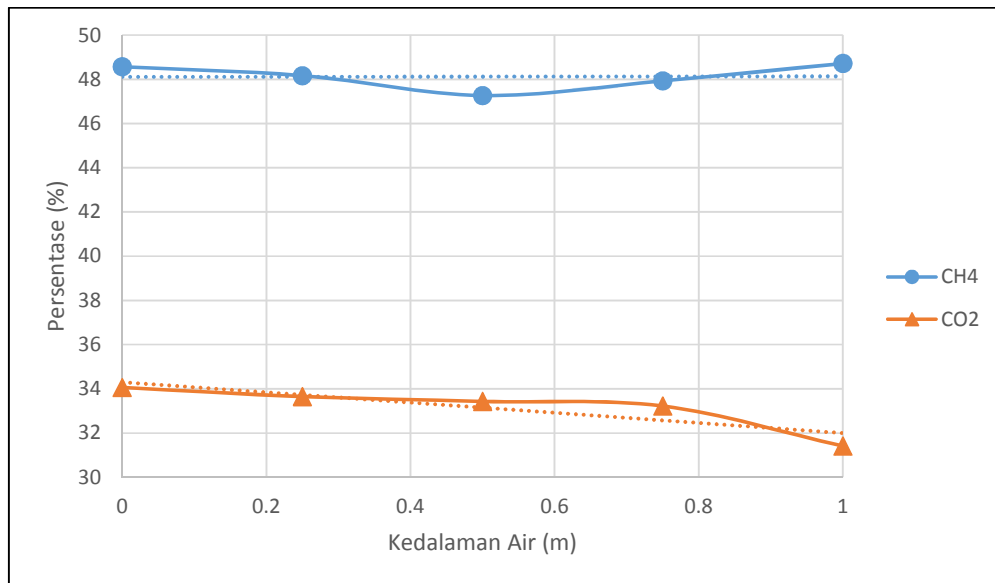
1. Setiap percobaan/variasi pengujian, biogas hasil penyerapan dimasukkan ke dalam *vacuum tube* untuk mendapatkan *sampelnya*.
2. Mengukur tekanan biogas menggunakan manometer U sehingga didapat kedalaman air maksimal yang diijinkan.
3. Menghubungkan selang biogas dari digester ke alat pemurni.
4. Membuka katup biogas.
5. Proses penyerapan terjadi.
6. Biogas hasil penyerapan dimasukkan ke dalam *vacuum tube* menggunakan suntikan.
7. *Sample* biogas didapat.
8. Menutup katup biogas.
9. Untuk percobaan selanjutnya, air diganti kemudian diisi sesuai dengan kedalaman air pada setiap variasi pengujian.
10. Semua *sample* siap dianalisa.
11. Selesai.

4.3.3 Data dan Analisa Hasil Pengujian

Data hasil pengujian dijelaskan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Alat

No.	Variasi Pengujian	Kadar CH ₄ (%)	Kadar CO ₂ (%)
1.	Biogas Mentah	48,57%	34,06%
2.	0,25 m	48,17%	33,65%
3.	0,5 m	47,27%	33,43%
4.	0,75 m	47,93%	33,22%
5.	1 m	48,72%	31,41%



Gambar 4.1 Grafik Hasil Penyerapan Kadar CH₄ dan CO₂ dengan Variasi Kedalaman Air.

a. Biogas Mentah

Tabel 4.4 Kadar Biogas Mentah

No.	Variasi Pengujian	%CH ₄	%CO ₂
1.	Biogas Mentah	48,57%	34,06%

Kandungan biogas mentah yang diperoleh mengandung 48,57% CH₄ dan 34,06% CO₂ dan sisanya adalah gas atmosfer seperti Nitrogen, Oksigen, dsb. Perbedaan kolom air yang terjadi (ΔH) yang terjadi adalah 103 cm (1,03 m), sehingga:

$$P_{\text{abs.}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{gauge}} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{biogas}} &= P_{\text{atm}} + \Delta P \\
 &= P_{\text{atm}} + (\rho_{\text{air}} \cdot g \cdot \Delta H) \\
 &= P_{\text{atm}} + \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,03 \text{ m}\right) \\
 &= 101325 \text{ Pa} + (10104,3 \text{ Pa}) \\
 &= 111429,3 \text{ Pa} \\
 &= 111429,3 \text{ Pa} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{101325 \text{ Pa}} \\
 &= 1,099 \text{ atm} \\
 &\sim 1,1 \text{ atm}
 \end{aligned}$$

Sementara debit biogas yang dapat dihasilkan dari tekanan 1,1 atm dapat diperoleh dari waktu biogas memenuhi suatu ruang. Biogas dialirkan untuk mengisi kantong plastik dan dihitung waktunya pada saat penuh. Kemudian kantong yang berisi biogas tersebut dicelupkan ke dalam suatu bak berisi air untuk mendapatkan kenaikan level air pada bak tersebut.

Teknik pengukuran debit di atas dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Teknik Pengukuran Debit Biogas

Waktu Pengisian Biogas (t) = 3 detik

Diameter Bak Air (D) = 28 cm = 0,28 m

Kenaikan Level Air (z) = 6 cm = 0,06 m

$$\begin{aligned}
 \text{Debit (Q)} &= \frac{\text{Volume (V)}}{\text{Waktu (t)}} \\
 &= \frac{[\text{Luas (A). Tinggi (z)}]}{\text{Waktu (t)}} \\
 &= \frac{[\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot z]}{t} \\
 &= \frac{[\pi \cdot \left(\frac{0,28 \text{ m}}{2}\right)^2 \cdot 0,06 \text{ m}]}{3 \text{ detik}} \\
 &= 1,23 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{detik}} \cdot \frac{3600 \text{ detik}}{1 \text{ jam}} \\
 &= 4,43 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}
 \end{aligned}$$

b. Pengaruh Tekanan dan Suhu Penyerapan

Data Tekanan Penyerapan dijelaskan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Kelarutan CH₄ dan CO₂ dalam Air

No.	Variasi Pengujian (H)	Kelarutan CH ₄ (%)	Kelarutan CO ₂ (%)	Tekanan Hidrostatik Air ($\rho_{\text{air}} \cdot g \cdot H$)
1.	0,25 m	0,4%	0,41%	1,024 atm
2.	0,5 m	1,3%	0,63%	1,048 atm
3.	0,75 m	0,64%	0,84%	1,072 atm
4.	1 m	-0,15%	2,65%	1,096 atm

Hasil penelitian menunjukkan CO₂ dapat terlarut lebih banyak daripada CH₄. Kelarutan maksimal dicapai pada variasi kedalaman air 1 m sebanyak 2,65% untuk CO₂ dan CH₄ cenderung meningkat 0,15%.

Berdasarkan *Hukum Henry*, kelarutan gas dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan tekanan. Penyerapan dapat mencapai dua kali lipat tergantung dari nilai tekanannya (persamaan 2.5). Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Xiao dkk., 2015) dimana perlakuan tekanan penyerapan yang dilakukan yaitu 12 atm (1,2 MPa) pada suhu 7⁰C dapat membuang 94,2% CO₂ ($\frac{28,26\%}{30\%}$). Hal ini sebanding jika tekanan penyerapan pada penelitian ini ditingkatkan menjadi 12 atm sehingga dapat membuang 12x lebih besar yaitu sebesar $\frac{31,8\%}{34,06\%}$ sehingga menyerap 93,36%. Sisanya dapat ditingkatkan dengan cara menurunkan suhu. Suhu yang diterapkan yaitu suhu atmosfer (27⁰C) yang dapat melarutkan 1,5 g CO₂/kg air. Jika suhu diturunkan ke 7⁰C, berdasarkan grafik kelarutan gas dalam air (gambar 2.7), penyerapan akan mencapai dua kali lipat sebesar 3 g CO₂/kg air sehingga hasil kelarutan akan mencapai 63,6%.