

BAB IV

PERANCANGAN, PEMBUATAN DAN PENGUJIAN ALAT

4.1 Proses Perancangan Alat

4.1.1 Menentukan Kalor Jenis Biogas (Cp_{Biogas})

Kalor jenis (Cp) CH_4 dan CO_2 yang digunakan pada perancangan ini adalah biogas pada suhu $32^\circ C$.

Dimana :

$$Cp_{ch_4}, \text{ pada suhu } 27^\circ C = 2,226 \text{ kJ/kg.}^\circ C \text{ (lampiran 2)}$$

$$Cp_{ch_4}, \text{ pada suhu } 52^\circ C = 2,293 \text{ kJ/kg.}^\circ C \text{ (lampiran 2)}$$

$$Cp_{co_2}, \text{ pada suhu } 27^\circ C = 0,846 \text{ kJ/kg.}^\circ C \text{ (lampiran 3)}$$

$$Cp_{co_2}, \text{ pada suhu } 52^\circ C = 0,871 \text{ kJ/kg.}^\circ C \text{ (lampiran 3)}$$

Sehingga:

$$\frac{x-x''}{x'-x''} = \frac{y-y''}{y'-y''}$$
$$\frac{32-27}{52-27} = \frac{y-2,226}{2,293-2,226}$$
$$y = \left[\left(\frac{32-27}{52-27} \right) \cdot (2,293 - 2,226) \right] + 2,226$$

$$Cp_{ch_4} \text{ pada suhu } 32^\circ C = 2,239 \text{ kJ/kg.}^\circ C$$

Dan

$$\frac{x-x''}{x'-x''} = \frac{y-y''}{y'-y''}$$
$$\frac{32-27}{52-27} = \frac{y-0,846}{0,871-0,846}$$
$$y = \left[\left(\frac{32-27}{52-27} \right) \cdot (0,871 - 0,846) \right] + 0,846$$

$$Cp_{co_2} \text{ pada suhu } 32^\circ C = 0,851 \text{ kJ/kg.}^\circ C$$

4.1.2 Menentukan Viskositas Dinamis Biogas (μ_{Biogas})

Viskositas dinamis biogas (μ_{Biogas}) CH_4 dan CO_2 yang digunakan pada perancangan ini adalah biogas pada suhu $32^\circ C$.

Dimana :

$$\mu_{ch_4}, \text{ pada suhu } 0^\circ C = 1,028 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s (lampiran 6)}$$

$$\mu_{ch_4}, \text{ pada suhu } 50^\circ C = 1,191 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s (lampiran 6)}$$

$$\mu_{co_2}, \text{ pada suhu } 0^\circ C = 1,375 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s (lampiran 6)}$$

$$\mu_{co_2}, \text{ pada suhu } 50^\circ C = 1,612 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s (lampiran 6)}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \frac{x-x''}{x'-x''} &= \frac{y-y''}{y'-y''} \\ \frac{32-27}{52-27} &= \frac{y-2,226}{2,293-2,226} \\ y &= \left[\left(\frac{32-0}{52-0} \right) \cdot (1,191 - 1,028) \right] + 1,028 \end{aligned}$$

$$\mu_{ch_4} \text{ pada suhu } 32^\circ C = 1,132 \text{ kg/m.s}$$

Dan

$$\begin{aligned} \frac{x-x''}{x'-x''} &= \frac{y-y''}{y'-y''} \\ \frac{32-27}{52-27} &= \frac{y-0,846}{0,871-0,846} \\ y &= \left[\left(\frac{32-0}{52-0} \right) \cdot (1,612 - 1,375) \right] + 1,375 \end{aligned}$$

$$\mu_{co_2} \text{ pada suhu } 32^\circ C = 1,526 \text{ kg/m.s}$$

Jadi

Viskositas dinamis biogas (μ_{Biogas}) adalah

$$\begin{aligned} \mu_{ch_4} + \mu_{co_2} &= (1,132 \text{ kg/m.s} + 1,526 \text{ kg/m.s}) / 2 \\ &= 1,329 \text{ kg/m.s} \end{aligned}$$

4.1.3 Laju Aliran Masa Biogas (\dot{m}_{Biogas})

Dalam perancangan ini alat dirancang dengan debit 0,43 m³/jam, sehingga untuk mencari \dot{m}_{Biogas} dapat menggunakan rumus:

$$\dot{m} = \rho \cdot f$$

Dimana :

\dot{m} = Laju Aliran Masa (kg/jam)

ρ = Densitas (kg/m³)

f = Debit (m³/jam)

Diketahui:

$\rho_{ch_4} = 0,656 \text{ kg/m}^3$ (tabel 2.3 sifat-sifat metana)

$\rho_{co_2} = 1,977 \text{ kg/m}^3$ (tabel 2.4 sifat-sifat karbon dioksida)

Sehingga:

$$\dot{m} = \rho \cdot f$$

$$\dot{m}_{ch_4} = \rho_{ch_4} \cdot f$$

$$= 0,656 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,43 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\dot{m}_{ch_4} = 0,28208 \text{ kg/jam}$$

Dan

$$\dot{m} = \rho \cdot f$$

$$\dot{m}_{co_2} = \rho_{co_2} \cdot f$$

$$= 1,977 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,43 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\dot{m}_{co_2} = 0,86 \text{ kg/jam}$$

4.1.4 Laju Perpindahan Kalor

Menghitung laju perpindahan kalor dapat menggunakan rumus:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana $\Delta T = 32 \text{ }^\circ\text{C} - 11 \text{ }^\circ\text{C}$

$$= 21 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sehingga:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{ch_4} = \dot{m}_{ch_4} \cdot C_{p_{ch_4}} \cdot \Delta T$$

$$= 0,28208 \text{ kg/jam} \cdot 2239 \text{ J/kg.}^\circ\text{C} \cdot 21^\circ\text{C}$$

$$= 13263,119 \text{ J/jam} \cdot 1/3600 \text{ detik}$$

$$Q_{ch_4} = 3,6 \text{ J/detik} = 3,6 \text{ W}$$

Dan

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{co_2} = \dot{m}_{co_2} \cdot C_{p_{co_2}} \cdot \Delta T$$

$$= 0,86 \text{ kg/jam} \cdot 851 \text{ j/kg.} 21^\circ\text{C}$$

$$= 15369,06 \text{ J/jam} \cdot 1/3600 \text{ detik}$$

$$Q_{co_2} = 4,26 \text{ J/detik} = 4,26 \text{ W}$$

Jadi

$$Q_{total} = Q_{ch_4} + Q_{co_2}$$

$$= 3,6 \text{ W} + 4,26 \text{ W}$$

$$= 7,96 \text{ W}$$

4.1.5 Menentukan Faktor Koreksi (F)

Perancangan ini menggunakan Faktor koreksi, dimana :

$$P = \frac{(\Delta T_{tube})}{(\Delta T_{max})}$$
$$\frac{(t_o - t_i)}{(T_i - t_i)} = \frac{(11 - 32)}{(0 - 32)} = 0,65$$

$$R = \frac{(\Delta T_{shell})}{(\Delta T_{tube})}$$
$$\frac{(T_i - T_o)}{(t_o - t_i)} = \frac{(0 - 0)}{(11 - 32)} = 0$$

Jadi

Dari hasil perhitungan P dan R diatas, dapat diperoleh nilai F dari grafik faktor koreksi yaitu:

$$F = 1 \text{ (lampiran 4)}$$

4.1.6 Menentukan Nilai Perpindahan Panas Keseluruhan (U)

Nilai Perpindahan Panas Keseluruhan (U) dapat diketahui dari lampiran 1 karena menggunakan asumsi ideal, dimana perpindahan kalor dari air ke gas melalui bahan tembaga akan menghasilkan nilai U 13,1 W/m².°C.

4.1.7 Menghitung Nilai LMTD_{CF}

Menghitung nilai LMTD_{CF} dimana suhu – suhunya yaitu:

$$t_i = 32 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (Suhu awal biogas)}$$

$$t_o = 11 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (Suhu biogas yang diinginkan)}$$

$$T_i = 0 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (Suhu awal es)}$$

$$T_o = 0 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (Suhu akhir es)}$$

$$LMTD_{cf} = \frac{(\Delta T_1) - (\Delta T_2)}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

$$= \frac{(32-0)-(11-0)}{\ln \left(\frac{32-0}{11-0} \right)}$$

$$= 19,66 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4.1.8 Menghitung Luas Permukaan Kontak Perpindahan Kalor (A)

Salah satu cara penyerapan kandungan H₂O dari biogas adalah dengan metode kondensasi. Biogas mentah hasil produksi mengandung kadar H₂O maksimal 7% volume (Tabel 2.1). Proses kondensasi ini dapat dihitung dengan metode LMTD_{CF} (Log Mean Teamperature Difference Cross Flow) karena semua suhunya telah diketahui.

$$Q = A \cdot U \cdot F \cdot LMTD_{CF} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$A = \frac{Q}{U \cdot F \cdot LMTD_{cf}}$$

$$A = \frac{(7,96 \text{ w})}{(13,1 \frac{\text{w}}{\text{m}^2} \cdot 1 \cdot 19,66 \text{ C})}$$

$$= 0,030907 \text{ m}^2$$

$$= 30907 \text{ mm}^2$$

4.1.9 Menghitung Panjang Pipa (L)

Berdasarkan luas permukaan kalor, maka pipa penukar kalor dipilih dengan diameter 2 mm.

$$A = \pi \cdot D \cdot L$$

$$L = A / (\pi \cdot D)$$

$$= \frac{30907 \text{ mm}^2}{(3,14 \cdot 2 \text{ mm})}$$

$$= 4921,4 \text{ mm}$$

$$= 4,9 \text{ m}$$

$$\sim 5 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan diatas, didapat panjang pipa 5 m. Panjang pipa di tambah 1 m untuk faktor lainnya. Pipa yang dipilih adalah pipa tembaga, karena memiliki konduktivitas termal yang tinggi dan harga yang terjangkau.

$$= 5 \text{ m} + 1 \text{ m}$$

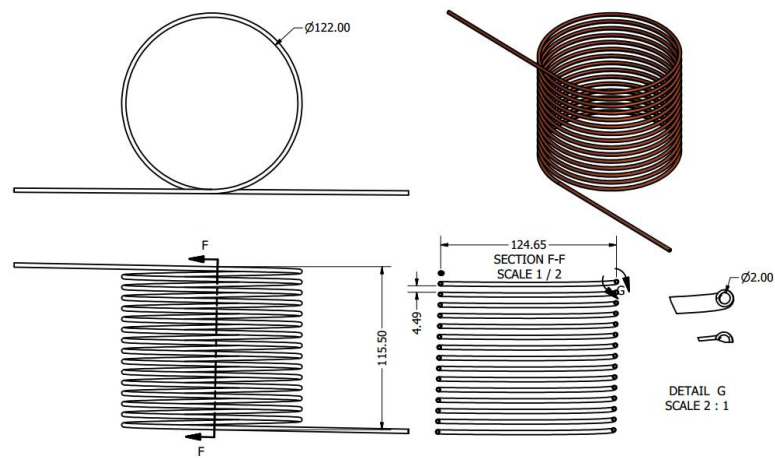
$$= 6 \text{ m}$$

4.1.10 Penentuan Jenis Aliran

Panjang yang telah diketahui di atas dapat dikurangi atau diperpendek dengan cara menentukan terlebih dahulu jenis aliran.

$$\begin{aligned} \text{Re}_D &= \frac{4 \cdot (\dot{m}_{CH_4} + \dot{m}_{CO_2})}{(\pi \cdot D \cdot \mu)} \\ &= \frac{4 \cdot \left(\frac{0,28208 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} + 0,86 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}{3600} \right)}{(\pi \cdot 0,002 \text{ m} \cdot 1,329 \text{ kg/m.s})} \\ &= 15196,5 \text{ (Turbulent Flow)} \end{aligned}$$

4.1.11 Gambar Desain Hasil Perancangan

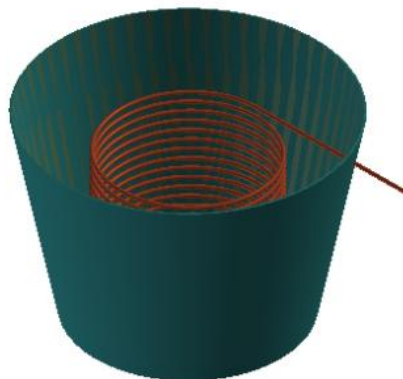


Gambar 4.1 Perancangan *Heat Exchanger*

Sesuai perhitungan, didapat ukuran pipa tembaga yang dibutuhkan untuk *heat exchanger* adalah:

Diameter = 2 mm

Panjang = 6000 mm



Gambar 4.2 Hasil Perancangan Alat Pemurni Biogas

4.2 Proses Pembuatan Alat

4.2.1 Alat dan Bahan Pembuatan

Alat yang digunakan dalam proses pembuatan, antara lain:

- a. Solder
- b. Lem Plastik
- c. Silet
- d. *Double Tape*



Bahan Yang dibutuhkan adalah:



- | | |
|---------------------------------------|----------|
| a. Pipa Tembaga Ø 2 mm | (6 m) |
| b. Bak penampung Ø 200 mm | (1 buah) |
| c. Selang Air Ø 2 mm | (2 m) |
| d. Selang Air Ø 3 mm | (2 m) |
| e. Selang Air Ø 4 mm | (2 m) |
| f. <i>Splitter</i> Y ^{5/16"} | (1 buah) |

4.2.2 Langkah – Langkah Pembuatan

Pembuatan alat pemurni biogas dari kandungan H₂O dimulai dari menentukan ukuran pipa *heat exchanger*, setelah ditemukan ukuran *heat exchanger* dengan panjang 6 m, kemudian pipa *heat exchanger* di *roll*, dan kemudian memilih bak penampung yang sesuai dengan ukuran pipa *heat exchanger* tersebut.

Tabel 4.1 Langkah – Langkah Pembuatan

No	Langkah – Langkah	Alat dan bahan yang digunakan
1	Melubangi ember sesuai dengan diameter pipa tembaga 	1. <i>Solder</i> 2. Ember
2	Memasukan pipa tembaga ke lubang 	1. Ember 2. Pipa tembaga

No	Langkah – Langkah	Alat dan bahan yang digunakan
3	<p>Mengelem celah lubang di ember</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ember 2. Pipa tembaga 3. Lem pipa
4	<p>Selesai</p> 	

4.3 Proses Pengujian Alat

4.3.1 Alat dan Bahan Pengujian

Alat dan bahan pengujian dijelaskan pada Tabel 4.2.

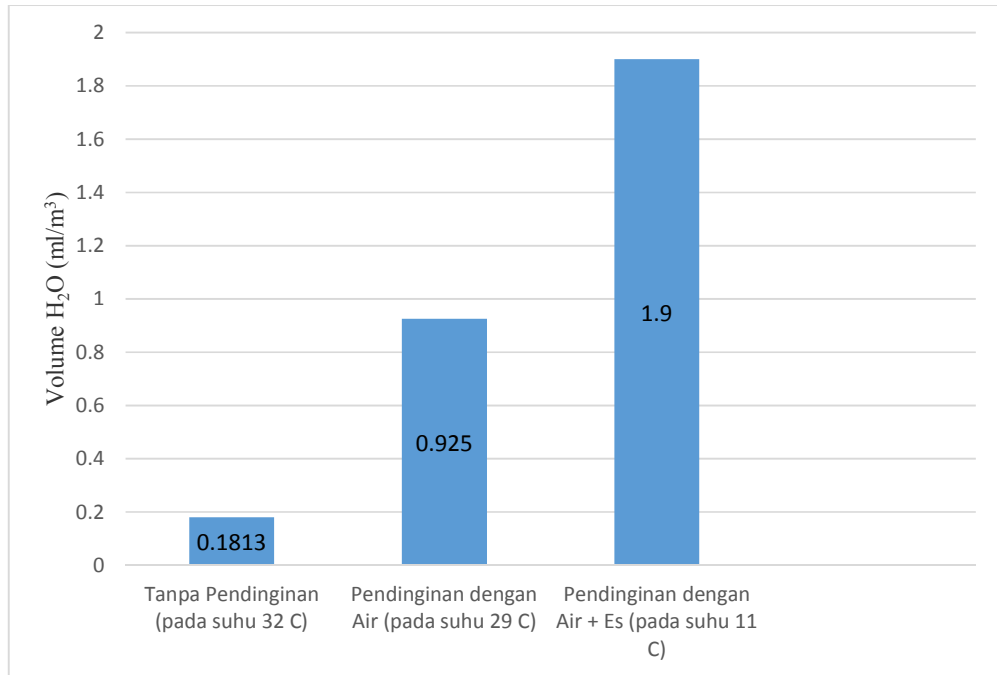
Tabel 4.2 Alat dan Bahan Pengujian

No.	Alat dan Bahan	Keterangan
ALAT		
1.	Tube 	Tube digunakan sebagai penampung dan sekaligus pengukur air yang terembunkan
2.	Kompore 	Kompore digunakan untuk merebus air dengan biogas hasil pemurnian
BAHAN		
1.	Biogas Mentah	Penelitian dilaksanakan di Pusat Pelatihan Pertanian dan Pedesaan Swadaya (P4S) Pandan Mulyo, Ngentak, Poncosari, Srandakan, Bantul, Yogyakarta.

4.3.2 Data dan Analisa

Pemurnian dengan metode pengembunan ini menggunakan 3 perlakuan yaitu pendinginan dengan air+es, pendinginan dengan air, dan tanpa pendinginan. Proses

pengembunan terjadi pada pipa *heat exchanger* yang berada dalam bak penampung kemudian diberi variasi. Dari hasil pengujian yang dilakukan, didapatkan hasil produk dari proses pengembunan biogas adalah kandungan uap air pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Rata – rata H₂O yang terembunkan

Hasil akhir dari pengembunan biogas dari rata-rata 4 kali pengulangan, didapatkan tanpa pendinginan (pada suhu 32°C) adalah 0,1813 ml, pendinginan dengan air (pada suhu 29°C) adalah 0,925 ml, dan pendinginan dengan air+es (pada suhu 11°C) adalah 1,9 ml untuk tiap 1 m³ biogas yang dialirkan. Semua perlakuan dilakukan dengan waktu 30 menit. Dari data hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa semakin rendah temperatur media pendinginan maka akan semakin banyak uap air yang terembunkan. Hal ini terjadi karena titik embun atau *dew point* dari biogas adalah 32°C, dapat dilihat dari Diagram Psychrometrik (lampiran 5) dengan RH (*Relative Humidity*) biogas adalah 100% (Haeo, 2017) sehingga semakin rendah suhu, uap air yang terkondensasi lebih banyak dan butiran air yang diproduksi juga semakin banyak.

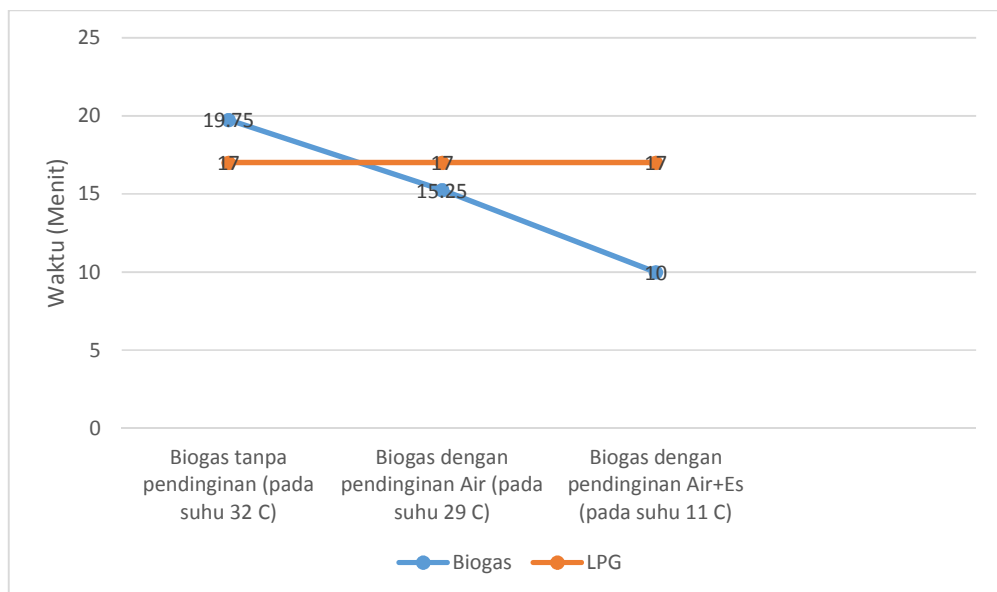
Hasil penelitian menunjukkan produksi air yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, dikarenakan alat yang digunakan lebih sederhana dan kandungan H₂O pada biogas ini hanya 2%. Pada penelitian sebelumnya, peneliti menggunakan alat yang lebih kompleks. Seperti penggunaan *heat exchanger* nya memiliki bentuk yang lebih rumit dan dari data kandungan biogas yaitu CH₄ 67%, CO₂ 19%, dan sisanya H₂O 14%, yang berarti kandungan H₂O pada penelitian sebelumnya lebih besar dibandingkan dengan kandungan H₂O pada penelitian kali ini.

4.3.3 Waktu Pemanasan Air

Waktu pemanasan 1 L air, dari suhu 29°C ke suhu 80°C dengan menggunakan bahan bakar LPG dan Biogas.

Tabel 4.3 Waktu Pemanasan LPG dan Biogas

No	Bahan Bakar	Waktu Pemanasan (Menit)
1.	LPG	17
2.	Biogas tanpa pendinginan (pada suhu 32°C)	19,75
3.	Biogas dengan pendinginan Air (pada suhu 29°C)	15,25
4.	Biogas dengan pendinginan Air+Es (pada suhu 11°C)	10



Gambar 4.5 Grafik Waktu Pemanasan

Kandungan uap air pada biogas sangat berpengaruh terhadap waktu pemanasan. Besarnya kandungan uap air dalam biogas dapat menghalangi proses pembakaran (*unflammable*) dan dapat menurunkan kemurnian biogas, dapat dilihat pada grafik waktu pemanasan antara LPG dan biogas dimana waktu pemanasan air semakin singkat pada saat perlakuan pada suhu 11°C yaitu 10 menit, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak uap air yang terembunkan maka kandungan uap air dalam biogas akan menurun. Hal ini dapat menyebabkan pembakaran semakin sempurna dan membuat nilai kalor bahan bakar semakin tinggi, sehingga waktu pemanasan yang dibutuhkan akan semakin singkat.