



PERANCANGAN, PEMBUATAN, DAN PENGUJIAN ALAT PEMURNI BIOGAS DARI PENGOTOR KARBONDIOKSIDA DENGAN METODE WATER-WASHING



Nashef Rahman Ismail^{1,a}, Novi Caroko^{1,b}, Wahyudi^{1,c}

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Teknik Mesin, Yogyakarta 55183, Indonesia

nashefrahman@gmail.com

INTISARI

Biogas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik sebagian besar terdiri dari gas metana (CH₄) sekitar 50-75% volume, karbondioksida (CO₂) sekitar 25-50%, dan sisanya gas pengotor seperti nitrogen (N₂), hidrogen (H₂), hidrogen sulfida (H₂S), dan oksigen (O₂) yang harus dihilangkan agar komposisi biogas terdiri dari gas CH₄ murni. Pengotor biogas yang paling besar kandungannya adalah gas CO₂ yang bersifat unflammable (mematikan sumber api) sehingga menghambat terbakarnya gas metana. Sifat unflammable ini karena memang gas CO₂ bukan bahan bakar yang dapat bereaksi dalam proses pembakaran.

Gas CO₂ dapat dihilangkan dengan cara pemisahan secara fisik seperti metode penyaringan batu zeolit, karbon aktif, atau menggunakan pelarut seperti air. Penyerapan secara fisik terjadi ketika gas CO₂ melewati dan menabrak *absorber* sehingga terperangkap di dalam celah molekulnya. Sementara penyerapan menggunakan pelarut adalah kemampuan gas CO₂ untuk terlarut dalam air pada jumlah tertentu. Penyerapan gas CO₂ oleh air dinilai lebih ekonomis karena air mudah ditemui di masyarakat.

Hasil penelitian yang dilakukan pada digester 10 m³ dengan komposisi 48,57% CH₄ dan 34,06% CO₂ menunjukkan alat pemurni biogas yang dibuat berkapasitas 4,5 L air berdimensi Ø3"x1 m dengan cara metode water-washing dapat meningkatkan kadar CH₄ menjadi 48,72% dan menurunkan kadar CO₂ menjadi 31,41% dengan debit biogas sebesar 4,43 $\frac{m^3}{jam}$.

Kata Kunci : *Biogas upgrader, CO₂ removal, water-washing*

1. PENDAHULUAN

Biogas merupakan gas yang dapat dihasilkan dari berbagai bahan organik seperti sampah sayur-mayur, kotoran hewan, dan manusia melalui beberapa tahap pada kondisi kedap udara (anaerob) oleh bakteri atau mikroorganisme. Biogas bersifat mudah terbakar karena sebagian besar terdiri dari metana (CH₄) yang tergolong keluarga

Tabel 1. Komposisi Biogas
(Herout dkk., 2011)

Komponen	Rumus Kimia	Persentase Volume (%)
Metana	CH ₄	54,77
Karbon-dioksida	CO ₂	41,96
Hidrogen Sulfide	H ₂ S	0,0289
Oksigen	O ₂	0,375

hidrokarbon. Selain CH₄, biogas terdiri dari beberapa pengotor yang harus dihilangkan agar nilai kalornya meningkat (Hamidi dkk., 2011). Biogas mentah umumnya memiliki beberapa pengotor yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Pengotor biogas yang paling besar kandungannya adalah karbondioksida (CO_2) sebesar 41,96% yang bersifat *unflammable* (mematikan sumber api) sehingga menghambat terbakarnya biogas. Pengotor CO_2 dapat dihilangkan secara fisik seperti metode *pressure swing adsorption*, *cryogenic separation*, *membrane separation*, *zeolite filter* atau secara kelarutan gas CO_2 dalam air (*water-washing*), sodium hidroksida (NaOH) dan kalium hidroksida (KOH) (Krich dkk., 2005).

Penyerapan secara fisik terjadi ketika gas CO_2 melewati dan menabrak *absorber* sehingga terperangkap di dalam celah molekulnya. Sementara penyerapan secara kelarutan adalah kemampuan pelarut untuk melarutkan gas seperti CO_2 pada jumlah tertentu.

Bagaimanapun, metode pembuangan CO_2 dalam biogas harus mempertimbangkan dari sisi ekonomi dan ketersediaan bahan penyerap. Dari beberapa metode diatas, *water-washing* dinilai lebih murah biayanya karena hanya memanfaatkan air sebagai media penyerap dan lebih mudah dijumpai oleh masyarakat.

2. METODOLOGI PENELITIAN

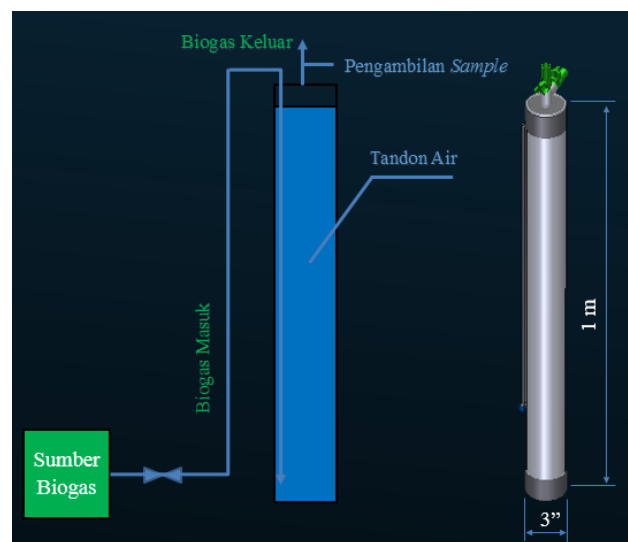
2.1. PROSES PERANCANGAN ALAT

Proses perancangan alat pemurni biogas dapat dibuat secara bertahap sesuai dengan Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Alat

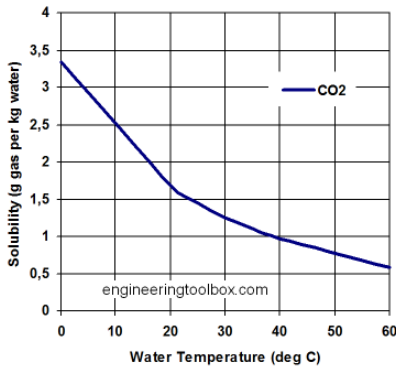
Biogas mentah hasil produksi dialirkan kedalam sebuah tandon air seperti pada Gambar 2 sehingga terjadi kelarutan CO_2 dalam air.



Gambar 2. Rancangan Alat

2.1.1. Massa Biogas (\dot{m}_{Biogas})

Berdasarkan koefisien kelarutan CO₂ dalam air (k) pada Gambar 3 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



Gambar 3. Pengaruh Suhu Air terhadap Kelarutan gas CO₂ dalam air (Anonim, 2016)

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) dan umumnya biogas menghasilkan tekanan sampai 1,095 atm (Sholeh dkk., 2012)

$$\begin{aligned}
 P &= 1,095 \text{ atm} \cdot \frac{101.325 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} = 110950 \text{ Pa} \\
 Q_{biogas} &= 0,43 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \cdot \frac{1 \text{ jam}}{60 \text{ menit}} = 0,00717 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \\
 Q_{CO_2} &= 0,4196 \cdot Q_{biogas} = 0,4196 \cdot 0,00717 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \\
 &= 0,003 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \\
 Q_{CH_4} &= 0,5477 \cdot Q_{biogas} = 0,5477 \cdot 0,00717 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \\
 &= 0,004 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \\
 R_u &= 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \\
 m_{rCO_2} &= A_{rC} + 2A_{rO} = [12+(2 \cdot 16)] \frac{\text{g}}{\text{mol}} \\
 &= 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{rCH_4} &= A_{rC} + 4A_{rH} = [12+(4 \cdot 1)] \frac{\text{g}}{\text{mol}} \\
 &= 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \\
 T &= 27^0\text{C} + 273 = 300 \text{ K} \\
 P \cdot Q &= \frac{\dot{m}}{m_r} \cdot R_u \cdot T \dots \dots \dots (1) \\
 \dot{m} &= \frac{P \cdot Q \cdot m_r}{R_u \cdot T} \\
 \dot{m}_{Biogas} &= \dot{m}_{CO_2} + \dot{m}_{CH_4} \\
 &= \frac{P \cdot Q_{CO_2} \cdot m_{rCO_2}}{R_u \cdot T} + \frac{P \cdot Q_{CH_4} \cdot m_{rCH_4}}{R_u \cdot T} \\
 &= \frac{110950 \text{ Pa} \cdot 0,003 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \cdot 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{mol} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^2} \cdot 300 \text{ K}} \\
 &+ \frac{110950 \text{ Pa} \cdot 0,004 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \cdot 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{mol} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^2} \cdot 300 \text{ K}} \\
 &= 5,88 \frac{\text{g}}{\text{menit}} + 2,84 \frac{\text{g}}{\text{menit}} \\
 &= 8,73 \frac{\text{g}}{\text{menit}}
 \end{aligned}$$

2.1.2. Volume Air (V_{Air})

Volume Air yang dibutuhkan dapat diketahui dari koefisien kelarutan gas CO₂ terhadap air (Gambar 3).

$$\begin{aligned}
 k &= 1,3 \frac{\text{g CO}_2}{\text{kg Air}} \\
 \dot{m}_{CO_2} &= 5,88 \frac{\text{g}}{\text{menit}}
 \end{aligned}$$

$$k = \frac{\dot{M}_{CO_2}}{\dot{M}_{Air}} \dots \dots \dots (2)$$

$$\begin{aligned}
 \dot{M}_{Air} &= \frac{\dot{M}_{CO_2}}{k} \\
 &= \frac{5,88 \frac{\text{g CO}_2}{\text{menit}}}{1,3 \frac{\text{g CO}_2}{\text{kg Air}}} \\
 &= 4,5 \frac{\text{kg Air}}{\text{menit}} \\
 Q_{air} &= 4,5 \frac{\text{L Air}}{\text{menit}}
 \end{aligned}$$

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

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.

2.1.3. Ukuran Tandon Air

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

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

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

Volume = Luas . Tinggi

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

$$z = \frac{V_{\text{Air}}}{A} \dots\dots\dots (3)$$

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

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

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

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

2.1.4. 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}.

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

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

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

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

$$P_{\text{abs.}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{gauge}} \dots\dots\dots (4)$$

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

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

$$= (1,095-1) \text{ atm}$$

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

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

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

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

$$\Delta P = \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot \Delta H \dots\dots\dots (5)$$

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

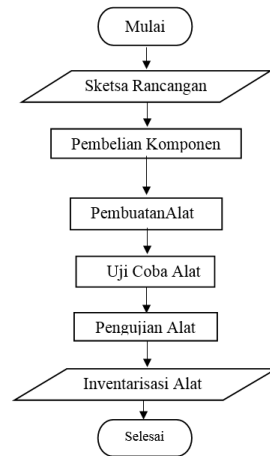
$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}$$

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

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

2.2. DIAGRAM ALIR PEMBUATAN

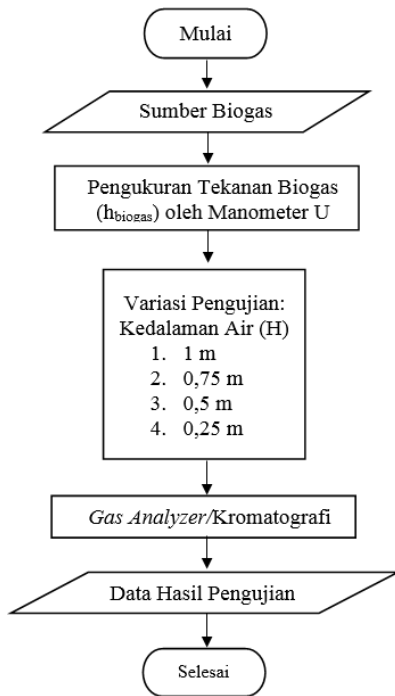
Setelah perancangan selesai, maka tahap pembuatan alat secara bertahap dapat dijelaskan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Pembuatan Alat

2.3. DIAGRAM ALIR PENGUJIAN

Setelah alat dibuat, maka tahap selanjutnya adalah pengujian alat yang akan dijelaskan pada Gambar 5.



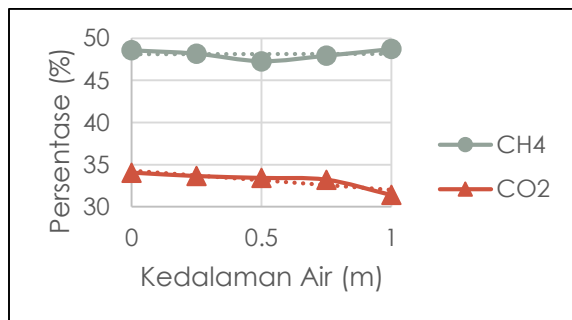
Gambar 5. Diagram Alir Pengujian Alat

3. HASIL PENELITIAN

Hasil Penelitian dijelaskan pada Tabel 2. berikut:

Tabel 2. Hasil Penelitian

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 6. Grafik Hasil Pengujian H terhadap Variasi Kadar CH₄ dan CO₂

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 KESIMPULAN

1. Hasil perancangan alat menunjukkan bahwa biogas yang digunakan pada kebutuhan rumah tangga dengan debit 0,43 m³/jam dapat dimurnikan dengan cara metode kelarutan gas CO₂ sehingga memerlukan 4,5 L air dan dapat dibuat dari pipa berdiameter 3” dengan tinggi 1 m.
2. Hasil penelitian yang dilakukan pada digester 10 m³ dengan komposisi 48,57% CH₄ dan 34,06% CO₂ menunjukkan alat pemurni biogas yang dibuat berkapasitas 4,5 L air berdimensi Ø3”x1 m dengan cara metode water-washing dapat meningkatkan kadar CH₄ menjadi 48,72% dan menurunkan kadar CO₂ menjadi 31,41% dengan debit biogas sebesar 4,43 $\frac{m^3}{jam}$.

2.1 SARAN

Pemurnian biogas yang dilakukan seperti menghilangkan pengotor CO₂ menggunakan air akan berdampak meningkatnya pengotor H₂O. Hal ini jelas akan menghambat terbakarnya biogas. Sementara pengotor lain yang harus ditangani terlebih dahulu adalah H₂S yang menyebabkan korosi pada bagian alat yang terbuat dari logam seperti pada katup biogas. Pemurnian yang ideal yaitu mula-mula menghilangkan kadar H₂S, kemudian CO₂, terakhir H₂O.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R. 2008. *Biogas Handbook*. Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700.
- Amaru, Kharistya. 2004. *Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Biodigester Plastik Polyethylene Skala Kecil*. Bandung: Program Studi Teknik Pertanian Universitas Padjadjaran.
- Anonim. *Solubility of Gases in Water*. Engineering Toolbox. http://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d_1148.html. Diakses tanggal 16 Mei 2016
- Cengel, Y.A., Boles, M.A. 2005. *Thermodynamic: An Engineering Approach, 5th Edition*. McGraw Hill: New York, USA
- Chang, Raymond. 2003. *Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti*. Jakarta: Penerbit Erlangga. Edisi Ketiga, Jilid Kedua.
- Chaplin, M. 2017. *Water Structure And Science*. London: Creative Common Attribution, England & Wales License. http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_phase_diagram.html. Diakses tanggal 24 April 2017.
- Demirel, Y. 2012. *Energy Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling Chapter 2: Energy and Energy Type*. London: Springer-Verlag London Limited. ISBN 978-1-4471-2371-2.
- Hamidi, N., Wardana, Widhiyanuriyawan, D. 2011. *Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam*. Malang: Jurnal Rekayasa Mesin Vol.2 No. 3 Tahun 2011 : 227-231 ISSN 0216-468X. Malang.
- Herout, M., Malatak, J., Kucera, L., Dlabaja, T. 2011. *Biogas Composition Depending On the Type Of Plant Biomass Used*. Prague: Department of Technological Equipment of Buildings Czech University of Life Science Prague.
- Krich, K., Augenstein, D., Batmale, JP., Benemann, J., Rutledge, B., Salour, D. 2005. *Biomethane from Dairy Waste: A Sourcebook for the Production and Use of Renewable Natural Gas in California*. California: USDA Rural Development.
- O'Neil, M.J. 2013. *The Merck Index-An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Pirola, C., Galli, F., Manenti, F., Bianchi C.L. 2015. *Biogas Upgrading by Physical Water Washing in a Micro-Pilot Absorption Column Conducted at Low Temperature and Pressure*. Italia: Italian Association of Chemical Engineering (AIDIC). ISBN978-88-95608-34-1; ISSN2283-9216
- Shah, D.R., Nagarsheth, H.J. 2015. *Biogas Up Gradation using Water Scrubbing for its use in Vehicular Applications*. India: International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology Vol. 2, Issue 6, June 2015. ISSN (Online) 2393-8021, ISSN (Print) 2394-1588.
- Sholeh, A., Sunyoto, Al-Janan, D.H. 2012. *Analisis Komposisi Campuran Air Dengan Limbah Kotoran Sapi Dan Peletakan Posisi Digester Terhadap Tekanan Gas Yang Dihasilkan*. Semarang: Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
- Susilo. 2010. *Kaji Eksperimental Tingkat Produktifitas Biogas Dengan Bahan Baku Kotoran Sapi Variasi Bahan Tambah Ragi Dan Tetes Tebu Menggunakan Digester Kapasitas 2 Liter*. Yogyakarta: Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Takeuchi, Yashito. 2006. *Pengantar Kimia*. Tokyo: Iwanami Shoten.
- Xiao, Y., Yuan, H., Pang, Y., Chen, S., Zhu, B., Zou, D., Ma, J. 2014. *CO₂ Removal from Biogas by Water Washing System*. Beijing: Chinese Journal of Chemical Engineering 22 (2014) 950-953 .
- White, M. F. 1998. *Mekanika Fluida Jilid 1 Edisi Kedua*. McGraw-Hill.

