

Pemurnian Biogas untuk meningkatkan Nilai Kalor melalui Adsorpsi Dua Tahap Susunan Seri dengan Media Karbon Aktif

YANTI SUPRIANTI

Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung
Email: yanti.suprianti@polban.ac.id

ABSTRAK

Pemerintah menargetkan peningkatan peran energi terbarukan hingga mencapai 24% pada tahun 2050. Biogas sebagai salah satu dari sumber energi terbarukan harus memiliki nilai kalor yang memadai agar dapat bersaing dengan sumber energi fosil. Zat yang memiliki kontribusi terbesar dalam menentukan nilai kalor biogas adalah Metana (CH_4). Namun, biogas juga memiliki kandungan Karbon dioksida (CO_2) yang bersifat tidak terbakar. Upaya untuk meningkatkan nilai kalor biogas dapat ditempuh dengan menurunkan kandungan CO_2 , salah satunya melalui proses adsorpsi. Penelitian ini menggunakan kolom adsorpsi seri berukuran 2,43 L untuk meningkatkan waktu kontak antara adsorben karbon aktif dengan gas-gas kontaminan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan CO_2 dapat ditekan hingga di bawah 14% pada waktu adsorpsi 10 menit, dan diperoleh kandungan CH_4 hingga minimal 78,73%. Hasil optimum kinerja kolom adsorpsi seri yaitu pada laju alir 2,4 L/menit dan waktu adsorpsi 10 menit, mampu memurnikan biogas hingga mengandung CH_4 91,60%. Pada kondisi optimum tersebut, efektifitas kolom adsorpsi adalah sebesar 98,31%.

Kata kunci: biogas, pemurnian, karbon aktif, waktu adsorpsi, efektifitas kolom adsorpsi.

ABSTRACT

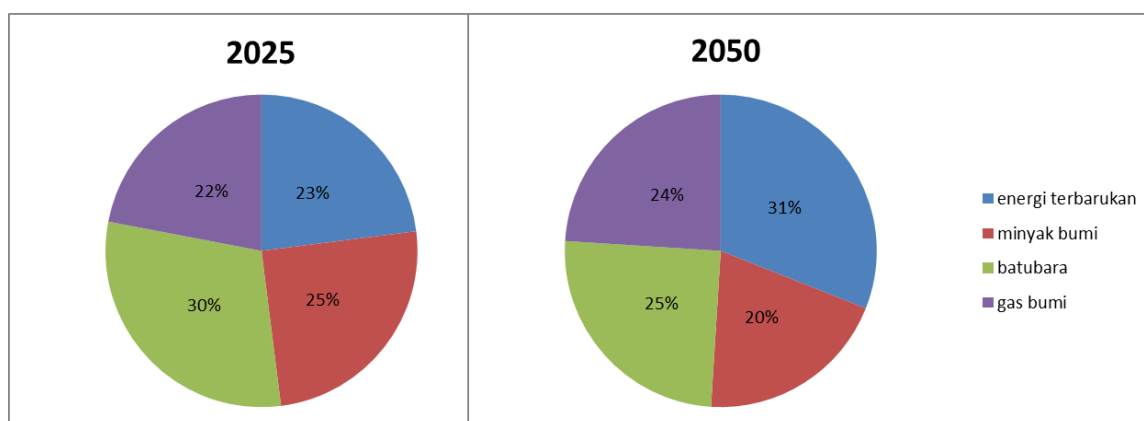
Indonesian government had targetted the role of renewable energy, up to 24% in 2050. Biogas, as one of renewable energy, should have sufficient calorific value in order to be efficiently used and competitive compared to fossil fuels. Methane (CH_4) in biogas is the most important substance that determine biogas calorific value. On the other hand, another component of biogas, Carbon dioxide (CO_2), the one that inhibit combustion process must be reduced. One of the methods to reduce CO_2 content can be conducted through adsorption process. This research utilized serial adsorption column to increase contact between activated carbon as adsorbent and contaminant gases. The result showed that CO_2 content can be suppressed below 14% in 10 minutes adsorption time, so that CH_4 content can be upgraded above 78.73%. The optimum performance of serial adsorption column obtained at 2.4 lpm of biogas flow in 10 minutes adsorption time, able to purify biogas to 91.60% of CH_4 content. In optimum condition, serial adsorption column effectiveness was 98.31%.

Keywords: biogas, purification, activated carbon, adsorption time, serial adsorption column effectiveness.

1. PENDAHULUAN

Pengembangan energi terbarukan menjadi salah satu fokus pemerintah Indonesia dalam mereduksi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang cadangannya makin menipis. Menurut data statistik yang diterbitkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral melalui Outlook Energi Indonesia 2014, cadangan potensial minyak Indonesia pada tahun 2013 sebesar 3,85 miliar barel sedangkan cadangan terbukti sebesar 3,69 miliar barel. Dan bila tidak ada penemuan cadangan baru, 13 tahun mendatang cadangan minyak bumi di Indonesia akan habis (**Outlook Energi Indonesia, 2015**). Sementara, menurut sumber yang sama, konsumsi energi final cenderung mengalami peningkatan. Pada rentang tahun 2000-2013, pertumbuhan rata-rata konsumsi energi final adalah sebesar 3,46%.

Sebagai langkah antisipasi, pemerintah menargetkan untuk mengarahkan bauran energi primer yang dituangkan dalam Kebijakan Energi Nasional pada Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014. Bauran energi primer yang ditargetkan Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bauran Energi Primer Indonesia Tahun 2025 dan 2050
(Sumber: Diolah dari PP No. 79 Tahun 2014)

Seperti terlihat dalam Gambar 1, pemerintah menargetkan peningkatan peran energi terbarukan, dari 22% pada tahun 2025 hingga mencapai 24% pada tahun 2050. Salah satu dari sumber energi terbarukan adalah produksi biogas, yang juga memberikan kontribusi pada penurunan emisi gas rumah kaca dan pemeliharaan lingkungan dari sisi pemanfaatan limbah pertanian/peternakan.

Biogas harus memiliki kualitas yang bersaing dengan sumber energi fosil ataupun sumber energi terbarukan lainnya, sehingga dapat digunakan secara efisien. Kualitas ini dapat dilihat melalui nilai kalor yang memadai. Pada umumnya, biogas yang dihasilkan dari fermentasi bahan baku memiliki komposisi yang disajikan dalam Tabel 1. Kandungan biogas yang menentukan nilai kalor adalah gas Metana (CH_4). Makin tinggi kandungan Metana, semakin tinggi nilai kalor yang terkandung dalam biogas. Dengan komposisi gas yang terdapat dalam Tabel 1, kandungan energi dalam gas tersebut adalah sekira 500-700 Btu/scf. Sedangkan nilai kalor metana sebagai zat murni adalah sekira 1000 Btu/scf. Dengan demikian, peningkatan nilai kalor biogas dapat dilakukan dengan meningkatkan kandungan Metana, dan menurunkan kandungan gas lainnya yang tidak berkontribusi dalam proses pembakaran, seperti gas karbon dioksida (CO_2).

Salah satu upaya untuk meningkatkan nilai kalor biogas dapat ditempuh dengan menurunkan kandungan CO₂ di dalamnya, sehingga kandungan biogas didominasi hidrokarbon, dalam hal ini CH₄. Salah satu upaya menurunkan kandungan CO₂ adalah dengan proses adsorpsi.

Tabel 1. Komposisi Biogas Secara Umum (Sumber: Zhang, 2012)

Komponen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
Metana	CH ₄	50-70
Karbon dioksida	CO ₂	30-49
Nitrogen	N ₂ , NH ₃	0-1
Hidrogen	H ₂	0-5
Hidrogen sulfida	H ₂ S	0,1-0,3
Air	H ₂ O	jenuh

Penelitian mengenai penurunan kandungan biogas melalui jalur adsorpsi, telah dilakukan banyak pihak menggunakan jenis adsorben yang berbeda-beda. Hasil penelitian melalui jalur adsorpsi biogas menggunakan media larutan Ca(OH)₂ menunjukkan penurunan kandungan CO₂ hingga mencapai 30% (**Chege dkk., 2014**). Sementara melalui jalur adsorpsi dengan media arang aktif 730 g dan laju biogas 0,025 L/s menunjukkan penurunan kadar CO₂ sebesar 35,04 % (**Iriani dkk., 2014**). Proses adsorpsi ini dilakukan dalam kolom adsorpsi satu tahap, dimana biogas hanya memiliki waktu tinggal yang singkat dalam kolom tersebut.

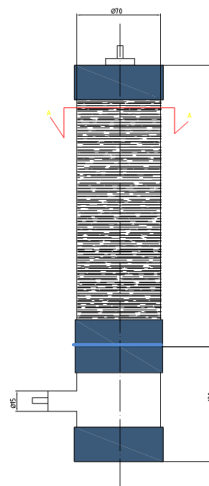
Untuk keperluan penyediaan biogas yang kontinu dengan kandungan energi yang memadai, diperlukan usaha lebih lanjut dengan meningkatkan waktu tinggal biogas, sehingga dapat melakukan kontak yang lebih intensif dengan adsorben yang tersedia dan diharapkan lebih banyak CO₂ yang terperangkap dalam karbon aktif. Peningkatan waktu tinggal dapat diartikan sebagai peningkatan panjang kolom. Penambahan panjang kolom ini bisa juga diwakili dengan penambahan kolom lain dengan ukuran yang sama yang disusun secara seri. Dengan demikian, kontak intensif dengan waktu tinggal yang lebih lama terjadi antara biogas dan adsorben.

2. METODOLOGI

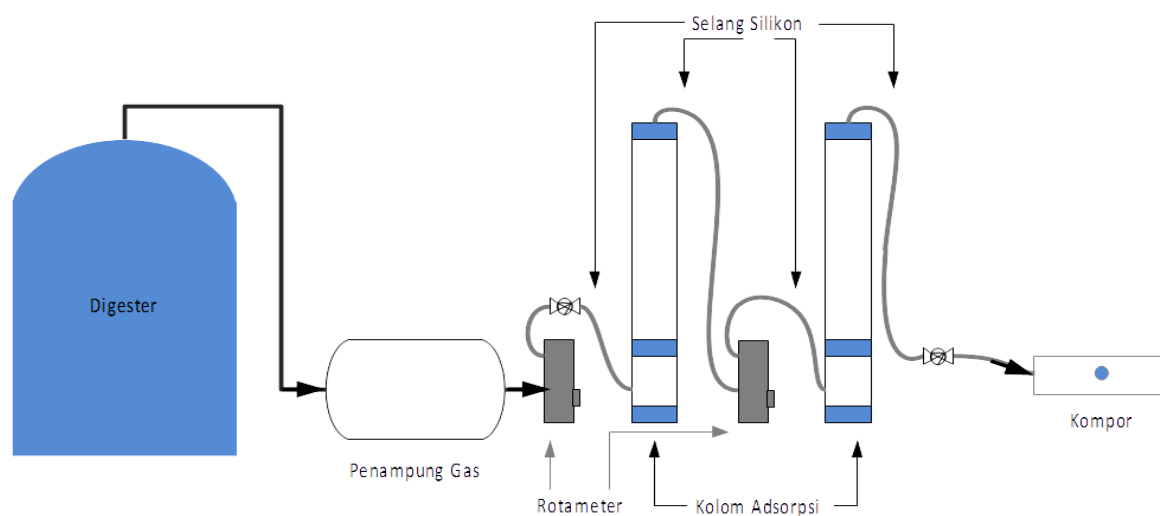
Kolom adsorpsi dibuat dari pipa PVC kelas AW berukuran 2,5 inchi, yang dilengkapi dengan peralatan penunjang aliran gas. Adapun adsorben yang digunakan adalah karbon aktif berbahan dasar batok kelapa. Sebelum digunakan, adsorben diberi pra perlakuan terlebih dahulu, yaitu pemanasan di dalam oven selama 1 jam, dengan temperatur pemanasan 300 °C, yang bertujuan untuk menyiapkan kondisi adsorben hingga siap pakai. Bahan baku berupa biogas diambil dari digester biogas di peternakan milik warga di Desa Tugu Mukti, Cisarua Lembang. Bahan baku pembuatan biogas berasal dari kotoran sapi yang didekomposisi di dalam biodigester fiber bervolume 4 m³. Adapun biogas yang dihasilkan dari digester memiliki tekanan 7,45 kPa. Kondisi lingkungan pada saat pengambilan sampel yaitu pada temperatur 24±1 °C, 655±2 mmHg dan kelembapan relatif rata-rata 63,4±8%. Saat ini, biogas yang dihasilkan baru digunakan untuk kebutuhan rumah tangga, seperti memasak.

Kolom adsorpsi terbagi menjadi dua bagian (Gambar 2), yaitu bagian masukan biogas dan bagian adsorpsi yang berisi adsorben penuh. Kedua bagian tersebut dibatasi oleh ram nyamuk, yang berguna sebagai saringan untuk meyangga agar karbon aktif tidak jatuh area masukan biogas. Gas dialirkan masuk ke kolom dari arah bawah dan keluar melalui saluran di atas kolom. Konfigurasi pengujian alat adsorpsi biogas ditunjukkan pada Gambar 3.

Material : Pipa PVC kelas AW
 Tekanan Max : 9,8 bar (wavin.co.id)
 Diameter luar : 2 1/2" (7,6 cm)
 Diameter dalam : 7 cm
 Tinggi ruang adsorber : 50 cm
 Volume ruang adsorber : 1,92 liter
 Tinggi kolom total : 63 cm
 Volume kolom total : 2,43 liter



Gambar 2. Spesifikasi Kolom Adsorpsi



Gambar 3. Skema Instalasi Pemurnian Biogas

Pada proses adsorpsi, gas dilewatkan melalui kolom adsorpsi dua tahap dengan susunan seri. Adapun karbon aktif diisikan ke dalam kolom hingga memenuhi kolom. Untuk mendapatkan profil yang komprehensif, proses pengambilan sampel dilakukan tiga (3) kali pengambilan sampel untuk setiap titik pengukuran yang sama dengan jeda waktu 5 menit untuk setiap pengambilan sampel. Hal ini dilakukan untuk melihat perubahan kondisi biogas sumber dari digester dan juga kondisi biogas setelah melewati kolom adsorpsi.

Pengambilan sampel dilakukan di tiga (3) titik, yaitu:

- a. Pada aliran biogas yang menjadi input kolom adsorpsi pertama, untuk menguji komposisi biogas sumber.
- b. Pada aliran keluaran kolom adsorpsi pertama, yang juga menjadi input kolom adsorpsi ke-dua, untuk mengidentifikasi komposisi biogas setelah mengalami proses adsorpsi, sekaligus untuk mengetahui kinerja kolom adsorpsi satu tahap.
- c. Pada aliran keluaran kolom adsorpsi yang ke-dua, untuk menguji komposisi biogas setelah mengalami proses adsorpsi dua tahap, dan sekaligus untuk mengetahui kinerja kolom adsorpsi dua tahap susunan seri.

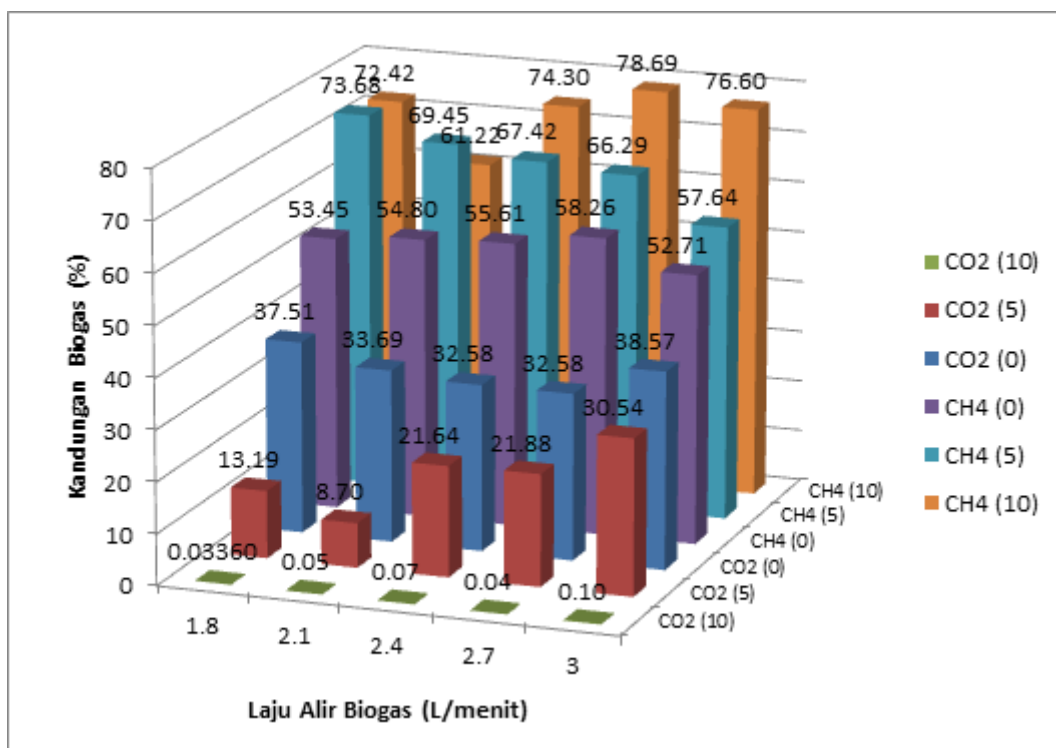
Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan 5 (lima) laju alir biogas, yaitu 1,8 L/menit, 2,1 L/menit, 2,4 L/menit, 2,7 L/menit dan 3 L/menit. Setiap perubahan laju alir, dilakukan penggantian adsorben karbon aktif agar awal kolom bekerja pada kondisi yang sama.

Sampel diambil dengan menggunakan suntikan (*syringe*) yang juga berfungsi sebagai penampung sampel biogas yang akan diuji komposisinya. Sampel, baik biogas sebelum proses adsorpsi, maupun setelah proses adsorpsi, dibawa dan diukur komposisinya menggunakan alat *Gas Chromatography* (GC). Hasil uji adalah berupa komposisi gas-gas CH₄, CO₂, H₂, dan N₂.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kandungan Biogas Sebelum Pemurnian

Berdasarkan Gambar 4, kandungan biogas sumber menunjukkan kondisi yang berbeda. Pengambilan sampel biogas sumber dilakukan untuk setiap laju alir input kolom adsorpsi pertama, dan dilakukan dalam 3 kali pengambilan, yaitu pada menit ke-0, menit ke-5 dan menit ke-10. Hasil uji kandungan biogas dari setiap sampel mengandung CH₄, sebagai gas yang diinginkan, dan juga gas-gas yang akan dihilangkan dalam proses adsorpsi, yaitu CO₂, dan gas lainnya, seperti N₂, H₂, dan O₂. Gas CO₂ merupakan gas utama yang ingin dihilangkan dari aliran biogas. Terlihat bahwa untuk laju alir yang sama, menunjukkan kecenderungan peningkatan kandungan CH₄ seiring waktu. Pada menit ke-10, kandungan CH₄ merupakan yang tertinggi di hampir setiap laju alir, kecuali laju 1,8 L/menit dan 2,1 L/menit. Sementara untuk gas CO₂, terjadi penurunan kandungan seiring waktu. Hal ini mengindikasikan bahwa gas-gas selain CH₄ tersebut telah terlebih dahulu mengalir menuju ke kolom adsorpsi.



Gambar 4. Komposisi Biogas Sumber

Bila dilihat hasil uji sampel pada menit ke-0, kandungan CO₂ dalam biogas berada pada rentang 32-39%. Hal ini menunjukkan bahwa biogas memang perlu penanganan untuk menghilangkan kandungan CO₂ tersebut. Sementara kandungan CO₂ pada menit ke-10 sudah sangat kecil, antara 0,03-0,1%. Hal ini menunjukkan bahwa pada menit ke-10 biogas sudah pada kondisi yang baik untuk digunakan, tentunya setelah melewati kolom adsorpsi.

3.2. Hasil Kandungan Biogas setelah Pemurnian

Pemurnian biogas dilakukan dalam alat adsorpsi dua tahap, yang diwakili oleh dua kolom seri dengan media adsorben karbon aktif. Untuk mendeteksi perubahan yang terjadi pada tiap kolom, maka selain pada sumber biogas, pengukuran dilakukan pada keluaran kolom tunggal (setelah melewati kolom pertama) dan keluaran kolom seri (setelah melewati kolom ke-2). Analisis hasil pemurnian biogas difokuskan pada kandungan CH₄ sebagai sumber energi, dan penurunan kandungan CO₂ sebagai kontaminan utama penghambat pembakaran.

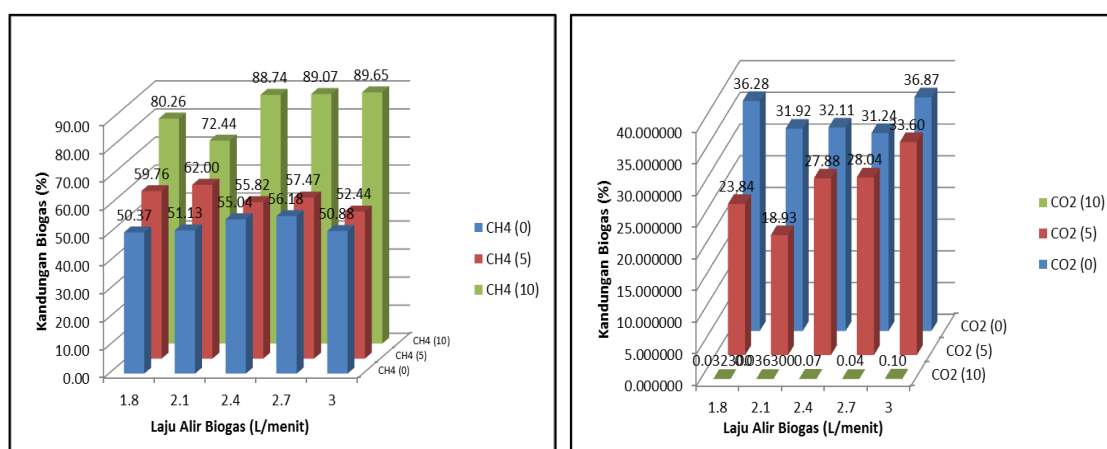
3.2.1. Kolom Adsorpsi Tunggal

Berdasarkan Gambar 5 (kiri), peningkatan laju alir cenderung meningkatkan kandungan CH₄ keluaran kolom adsorpsi tunggal, baik pada menit ke-0 maupun menit ke-10, namun di menit ke-5 terjadi fluktuasi kandungan CH₄ seiring peningkatan laju alir. Peningkatan kandungan CH₄ menunjukkan bahwa gas-gas lain yang menjadi kontaminan telah terperangkap di dalam media adsorpsi, yaitu karbon aktif. Makin meningkatnya laju alir menyebabkan semakin banyak pula gas-gas yang terperangkap di adsorben karbon aktif.

Dari pengamatan yang dilakukan pada tiga variasi waktu, terlihat bahwa terjadi peningkatan kandungan CH₄ keluaran kolom tunggal. Hal ini menunjukkan bahwa dibutuhkan waktu yang cukup untuk mencapai kinerja optimal dari kolom adsorpsi. Pengamatan sesaat pada menit

ke-0 belum dapat menunjukkan kemampuan atau kinerja alat yang terbaik, karena proses adsorpsi masih meningkat menuju kondisi yang lebih optimal.

Sebenarnya apabila dilihat dari data sampel, masih terdapat peluang untuk meningkatkan waktu pengamatan menjadi lebih lama, sehingga dapat diperoleh kondisi waktu optimal adsorpsi, bahkan sampai menunjukkan penurunan kinerja alat, yang menunjukkan kondisi adsorben menuju kejenuhan. Akan tetapi, bila dilihat pada Gambar 5 (kanan) kandungan CO₂ hasil uji sampel menit ke-0, peningkatan laju alir memberikan kecenderungan fluktuasi kandungan CO₂ yang cenderung parabolik. Artinya nilai kandungan CO₂ tinggi di laju alir terkecil dan laju alir terbesar. Hal ini menunjukkan kemampuan adsorpsi dari media adsorben mencapai optimal pada variasi laju alir di tengah. Namun, hasil uji di menit ke-0 belum dapat disimpulkan, karena proses adsorpsi masih menunjukkan peningkatan seiring semakin lama waktu pengamatan.



Gambar 5. Hasil Uji Kandungan CH₄ dan CO₂ dalam Biogas Keluaran Kolom Tunggal

Hasil uji di menit ke-5 dan menit ke-10 menunjukkan bahwa makin cepat laju alir biogas, kandungan CO₂ keluaran kolom adsorpsi tunggal cenderung semakin meningkat. Hal ini mengindikasikan penambahan laju alir tidak serta merta menyebabkan adsorpsi CO₂ di media karbon aktif. Kemungkinan bertambahnya laju alir mendorong CO₂ hanya melewati ruang kosong di antara sela-sela butiran karbon aktif, sehingga tidak terperangkap di dalam pori-porinya. Kemungkinan lain adalah media karbon aktif telah terlebih dahulu menyerap gas-gas lain selain CO₂.

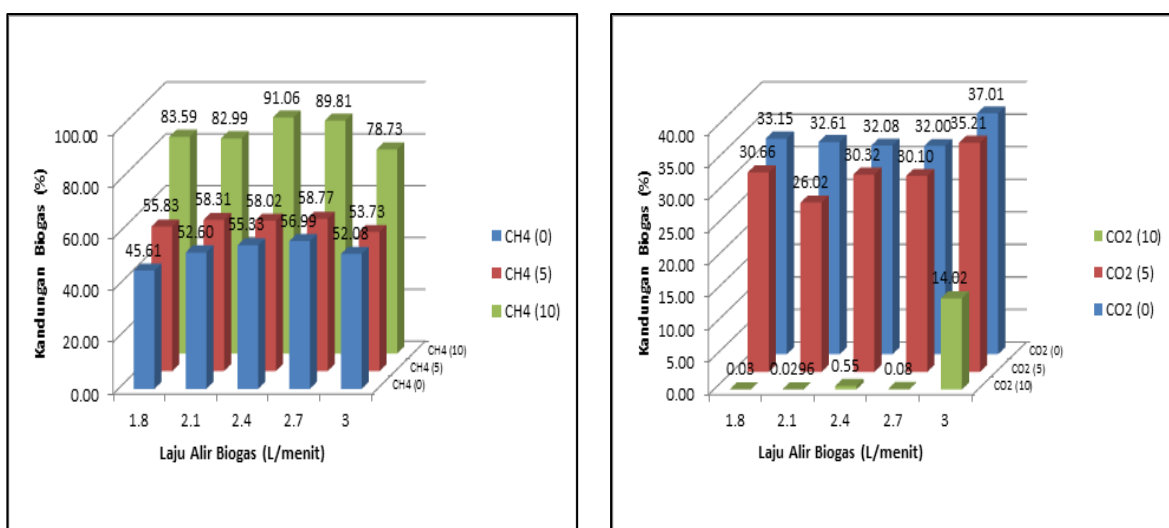
Bila dibandingkan waktu pengamatan antara menit ke-0, menit ke-5 dan menit ke-10, terlihat bahwa semakin lama proses adsorpsi terjadi, penurunan kandungan CO₂ sangat signifikan terjadi pada menit ke-10. Hal ini menunjukkan pada menit ke-10 proses adsorpsi sudah mencapai kondisi optimal. Hal ini pun sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Heru Susanto (**Susanto,2013**), bahwa peningkatan waktu adsorpsi dapat meningkatkan adsorpsi CO₂ sehingga kandungannya semakin menurun.

3.2.2. Kolom Adsorpsi Seri

Hasil uji sampel setelah melewati dua kolom adsorpsi yang dipasang seri ditunjukkan pada Gambar 6. Disini terlihat bahwa peningkatan laju alir menyebabkan peningkatan kandungan CH₄ keluaran kolom adsorpsi seri. Namun, pada laju alir tertentu mengalami penurunan kembali. Hal ini menunjukkan bahwa kolom adsorpsi seri memiliki kinerja optimal pada laju alir tertentu, yaitu di laju alir 2,4 L/menit.

Bila melihat variasi waktu, di menit ke-0 dan menit ke-5, kandungan CH₄ tertinggi terjadi pada laju 2,7 L/menit, yaitu berturut-turut 56,99% dan 58,77% (Gambar 6 kiri). Sementara di menit ke-10 kandungan CH₄ tertinggi terjadi pada laju alir 2,4 L/menit, yaitu 91,06%. Pada menit ke-10 ini diasumsikan proses adsorpsi sudah mulai optimal, sehingga dapat dikatakan bahwa kandungan biogas terbaik, terjadi di laju alir 2,4 L/menit. Hal ini melihat aspek kandungan CH₄ tertinggi pada laju alir optimal pemurnian biogas dengan jalur adsorpsi seri.

Gambar 6 juga menunjukkan bahwa peningkatan waktu adsorpsi meningkatkan kandungan CH₄. Hal ini sejalan dengan kondisi di kolom adsorpsi tunggal, bahwa semakin lama waktu pengamatan (waktu adsorpsi) maka proses menuju kondisi optimal.



Gambar 6. Hasil Uji Kandungan CH₄ dan CO₂ dalam Biogas Keluaran Kolom Seri

Hasil uji kandungan CO₂ dalam biogas keluaran kolom adsorpsi seri pada Gambar 6 (kanan) menunjukkan bahwa semakin tinggi laju alir menyebabkan kandungan CO₂ meningkat kembali, setelah mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja optimal kolom adsorpsi untuk menyerap CO₂ telah terlewati. Peristiwa ini terjadi pada menit ke-0 dan menit ke-10, yaitu peningkatan kembali terjadi pada laju alir tertinggi, yaitu 3 L/menit. Sementara di menit ke-5, kandungan CO₂ terkecil adalah saat laju alir 2,1 L/menit.

Bila diamati berdasarkan waktu pengamatan, maka pada menit ke-10 kandungan CO₂ berada pada nilai terendah. Seperti telah dijelaskan pada bahasan sebelumnya, bahwa peningkatan waktu adsorpsi mengantarkan pada kondisi yang lebih optimal untuk mengadsorpsi gas kontaminan, dalam hal ini adalah CO₂. Nilai terendah ini terjadi pada laju alir 2,1 L/menit, yaitu 0,0296%.

Walaupun kondisi kandungan CO₂ ini terkecil di laju alir 2,1 L/menit, bila digabungkan dengan data kandungan CH₄ yang terbesar (91,06%) terjadi pada laju alir 2,4 L/menit, maka kondisi yang lebih diinginkan adalah kondisi biogas dengan nilai kalor yang baik, yang ditandai dengan kandungan CH₄ yang tinggi. Pada laju alir tersebut, kandungan CO₂ pun sudah sangat kecil, yaitu 0,55%.

3.3. Efektifitas Adsorpsi CO₂

Efektifitas adsorpsi menyatakan tingkat kemampuan alat dalam mengadsorpsi CO₂, yang diformulasikan sebagai berikut (Iriani, 2014):

$$\text{Efektifitas Adsorpsi CO}_2 = \frac{(\text{kandungan CO}_2 \text{ awal} - \text{kandungan CO}_2 \text{ akhir})}{\text{kandungan CO}_2 \text{ awal}} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 2. Kandungan CO₂ Sebelum dan Setelah Pemurnian

Laju alir (L/menit)	Waktu (menit ke)	Kandungan CO ₂ (%)			Efektifitas (%)	
		Sumber	Kolom Tunggal	Kolom Seri	Kolom Tunggal	Kolom Seri
1,8	0	37,51	36,28	33,15	3,29%	11,61%
	5	13,19	23,84	30,66	36,44%	18,27%
	10	0,03	0,03	0,03	99,91%	99,97%
2,1	0	33,69	31,92	32,61	5,27%	3,22%
	5	8,70	18,93	26,02	43,82%	22,78%
	10	0,05	0,04	0,03	99,89%	99,91%
2,4	0	32,58	32,11	32,08	1,42%	1,53%
	5	21,64	27,88	30,32	14,40%	6,91%
	10	0,07	0,07	0,55	99,79%	98,31%
2,7	0	32,59	31,24	32,00	4,11%	1,79%
	5	21,88	28,04	30,10	13,96%	7,63%
	10	0,04	0,04	0,08	99,89%	99,75%
3,0	0	38,57	36,87	37,01	4,42%	4,03%
	5	30,54	33,60	35,21	12,90%	8,70%
	10	0,10	0,10	14,02	99,75%	63,65%

Dari Tabel 2, terlihat penerapan waktu adsorpsi selama 10 menit dapat menurunkan kandungan CO₂ ke nilai yang sangat kecil, sehingga pada waktu ini pengaruh laju alir menjadi sangat kecil, terlihat dari nilai efektifitas, baik pada kolom adsorpsi tunggal, maupun pada kolom adsorpsi seri, yang hampir seluruhnya menunjukkan efektifitas penyerapan CO₂ yang sangat baik.

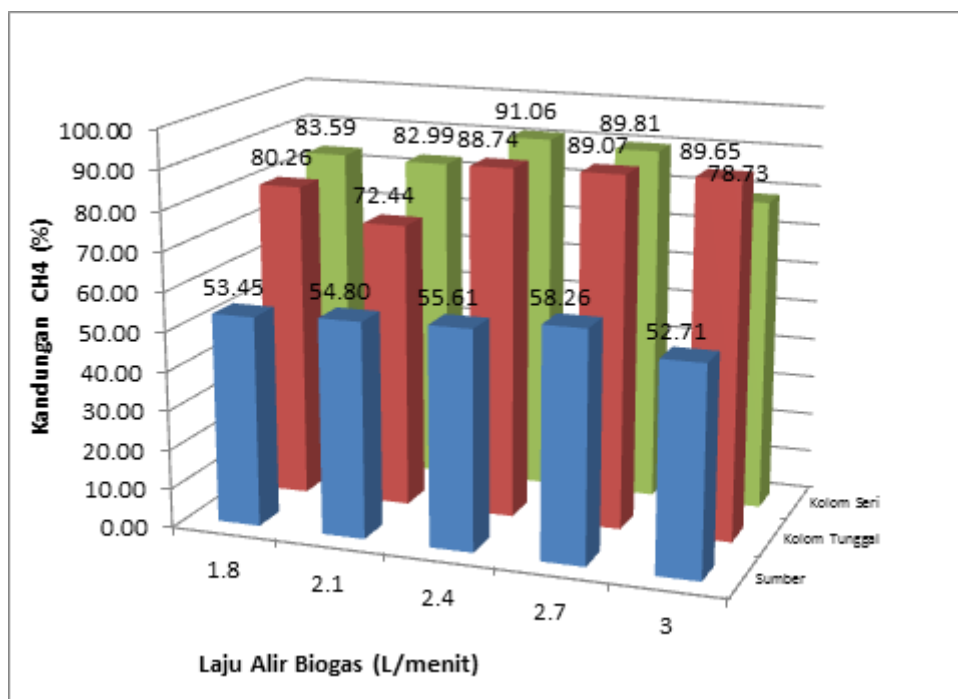
Efektifitas penyerapan CO₂ yang terkecil hanya pada kolom seri dengan laju alir 3 L/menit (63,65%). Walaupun kandungan CO₂ di keluaran kolom tunggal sudah menunjukkan nilai 0,10%, namun terjadi peningkatan lagi menjadi 14,02%. Hal ini mungkin disebabkan pada kolom adsorpsi ke-2, gas yang diserap oleh karbon aktif adalah gas-gas lain selain CO₂, sehingga mengakibatkan persentase kandungan CO₂ terhadap keseluruhan aliran biogas menjadi lebih tinggi.

Pada laju alir 1,8 dan 2,1 L/menit, efektifitas kolom adsorpsi seri sedikit lebih baik dibandingkan dengan kolom adsorpsi tunggal. Namun, untuk laju alir yang lebih tinggi, hal ini tidak terjadi. Dengan demikian, pada waktu 10 menit, hal yang menunjukkan keunggulan pemurnian bukanlah dari efektifitas penyerapan CO₂, tapi dapat dilihat dari aspek lain, yaitu dampaknya terhadap nilai kalor.

3.4. Nilai Kalor Biogas

Nilai kalor biogas dinyatakan oleh seberapa besar kandungan CH₄ dalam biogas. Makin tinggi kandungan CH₄, semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya, makin kecil kandungan CH₄, semakin kecil nilai kalornya (Chisti, 2008).

Pengamatan nilai kalor diambil pada kondisi biogas keluar kolom seri dengan waktu adsorpsi 10 menit. Dalam Gambar 7 terlihat bahwa nilai kalor biogas setelah pemurnian menggunakan kolom tunggal, telah menunjukkan nilai yang baik, dan cenderung meningkat dengan peningkatan laju alir. Namun setelah melewati kolom adsorpsi seri, terjadi kondisi optimal, dimana nilai kandungan CH₄ tertinggi terjadi pada laju alir 2,4 L/menit. Dengan demikian, nilai kalor terbaik juga diperoleh pada kondisi tersebut, yaitu kandungan CH₄ sebesar 91,06%.



Gambar 7. Kandungan CH₄ Sebelum dan Sesudah Pemurnian

Dengan nilai kalor CH₄ sebesar 50.020 kJ/kg (Moran, 2004), dan densitas CH₄ sebesar 0,656 kg/m³, maka terhitung untuk kandungan CH₄ 91,06%, nilai kalor biogas diperoleh sebesar 29.878,84 kJ/m³.

$$\text{Nilai kalor biogas} = \text{nilai kalor CH}_4\text{acuan} \times \text{densitas CH}_4 \times \text{kandungan CH}_4\text{dalam biogas} \quad (2)$$

$$\left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}\right) = \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) \times \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times (\%)$$

Tabel 3. Kandungan CH₄ dan Nilai Kalornya

Laju alir (L/menit)	Kandungan CH ₄ (%)			Nilai Kalor Biogas (kJ/m ³)		
	Sumber	Kolom Tunggal	Kolom Seri	Sumber	Kolom Tunggal	Kolom Seri
1,8	53,45	80,26	83,59	17537,37	26336,93	27429,54
2,1	54,80	72,44	82,99	17982,02	23769,1	27233,18
2,4	55,61	88,74	91,06	18246,59	29118,89	29878,84
2,7	58,26	89,07	89,81	19118,20	29225,66	29469,82
3,0	52,71	89,65	78,73	17296,55	29415,62	25833,47

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Kandungan CO₂ untuk setiap laju alir, diperoleh pada nilai di bawah 14% untuk waktu adsorpsi 10 menit.
2. Kandungan CH₄ tertinggi untuk setiap laju alir, diperoleh pada nilai di atas 78% untuk waktu adsorpsi 10 menit.
3. Hasil optimum untuk kolom adsorpsi seri diperoleh pada laju alir 2,4 L/menit dan waktu adsorpsi 10 menit, dengan nilai kalor biogas tertinggi, yaitu 91,60%.
4. Komposisi biogas pada saat optimum adalah: 91,6% CH₄, 0,55% CO₂, 6,41% N₂, dan 1,99% O₂.
5. Pada kondisi optimum, efektifitas kolom adsorpsi seri adalah sebesar 98,31%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- BPPT. (2015). *Outlook Energi Indonesia 2015. Pengembangan Energi untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan*. Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Chege, J., M., Bernard W. Ikuu. Mwangi Njogu. Neri Kahiu. (2014). *Studies on Adsorption Biogas Purification Reactor for Domestic Sized Digesters in Kenya*. International Journal of Innovative Scientific & Engineering Technologies Research. 2 (2).
- Chisti, Y. (2008). *Biodiesel from Microalgae Beats Bioethanol*. Trends Bioethanol. Volume (26): 126-131.
- Dewan Energi Nasional. (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Iriani, P., Heryadi, A. (2014). *Pemurnian Biogas Melalui Kolom Beradsorben Karbon Aktif*. SIGMA-MU. 6(2).

- Moran, Michael, J., Howard, N., Shapiro, Daisie D. Boettner, Margaret B. Bailey. (2014). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics 8th Edition*. Wiley.
- Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional*. Lembaran Negara RI Tahun 2014, No. 300. Kementerian Hukum dan Hak Asasi manusia. Jakarta.
- Susanto, H. (2013). *Modifikasi Karbon Aktif sebagai Adsorben untuk Pemurnian Biogas*. E-journal Universitas Diponegoro.
- Zhang, R. (2012). *Biogas Production Technologies*. Biogas and Fuel Cell Workshop. National Renewable Energy Laboratory.