

# Pengaruh Variasi Bentuk Adsorben Karbon Aktif dan Scale-up Kolom Terhadap Kinerja Adsorpsi CO<sub>2</sub> Dalam Biogas

Yanti Suprianti<sup>1)\*</sup>, Yoga Rahmat Pangestu<sup>1)</sup>, Purwinda Iriani<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung

Naskah diterima 13 04 2022; direvisi 15 05 2023; disetujui 15 05 2023

doi: <https://doi.org/10.24843/JEM.2022.v015.i01.p04>

## Abstrak

Biogas sebagai sumber energi terbarukan, saat ini mulai diperhitungkan sebagai energi alternatif pengganti BBM dan BBG. Biogas dari kotoran sapi umumnya memiliki konsentrasi 50-70% CH<sub>4</sub> sebagai zat yang dapat digunakan sebagai bahan bakar, disertai dengan 25-50% CO<sub>2</sub>, 0,3-3% N<sub>2</sub>, 1-5% H<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>S. Keberadaan zat penyerta, terutama CO<sub>2</sub>, yang tidak memiliki nilai kalor (tidak dapat dibakar), dapat menurunkan nilai kalor biogas secara keseluruhan. Salah satu cara untuk memisahkan gas CO<sub>2</sub> tersebut adalah dengan adsorpsi. Tetapi, pada kapasitas kolom yang kecil, seringkali adsorben cepat jenuh setelah dioperasikan selama waktu tertentu. Salah satu cara untuk mengatasinya ini adalah dengan menjadikan adsorben ke dalam bentuk yang lebih kompak, seperti pellet. Dengan memadukan karbon aktif granular dan pellet, penelitian ini ingin mengidentifikasi pengaruh variasinya untuk menghasilkan komposisi biogas terbaik dan membandingkan kinerjanya ketika dilakukan scale up. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran A (70% karbon aktif granular dan 30% pellet) menghasilkan biogas terbaik, yaitu 83,1% pada kolom awal dan 89,3% pada kolom scale up, dengan pengotor CO<sub>2</sub> hilang dan sedikit gas lain. Kinerja penyerapan berupa efektivitas adsorpsi menunjukkan bahwa setiap variasi menunjukkan efektivitas 100%. Breakthrough curve menunjukkan campuran C (30% karbon aktif granular dan 70% pellet) memberi ketahanan tertinggi yaitu selama 7 menit pada kolom awal dan 10 menit pada kolom scale up. Volume biogas yang diadsorpsi, volume biogas/tinggi kolom, dan jumlah total of remove solute terbaik ditunjukkan oleh campuran A dengan berturut-turut 72 Liter, 180 Liter/m, dan 8,208 Liter pada kolom awal, dan 159 Liter, 212 Liter/m, dan 21,942 Liter pada kolom scale up. Scale up memberikan dampak yang signifikan pada performa adsorben campuran C dengan meningkatnya volume biogas yang diadsorpsi sebesar 2,75x, volume/tinggi kolom meningkat 1,47x, dan total of remove solute sebesar 3,29x.

Kata kunci: adsorpsi, adsorben, karbon aktif granular, pellet, scale up

## Abstract

Biogas as a renewable energy source is now starting to be considered as an alternative energy to replace BBM and CNG. Biogas from cow dung generally has a concentration of 50-70% CH<sub>4</sub> as a substance that can be used as fuel, accompanied by 25-50% CO<sub>2</sub>, 0.3-3% N<sub>2</sub>, 1-5% H<sub>2</sub>, and H<sub>2</sub>S. The presence of accompanying substances, especially CO<sub>2</sub>, which has no calorific value (cannot be burned), can reduce the overall calorific value of biogas. One way to separate the CO<sub>2</sub> gas is by adsorption. However, at a small column capacity, the adsorbent is often saturated quickly after being operated for a certain time. One way to get around this is to make the adsorbent into a more compact form, such as pellets. By combining granular and pellet activated carbon, this study wanted to identify the effect of variations to produce the best biogas composition and compare its performance when scaled up. The results showed that mixture A (70% granular activated carbon and 30% pellet) produced the best biogas, namely 83.1% in the initial column and 89.3% in the scale up column, with CO<sub>2</sub> impurities removed and a small amount of other gases. The absorption performance in the form of adsorption effectiveness showed that each variation showed 100% effectiveness. The breakthrough curve shows that mixture C (30% granular activated carbon and 70% pellet) gave the highest resistance for 7 minutes on the initial column and 10 minutes on the scale up column. The volume of biogas that was adsorbed, the volume of biogas/column height, and the total amount of remove solute were best indicated by mixture A with 72 Liters, 180 Liters/m, and 8,208 Liters in the initial column, and 159 Liters, 212 Liters/m, respectively. and 21,942 Liters in the scale up column. Scale up has a significant impact on the performance of mixed C adsorbent with an increase in the volume of biogas that is adsorbed by 2.75x, the volume/height of the column increases by 1.47x, and the total of remove solute by 3.29x.

Keywords: adsorption, adsorbent, granular activated carbon, pellet, scale up

## 1. Pendahuluan

Biogas sebagai sumber energi terbarukan, saat ini mulai diperhitungkan sebagai energi alternatif pengganti BBM dan BBG. Hal ini disebabkan selain mampu memberikan manfaat sebagai sumber energi, juga berkontribusi sebagai salah satu cara untuk pengolahan limbah, umumnya kotoran ternak sapi. Biogas dari kotoran sapi umumnya memiliki konsentrasi 50-70% CH<sub>4</sub> sebagai zat yang dapat digunakan sebagai bahan bakar, disertai dengan 25-50% CO<sub>2</sub>, 0,3-3% N<sub>2</sub>, 1-5% H<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>S [1]. Makin

tinggi konsentrasi CH<sub>4</sub>, maka semakin baik kualitas biogas sebagai bahan bakar. Dan saat ini biogas sudah bisa disetarakan dengan LPG. Keberadaan zat penyerta, terutama CO<sub>2</sub>, yang tidak memiliki nilai kalor (tidak dapat dibakar), dapat menurunkan nilai kalor biogas secara keseluruhan [2].

Salah satu cara untuk memisahkan gas CO<sub>2</sub> tersebut adalah dengan adsorpsi. Metode adsorpsi sebagai salah satu jalur pemurnian biogas telah banyak dilakukan, karena memiliki beberapa kelebihan, diantaranya peralatan yang kompak, kebutuhan energi yang rendah, biaya yang rendah,

dan tingkat keamanan yang cukup baik serta operasi yang sederhana [3]. Metode adsorpsi dilakukan dengan mendayagunakan media penyerap (adsorben), seperti karbon aktif, untuk memerangkap zat yang tidak dikehendaki.

Akan tetapi, pada kapasitas kolom yang kecil, seringkali adsorben cepat jenuh setelah dioperasikan selama waktu tertentu. Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya dengan kolom berkapasitas 2,4 liter hanya bisa bertahan hingga 15 menit [4]. Kemampuan adsorben ini biasa disebut dengan *volumetric storage capacity*, akan meningkat jika adsorben memiliki *bulk density* yang tinggi.

Salah satu cara untuk mensiasati ini adalah dengan menjadikan adsorben ke dalam bentuk yang lebih kompak, namun tetap menjaga struktur porinya sehingga memiliki kemampuan adsorpsi/desorpsi yang meningkat juga [5]. Hasil kompaksi yang telah beredar di pasaran adalah bentuk *pellet*. *Pellet* yang terbuat dari kayu pinus dilaporkan memiliki perilaku yang sangat baik sebagai adsorben yang secara selektif menyerap CO<sub>2</sub> [6]. Selain itu, pilihan untuk *scale-up* ukuran kolom juga bisa menjadi sebuah opsi. Sehingga pada penelitian ini akan dicari variasi campuran bentuk adsorben dengan kinerja terbaik sehingga menghasilkan biogas berkualitas baik, diidentifikasi komposisi biogas yang dilewatkan melalui kolom adsorpsi berisi campuran bentuk adsorben, dan dibandingkan kinerja dan hasil pemurnian dalam kolom adsorpsi sebelum dan setelah *scale-up*.

## 2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan kegiatan, yaitu persiapan alat, persiapan bahan baku, adsorpsi biogas, pengambilan data, analisis data. Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah dua kolom adsorpsi yang berbeda ukuran, yaitu ukuran kolom acuan dengan kapasitas 2,4 liter dan ukuran *scale-up* 3x yang dipertimbangkan bisa menampung adsorben yang cukup untuk beroperasi lebih lama. Kolom adsorpsi selanjutnya disambungkan dengan seluruh rangkaian peralatan uji, dengan urutan alat penampung biogas yang sebelumnya sudah diisi biogas dari biodigester, rotameter sebagai pengukur dan pengatur laju alir gas, kolom adsorpsi, alat uji konsentrasi biogas, dan storage untuk menampung biogas hasil pemurnian agar gas bisa diproses pada perlakuan gas selanjutnya

Adsorben karbon aktif yang akan digunakan berasal dari bahan baku tempurung kelapa. Ukuran karbon aktif granul dipersiapkan dengan ukuran 32 mesh, karena pada penelitian sebelumnya menunjukkan kinerja penyerapan terbaik [21]. Ukuran ini dipersiapkan dengan penggerusan dan pengayakan. Karbon aktif bentuk *pellet* pabrikan yang akan digunakan berukuran panjang 8 mm dan diameter 4 mm.

Pengujian/adsorpsi biogas dilakukan dengan kondisi:

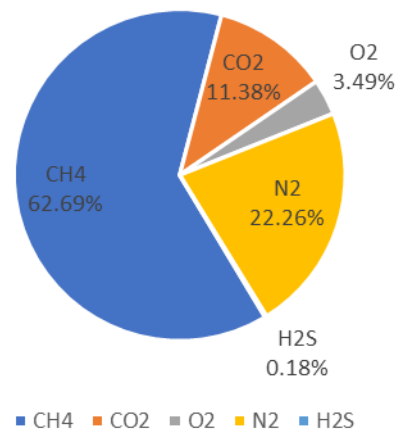
a. Variabel tetap: T operasi = T ambien, P lingkungan, jenis adsorben granul 32 mesh dan *pellet* pabrikan, laju alir biogas dijaga pada 3 liter/menit [4].

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Biogas Sebelum Adsorpsi

Biogas yang akan diadsorpsi sebelumnya ditampung terlebih dahulu untuk menjaga homogenitas komposisinya. Selanjutnya dilakukan pengukuran terhadap komposisi gas yang terkandung di dalamnya. Hasil uji komposisi ditunjukkan pada Gambar 1. Telihat bahwa gas metana dalam biogas sudah cukup tinggi, namun gas-gas lainnya juga masih tinggi, terutama CO<sub>2</sub> (11,38%) dan N<sub>2</sub> (22,26%). Dalam penelitian ini yang menjadi fokus untuk dihilangkan adalah gas CO<sub>2</sub>.

Komposisi Biogas Awal



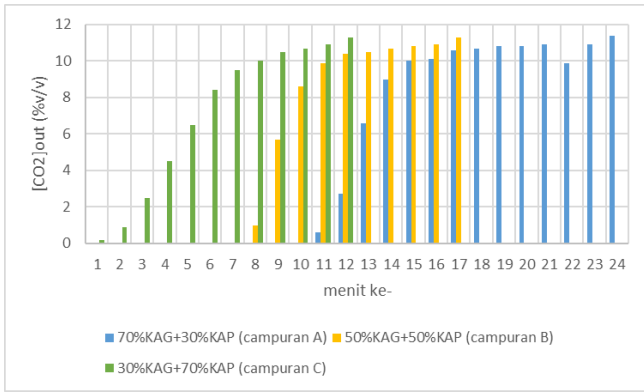
Gambar 1. Komposisi Biogas Sebelum Adsorpsi

### 3.2. Biogas Setelah Adsorpsi

Pengujian adsorpsi biogas ini dilakukan dalam dua variasi kolom, yaitu kolom 2,4 Liter sebagai kolom acuan awal, dan kolom *scale up* (SU) yang diperbesar tiga kalinya. Kedua kolom adsorpsi ini diisi dengan variasi campuran karbon aktif granular (KAG) dan karbon aktif *pellet* (KAP). Variasi yang diujikan adalah 70%KAG+30%KAP (campuran A), 50%KAG+50%KAP (campuran B), dan 30%KAG+70%KAP (campuran C).

Setiap kali dilakukan proses adsorpsi ini, komposisi biogas awal selalu diukur. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan kondisi dalam penampung biogas sudah stabil dan homogen, sehingga dapat dijadikan sebagai acuan bagi komposisi biogas hasil adsorpsi, terutama konsentrasi CO<sub>2</sub> yang ingin dihilangkan. Adapun komposisi biogas sebelum masuk kolom adsorpsi tidak bervariasi terlalu jauh, dibandingkan dengan sampel awal yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Setelah melewati kolom adsorpsi yang berisi campuran KAG dan KAP, gas CO<sub>2</sub> diharapkan dapat teradsorpsi ke dalam pori-porinya. Sehingga konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam biogas pada keluaran kolom adsorpsi akan hilang atau minimal berkurang.

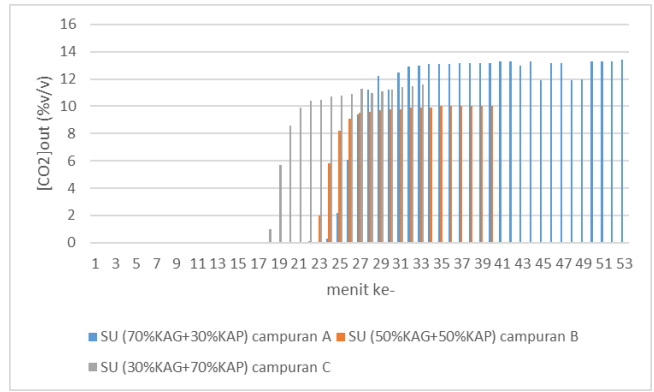


Gambar 2. Konsentrasi CO2 pada keluaran kolom adsorpsi awal

Pada Gambar 2 disajikan profil konsentrasi CO2 dalam biogas keluaran kolom adsorpsi awal. Membandingkan tiga variasi campuran, terlihat bahwa konsentrasi CO2 yang telah melewati adsorben campuran A tidak terdeteksi di menit-menit awal, dan muncul pada menit ke-11. Sementara yang melewati kolom dengan campuran B muncul di menit ke-8, dan yang melewati kolom dengan campuran C sudah muncul di menit ke-1, walaupun dalam konsentrasi kecil.

Walaupun demikian, penambahan konsentrasi CO2 setelah kemunculan awalnya meningkat secara drastis pada keluaran kolom berisi campuran A dan B, sementara yang keluar dari kolom berisi campuran C pertambahannya cukup perlahan. Hal ini menunjukkan bahwa pada campuran dengan dominasi KAG mampu menyerap CO2 dengan cepat, dibandingkan peran KAP, karena bentuknya yang tidak beraturan memungkinkan akses CO2 terhadap pori-pori yang tersedia dalam KAG lebih baik.

Sementara pada campuran dengan dominasi KAP (campuran C), walaupun tidak mampu menyerap seluruh CO2, namun tetap dapat mempertahankan serapan CO2 lebih lama semenjak kemunculannya, dibandingkan campuran A dan campuran B. Setelah melewati campuran A, dibutuhkan waktu 6 menit sejak kemunculan gas CO2 pertama kali hingga kemampuan serapan adsorben stagnan. Setelah melewati campuran B hanya mampu bertahan 4 menit hingga kemampuan serapan menjadi stagnan. Dan setelah melewati campuran C, kemampuan serapan adsorben dapat bertahan hingga 8 menit sejak menit awal terdeteksinya gas CO2 hingga kemampuan serapan adsorben mendekati stagnan. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun pada awalnya pori-pori adsorben KAP tidak terlalu mudah diakses CO2, namun setelah dimulai, terbuka akses yang lebih luas, karena ketersediaan internal surface area pada KAP cukup besar.



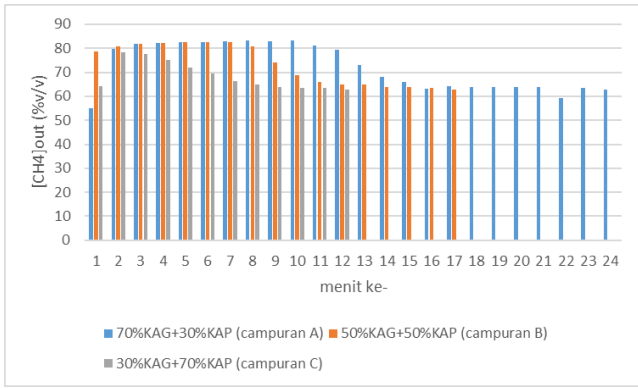
Gambar 3. Konsentrasi CO2 pada keluaran kolom adsorpsi scale up

Peningkatan kapasitas kolom adsorpsi (scale up) diharapkan dapat juga meningkatkan kapasitas serapan CO2 dari biogas, sehingga kolom adsorpsi dapat beroperasi dalam waktu yang lebih lama. Gambar 5 menyajikan profil konsentrasi CO2 yang keluar dari kolom adsorpsi scale up. Setelah melewati kolom adsorpsi berisi campuran A, kemunculan CO2 kembali adalah pada menit ke-24. Sedangkan keluaran kolom berisi campuran B muncul di menit ke-23, dan keluaran kolom berisi campuran C adalah pada menit ke-18. Terlihat bahwa pada aliran biogas keluaran kolom adsorpsi scale up, kemunculan gas CO2 kembali setelah sebagian besar terserap adsorben adalah pada waktu yang relatif lebih lama dibandingkan pada kolom adsorpsi awal.

Bila diamati waktu yang dibutuhkan sejak CO2 muncul kembali hingga kemampuan serapan adsorben menjadi stagnan, campuran A mampu bertahan selama 9 menit, campuran B mampu bertahan selama 4 menit, dan campuran C mampu bertahan selama 4 menit juga. Hal ini sedikit berbeda dengan pola yang terjadi dalam kolom adsorpsi awal tadi, dimana campuran C mampu bertahan paling lama. Hal ini dimungkinkan karena pori-pori adsorben campuran C sudah terakses sempurna sehingga mampu menyerap CO2 seluruhnya pada 18 menit awal, namun masih dibutuhkan usaha CO2 untuk mengakses pori-pori KAP yang mendominasi campuran C.

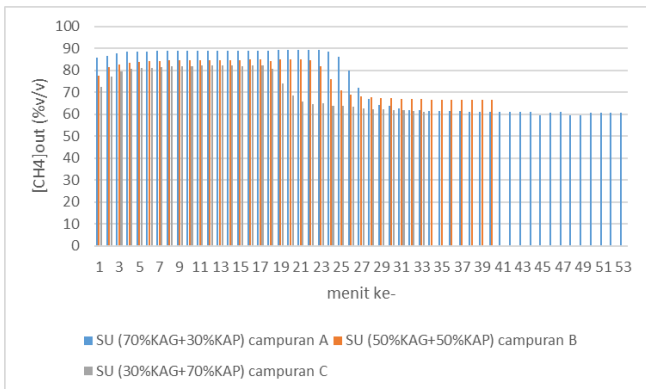
### 3.3. Dampak Adsorpsi CO2 Terhadap Konsentrasi CH4

Adsorpsi CO2 dari biogas merupakan salah satu cara pemisahan impurity yang berdampak pada peningkatan konsentrasi zat yang berguna, dalam hal ini adalah CH4. Peningkatan konsentrasi CH4 berakibat pada peningkatan nilai biogas tersebut, sehingga mampu memberikan energi yang lebih tinggi untuk pembakaran.



Gambar 4. Konsentrasi CH4 pada keluaran kolom adsorpsi awal

Pada Gambar 4 disajikan profil konsentrasi CH4 keluaran kolom awal selama proses adsorpsi. Terlihat bahwa bersamaan dengan penyerapan CO2 (konsentrasi CO2 0%v/v pada Gambar 5), konsentrasi CH4 juga mulai menunjukkan peningkatan. Pada kolom awal, setelah keluar kolom adsorpsi berisi campuran A, konsentrasi CH4 terbaik ada pada nilai 83,1% pada menit ke-10. Pada keluaran kolom berisi campuran B, konsentrasi CH4 terbaik adalah sebesar 82,4% pada menit ke-7, dan keluaran kolom berisi campuran C konsentrasi CH4 terbaik adalah sebesar 78,2% pada menit ke-2.



Gambar 5. Konsentrasi CH4 pada keluaran kolom adsorpsi scale up

Profil konsentrasi CH4 dalam biogas hasil adsorpsi pada kolom adsorpsi scale up ditunjukkan pada Gambar 8. Konsentrasi CH4 terbaik pada keluaran kolom adsorpsi scale up berisi campuran A adalah sebesar 89,3% pada menit ke-22. Sementara keluaran kolom adsorpsi berisi campuran B konsentrasi CH4 terbaik pada menit ke-19 sebesar 84,9%, dan keluaran kolom berisi campuran C konsentrasi CH4 terbaik terjadi pada menit ke-16 sebesar 82,4%. Dibandingkan dengan hasil adsorpsi pada kolom awal, konsentrasi CH4 terbaik pada kolom adsorpsi scale up ini menunjukkan hasil yang lebih baik. Jadi, selain meningkatkan durasi operasi, juga meningkatkan kualitas biogas, dilihat dari konsentrasi CH4 yang terkandung di dalam biogas keluaran kolom.

### 3.4. Kinerja Penyerapan (Adsorpsi) CO<sub>2</sub>

Kinerja penyerapan CO<sub>2</sub> dapat dilihat dari efektivitas adsorpsi dan juga melalui breakthrough curve. Pada pembahasan ini akan diulas mengenai keduanya.

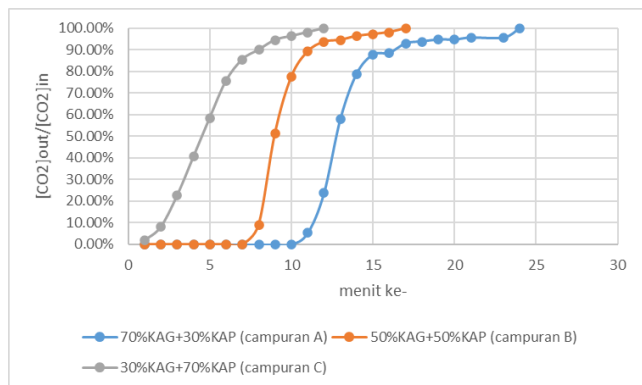
Tabel 1. Efektivitas Adsorpsi

Adsorben	Efektivitas adsorpsi	
	Kolom adsorpsi awal	Kolom Adsorpsi scale up
<b>Campuran A (70%KAG+30%KAP)</b>	100.00%	100.00%
<b>Campuran B (50%KAG+50%KAP)</b>	100.00%	100.00%
<b>Campuran C (30%KAG+70%KAP)</b>	91.89%	100.00%

Efektivitas adsorpsi dihitung dengan membandingkan selisih antara konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam biogas input dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> pada biogas output kolom terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam biogas input. Konsentrasi CO<sub>2</sub> output ini didasarkan pada kondisi ketika aliran biogas keluaran kolom menunjukkan konsentrasi CH<sub>4</sub> terbaik.

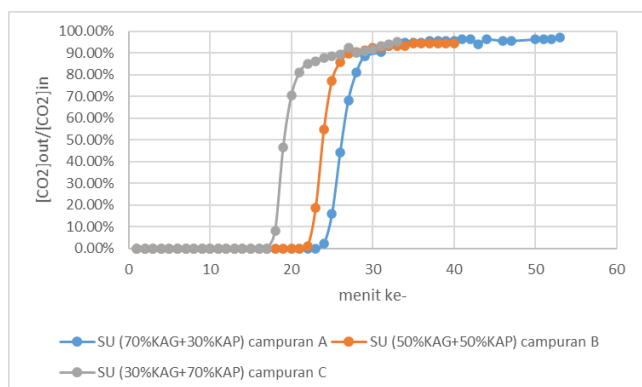
Hasil perhitungan efektivitas adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 1. Adsorpsi pada kolom awal menunjukkan hasil terbaik ketika kolom diisi campuran A dan campuran B. Namun ketika diganti dengan campuran C, efektivitasnya sedikit menurun, karena biogas output masih mengandung CO<sub>2</sub>. Sedangkan hasil adsorpsi pada kolom scale up menunjukkan hasil terbaik pada seluruh variasi campuran adsorben. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi pada kolom scale up masih mencukupi selama durasi pengujian ini.

Breakthrough curve untuk proses adsorpsi yang terjadi pada kolom adsorpsi awal ditunjukkan pada Gambar 9. Pada kolom dengan campuran A terlihat bahwa zona adsorpsi dimulai pada saat CO<sub>2</sub> mulai muncul (breakthrough point) yaitu sekitar menit ke-10 hingga konsentrasi CO<sub>2</sub> pada biogas output sudah masuk ke rentang 90-95% (exhaustion point) yaitu pada menit ke-17. Zona adsorpsi untuk campuran A hanya selama 7 menit. Sedangkan untuk kolom adsorpsi berisi campuran B, zona adsorpsi memiliki durasi selama 5 menit, dan yang berisi campuran C zona adsorpsi selama 7 menit. Disini terlihat bahwa peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> pada biogas output kolom dengan campuran C lebih landai dibandingkan dengan campuran A dan B yang cukup curam. Hal ini sesuai dengan penjelasan pada subbab sebelumnya terkait peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub>, bahwa campuran C dengan dominasi KAP masih menunjukkan performa baik dan masih mampu menyerap CO<sub>2</sub> dengan durasi yang serupa dengan campuran A.



Gambar 6. Breakthrough curve pada kolom adsorpsi awal

Untuk kolom adsorpsi scale up, profil breakthrough curve ditunjukkan pada Gambar 7. Zona adsorpsi untuk kolom berisi campuran A berdurasi 8 menit, yang berisi campuran B berdurasi 7 menit, dan yang berisi campuran C berdurasi 10 menit. Disini walaupun tidak terpaut begitu jauh, namun campuran C menunjukkan ketahanan yang lebih lama untuk menyerap CO<sub>2</sub> dibandingkan campuran A dan campuran B. Walaupun dari kecuraman kurva terlihat hampir sama, namun setelah melewati nilai 80%, kenaikan rasio konsentrasi CO<sub>2</sub> pada biogas output campuran C ini meningkat secara gradual, berbeda dengan campuran A dan B yang drastis.



Gambar 7. Breakthrough curve pada kolom adsorpsi scale up

Selain kedua hal di atas, kinerja penyerapan CO<sub>2</sub> juga dapat dilihat dari aspek jumlah biogas yang diproses, dan juga total solute, dalam hal ini CO<sub>2</sub>, yang dihilangkan atau dipisahkan dari aliran biogas. Hal ini disajikan dalam Tabel 2.

Kolom adsorpsi dioperasikan selama pengujian hingga adsorben mengalami kejenuhan dengan CO<sub>2</sub>, ditandai dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang keluar bersama biogas output mencapai atau mendekati nilai yang hampir sama dengan konsentrasi awalnya. Selama adsorpsi, laju alir biogas diatur pada debit 3 liter per menit. Namun sebagaimana dijelaskan sebelumnya, adsorpsi untuk tiap kolom yang berbeda isi adsorben menunjukkan durasi operasi yang berbeda. Terlihat bahwa baik pada kolom adsorpsi awal, maupun pada kolom adsorpsi scale up, volume biogas yang melewati kolom terbanyak pada kolom berisi campuran A, diikuti dengan campuran B dan C.

### 3.5. Pengaruh Scale-up terhadap adsorpsi CO<sub>2</sub>

Jika dibandingkan sebelum dan setelah scale up, rasio volume yang ditangani oleh kolom berisi campuran C mengalami peningkatan lebih tinggi, yaitu meningkat 2,75x, diikuti oleh campuran B dengan 2,35x dan campuran A dengan 2,21x. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan peningkatan kapasitas kolom (scale up) sangat berpengaruh terhadap kinerja adsorben campuran C.

Tabel 2. Perbandingan performa adsorben

Adsorben	Volume biogas yang diadsorpsi (Liter)		Volume/tinggi kolom (Liter/m)		Total of remove solute (Liter)	
	Kolom adsorpsi awal	Kolom Adsorpsi scale up	Kolom adsorpsi awal	Kolom Adsorpsi scale up	Kolom adsorpsi awal	Kolom Adsorpsi scale up
<b>Campuran A (70%KAG+30%KAP)</b>	72	159	180	212	8.208	21.942
<b>Campuran B (50%KAG+50%KAP)</b>	51	120	127.5	160	5.661	12.72
<b>Campuran C (30%KAG+70%KAP)</b>	36	99	90	132	3.672	12.078

Bila dikaitkan dengan tinggi kolom, performa adsorben ini juga mengalami perubahan. Dengan scale up 3x volume awal, dan menyesuaikan dengan material pipa PVC yang ada di pasaran, tinggi kolom awal sebesar 40 cm dan kolom scale up sebesar 75 cm. Baik pada kolom awal, maupun pada kolom scale up, volume biogas yang diadsorpsi per tinggi kolom yang terbaik adalah ketika kolom diisi campuran A, diikuti campuran B, dan terakhir campuran C. Namun jika dibandingkan antara sebelum dan setelah scale up, peningkatan volume per tinggi kolom terbaik ditunjukkan oleh adsorben campuran C dengan 1,47x, diikuti campuran B dengan 1,25x dan campuran A dengan 1,18x. Sehingga dapat dikatakan bahwa performa campuran A tidak mendapat pengaruh yang signifikan dari peningkatan kapasitas kolom (scale up) ini, sedangkan performa campuran C meningkat hampir 50%.

Kolom adsorpsi berisi campuran adsorben ini, tugas utamanya adalah menyerap kontaminan CO<sub>2</sub>, sehingga tinjauan tentang jumlah CO<sub>2</sub> yang bisa dipisahkan menjadi perhatian utama. Pada Tabel 2, total of remove solute, baik pada kolom adsorpsi awal, maupun pada kolom adsorpsi scale up, terbaik ditempati campuran A, diikuti, campuran B, dan yang terakhir campuran C. Terlihat bahwa dominasi KAG

dalam campuran memberikan pengaruh yang baik. Namun, ketika dilakukan scale up, campuran C yang bisa menghilangkan CO<sub>2</sub> kurang dari setengahnya yang bisa dihilangkan campuran A pada kolom adsorpsi awal, mulai bisa mengejar ketika diisikan pada kolom scale up, dan mendekati performa campuran B. Dan jika dibandingkan total solute yang bisa dihilangkan sebelum dan setelah scale up, campuran C menunjukkan peningkatan yang signifikan, yaitu 3,29x, diikuti campuran A dengan 2,67x dan campuran B dengan 2,25x. Jadi, jelas bahwa scale up sangat berdampak besar terhadap performa adsorben campuran C dengan dominasi KAP.

#### 4. Simpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa variasi campuran yang menghasilkan kualitas biogas terbaik adalah campuran A (70%KAG+30%KAP), menghasilkan konsentrasi CH<sub>4</sub> 83,1% pada kolom awal dan 89,3% pada kolom scale up. Komposisi biogas terbaik pada kolom adsorpsi awal adalah yang telah melewati campuran A (70%KAG+30%KAP) dengan komposisi CH<sub>4</sub> 83,1%, CO<sub>2</sub> 0%, O<sub>2</sub> 4,2%, N<sub>2</sub> 12,7%, dan H<sub>2</sub>S 0 ppm. Dan yang keluar dari kolom adsorpsi scale up adalah yang telah melewati Campuran A (70%KAG+30%KAP) dengan komposisi CH<sub>4</sub> 89,3%, CO<sub>2</sub> 0%, O<sub>2</sub> 2,8%, N<sub>2</sub> 7,9%, dan H<sub>2</sub>S 3 ppm. Kinerja adsorpsi biogas berupa: (a) efektivitas adsorpsi untuk kolom berisi tiap campuran hampir semuanya 100%, (b) breakthrough curve untuk campuran C adalah yang terbaik dengan menunjukkan ketahanan dalam penyerapan CO<sub>2</sub> yang lebih lama, zona adsorpsi pada kolom adsorpsi awal selama 7 menit dan kolom scale up selama 10 menit, (c) volume biogas yang diadsorpsi, volume biogas/tinggi kolom, dan jumlah total of remove solute terbaik ditunjukkan oleh campuran A dengan berturut-turut 72 Liter, 180 Liter/m, dan 8,208 Liter pada kolom awal, dan 159 Liter, 212 Liter/m, dan 21,942 Liter pada kolom scale up, dan (d) scale up memberikan dampak yang signifikan pada performa adsorben campuran C dengan meningkatnya volume biogas yang diadsorpsi sebesar 2,75x, volume/tinggi kolom meningkat 1,47x, dan total of remove solute sebesar 3,29x.

Penelitian ini bisa dikembangkan untuk skala yang lebih besar seperti skala industri.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada P3M Politeknik Negeri Bandung yang telah memfasilitasi penelitian ini melalui skema Penelitian Mandiri.

#### Daftar Pustaka

- [1] M. Karagöz, S. Sarıdemir, E. Deniz, and B. Çiftçi, "The effect of the CO<sub>2</sub> ratio in biogas on the vibration and performance of a spark ignited engine," *Fuel*, vol. 214, no. August 2017, pp. 634–639, 2018.
- [2] H. Susanto, W. Wijaya, and I. N. Widiasa, "MODIFIKASI KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN UNTUK PEMURNIAN BIOGAS," *TEKNIK*, vol. 34, no. 1, pp. 4–8, 2013.
- [3] R. Augelletti, M. Conti, and M. C. Annesini, "Pressure swing adsorption for biogas

upgrading. A new process configuration for the separation of biomethane and carbon dioxide," *J. Clean. Prod.*, vol. 140, pp. 1390–1398, 2017.

- [4] Kurniawan, Y. Suprianti, and P. Iriani, "PEMBUATAN DAN PENGUJIAN KOLOM ADSORPSI BIOGAS MENGGUNAKAN CAMPURAN ADSORBEN KARBON AKTIF DAN ZEOLIT." Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2017.
- [5] T. A. Rash *et al.*, "Microporous carbon monolith synthesis and production for methane storage," *Fuel*, vol. 200, pp. 371–379, 2017.
- [6] J. F. Vivo-Vilches *et al.*, "Biogas upgrading by selective adsorption onto CO<sub>2</sub> activated carbon from wood pellets," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 1386–1393, 2017.



**Yanti Suprianti** menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Kimia di Institut Teknologi Bandung pada tahun 2004. Pendidikan magister Teknik kimia diselesaikan di Institut Teknologi Bandung pada tahun 2010 dengan area riset tentang recovery logam dari limbah cair secara elektrodeposisi.