



---

# Regenerasi In-Situ Adsorben Karbon Aktif Tipe Granul dengan Metode Termal

Yanti Suprianti\*, Annisa Syafitri Kurniasetyawati

Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Desa Ciwaruga, Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40012, Indonesia

\*E-mail: yanti.suprianti@polban.ac.id

## ABSTRAK

Produk biogas memiliki spesifikasi yang masih perlu ditingkatkan (mengandung metana, CH<sub>4</sub> 50-70%, dan karbon dioksida, CO<sub>2</sub> 30 – 49%), agar dapat bersaing dengan gas alam, yaitu lebih dari 98% metana. Metode pemurnian melalui adsorpsi CO<sub>2</sub> paling banyak diterapkan, karena tidak memerlukan biaya tinggi, jika dibandingkan teknologi pemisahan konvensional lain. Tetapi, media adsorben karbon aktif akan mengalami kejenuhan dalam waktu tertentu. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meregenerasi karbon aktif yang jenuh oleh CO<sub>2</sub> yaitu dengan peningkatan temperatur melalui metoda termal. Pada penelitian ini dilakukan regenerasi in-situ dengan peningkatan temperatur karbon aktif di dalam kolom adsorpsi-desorpsi, dengan alat dapat mengakomodasi tiga pola operasi, yaitu adsorpsi, regenerasi/desorpsi, dan pengosongan gas. Alat terdiri atas kolom yang dilengkapi perpipaan, *blower* pendorong udara, *heater* dan *thermostat* untuk pemanas dan pengatur temperatur udara. Hasil uji alat menunjukkan bahwa durasi proses adsorpsi hingga mencapai kejenuhan adalah 30 menit pada siklus pertama dan 40 menit pada siklus kedua. Selanjutnya, durasi proses desorpsi dari siklus pertama hingga ketiga menunjukkan peningkatan linier, dipengaruhi oleh temperatur udara pemanas, dengan penurunan konsentrasi Ca(OH)<sub>2</sub> hingga masih menunjukkan tren peningkatan. Setelah dilakukan tiga siklus proses adsorpsi-desorpsi didapatkan bahwa performa dari karbon aktif masih belum mengalami penurunan kapasitas.

**Kata kunci:** adsorpsi, desorpsi, karbon aktif, karbon dioksida, regenerasi in-situ, temperatur

## ABSTRACT

Biogas have certain specifications that need to be improved (contain methane, CH<sub>4</sub>, 50-70%, and carbon dioxide, CO<sub>2</sub>, 30-49%), in order to compete with natural gas (>98% methane). The adsorption of CO<sub>2</sub> is the most widely applied to purify biogas since it considered as low cost, in terms of energy supply and raw materials. However, activated carbon adsorbent will be saturated and must be regenerated. One of the methods that can be used to regenerate CO<sub>2</sub>-saturated activated carbon is using thermal method. In this research, the in-situ regeneration was carried out by increasing temperature of the activated carbon in adsorption-desorption column, which accommodate three operating patterns, namely adsorption, regeneration/desorption, and gas discharge. The tool consists of columns, piping, blower, heater and thermostat for air heating and controlling temperature. The result showed that the saturation time was 30 minutes and 40 minutes, respectively in 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> cycle. The duration of the desorption from the 1<sup>st</sup> to 3<sup>rd</sup> cycle showed a linear trend, influenced by heating air temperature. And the reduction in Ca(OH)<sub>2</sub> concentration still showed increasing trend after three adsorption-desorption cycles carried out, so the performance or adsorption capacity of activated carbon had not yet been decreased.

**Keywords:** activated carbon, adsorption, carbon dioxide, desorption, in-situ regeneration, temperature

## 1. PENDAHULUAN

Biogas merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang dapat dibuat dari limbah biomassa yang melimpah, seperti kotoran sapi, limbah tahu, eceng gondok, sampah

organik, dan sebagainya. Pemanfaatan limbah biomassa menjadi biogas dapat memecahkan permasalahan lingkungan dalam penanganan limbah, dan secara tidak langsung juga dapat menjadi solusi alternatif

bagi permasalahan pengolahan limbah organik yang terjadi hampir di seluruh wilayah berpemukiman padat di Indonesia.

Kualitas biogas yang diharapkan memiliki konsentrasi gas metana ( $\text{CH}_4$ ) yang tinggi (>90%). Namun, secara umum komposisi produk biogas yang alami terdiri atas metana ( $\text{CH}_4$ ) sebesar 50-70% dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sebesar 30-49%, dan sedikit gas lain, seperti  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  dan air sebagai trace element [1]. Karena gas  $\text{CO}_2$  merupakan gas yang tidak mendukung terjadinya pembakaran (nilai kalor nol), maka akan menyebabkan panas yang dihasilkan biogas mentah (yang belum diolah) tidak optimal bila dibandingkan dengan pembakaran gas metana kadar tinggi (98%) [2].

Pilihan proses pemurnian biogas diantaranya adalah *Pressure Swing Adsorption* (PSA) [3], yang umum digunakan di industri, karena memiliki keunggulan dibandingkan teknologi pemisahan konvensional, seperti memerlukan banyak biaya, baik dari segi suplai energi, maupun bahan baku prosesnya [4]. Hasil penelitian Eric Chen, et.al. [5] merekomendasikan proses penangkapan  $\text{CO}_2$  menggunakan karbon aktif dibandingkan dengan zeolit, karena zeolit memerlukan perlakuan khusus penghilangan uap air sebelum proses adsorpsi. Dari sisi biaya juga lebih ekonomis, yaitu \$51 (zeolit) dan \$37 (karbon aktif) per ton  $\text{CO}_2$  yang terperangkap [5].

Namun, pemurnian dengan jalur adsorpsi terkendala dengan besarnya luas permukaan pori adsorben. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang sangat besar karena mikropori yang dimilikinya, umumnya pada order sekitar  $1000 \text{ m}^2/\text{gram}$  karbon, sehingga dapat menyerap polutan (termasuk gas  $\text{CO}_2$ ) hingga 50% dari massa karbon [6]. Akibatnya, dalam waktu tertentu, hampir seluruh permukaan pori adsorben terisi oleh  $\text{CO}_2$  dan menjadi jenuh, sehingga tidak dapat memerangkap  $\text{CO}_2$  lagi. Adsorpsi  $\text{CO}_2$

dengan adsorben karbon aktif berukuran 32 mesh pada kolom adsorpsi 2,43 L, terbukti menjenuhkan adsorben pada menit ke-15 [7]. Penggunaan adsorben campuran karbon aktif 32 mesh dan zeolit juga hanya mampu bertahan sampai 15 menit [8].

Melihat fenomena terbatasnya kapasitas waktu operasi adsorben dalam menangkap  $\text{CO}_2$ , maka diperlukan suatu cara untuk memperpanjang masa aktif karbon aktif dalam kolom. Pilihan yang pertama yaitu, karbon aktif jenuh harus diganti dengan karbon aktif baru, atau pilihan yang kedua yaitu dilakukan regenerasi. Pilihan pertama dapat menjadi solusi termurah untuk konsentrasi polutan rendah dengan pertimbangan masa operasional yang panjang. Solusi yang kedua, yaitu regenerasi memungkinkan karbon aktif untuk dapat digunakan kembali hingga beberapa kali, dan hal ini dapat dilakukan secara in-situ maupun di luar situs/ *off site*.

Dalam penelitian terdahulu, baik yang dilakukan oleh Suprianti [9] yang mengadsorpsi  $\text{CO}_2$  dalam biogas menggunakan karbon aktif dalam dua kolom adsorpsi seri, Kurniawan [7] yang mengadsorpsi  $\text{CO}_2$  dalam biogas menggunakan adsorben berbagai ukuran (mesh) karbon aktif, Kurniawan [8] yang mengadsorpsi  $\text{CO}_2$  dalam biogas dengan campuran adsorben karbon aktif dan zeolit, maupun Pangestu [10] yang melakukan adsorpsi  $\text{CO}_2$  dalam biogas dengan ukuran kolom *scale up*, pengisian adsorben karbon aktif dilakukan secara *batch* ke dalam kolom adsorpsi, sehingga selama ini solusi pertama selalu diaplikasikan, yaitu mengganti karbon aktif (yang sebelumnya direaktivasi terlebih dahulu). Sementara itu, kebutuhan pemurnian biogas terjadi secara terus-menerus. Oleh karena itu, penerapan regenerasi adsorben diharapkan dapat mencapai proses pemurnian yang lebih ekonomis.

Pada regenerasi *off-site* diperlukan serangkaian tahapan untuk mengganti adsorben karbon aktif hingga kolom siap digunakan, yaitu pembukaan kolom, pengeluaran karbon aktif jenuh, penyiapan (reaktivasi) karbon aktif baru secara termal, pendinginan karbon aktif, dan pengisian kembali karbon aktif ke dalam kolom adsorpsi. Cara praktis dalam proses regenerasi adsorben dilakukan secara in-situ, dimana karbon aktif tetap berada di dalam kolom dan mengalami dua proses, yaitu adsorpsi dan desorpsi (regenerasi adsorben).

Untuk itu, dalam penelitian ini dibuat serangkaian alat kolom adsorpsi-desorpsi menggunakan fenomena peningkatan temperatur (metode termal). Untuk mengakomodasi hal ini, digunakan material kolom carbon steel yang tahan panas, dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu yang telah disebutkan sebelumnya, yaitu menggunakan material kolom dari PVC. Selain itu, dilakukan pengujian untuk melihat kinerja dari alat adsorpsi-desorpsi in-situ tersebut.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan:

### 1. Penentuan Konfigurasi dan Desain Alat

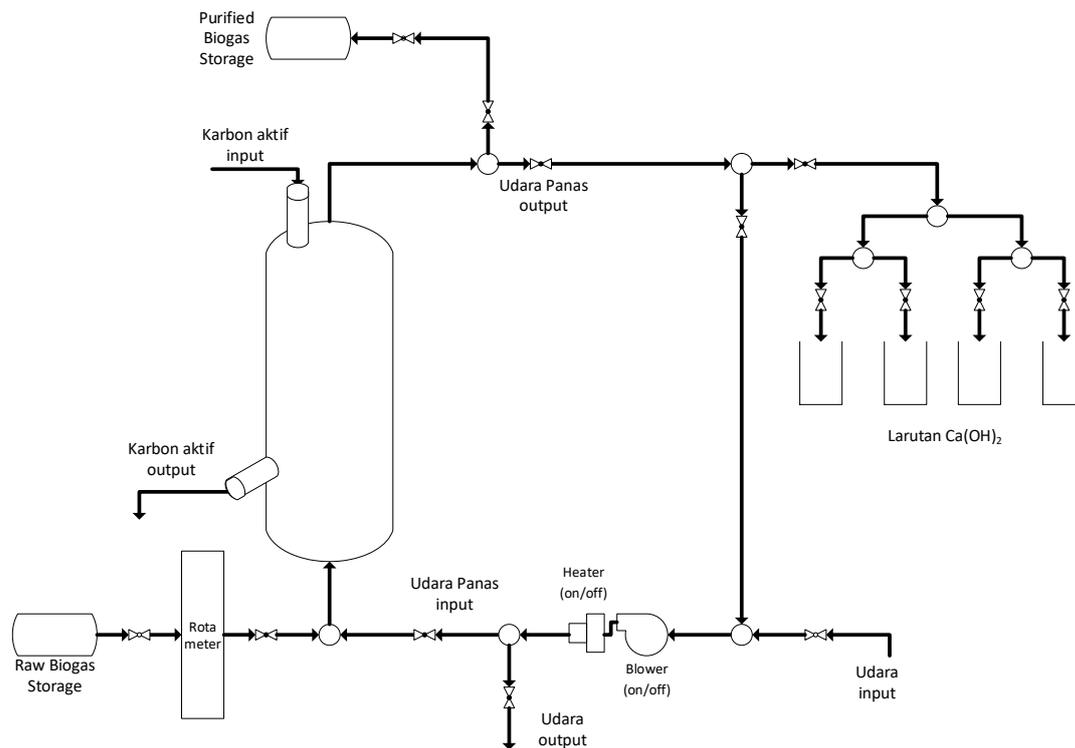
Kolom adsorpsi dibuat sesuai dengan kapasitas 2,4 liter. Alat yang dibuat dimaksudkan untuk mengakomodasi proses adsorpsi dan desorpsi/regenerasi in-situ dari gas  $\text{CO}_2$ , sehingga tidak diperlukan pengeluaran adsorben karbon aktif dari kolom adsorpsi. Selain kedua proses tersebut, juga diperlukan pengosongan kolom dari gas lain sebelum dilakukan proses adsorpsi selanjutnya, sehingga diperlukan proses pembersihan gas dalam kolom yang dapat dilakukan dengan cara pemvakuman menggunakan satu sumber aliran udara yaitu dari *blower*. Untuk itu konfigurasi dibuat sedemikian rupa agar dapat mengakomodasi

ketiga proses yang diperlukan, sehingga dapat berlangsung secara berkesinambungan. Konfigurasi yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 1. Dalam konfigurasi tersebut terdapat tiga pola pengoperasian, yaitu adsorpsi, regenerasi, dan pengosongan udara.

Pada pola adsorpsi, jalur yang dilewati biogas adalah mulai dari *raw biogas storage*, diukur lajunya melalui rotameter, masuk ke kolom adsorpsi, melewati proses analisa biogas hasil adsorpsi, hingga disimpan dalam *purified biogas storage*. Aliran dijaga pada jalur tersebut, dengan menutup katup lain yang mengarahkan ke aliran yang tidak diperlukan.

Pola regenerasi/desorpsi adalah dengan menggunakan metode termal menggunakan udara panas untuk melepaskan  $\text{CO}_2$  yang telah diadsorpsi oleh adsorben karbon aktif. Jalur yang dilewati udara adalah udara yang diambil dari lingkungan kemudian didorong oleh *blower* agar melewati filamen *heater* yang akan memanaskan udara tersebut. Pemanasan diatur oleh thermostat. Udara panas kemudian masuk ke kolom (yang berfungsi sebagai kolom desorpsi), dan diarahkan menuju ke keluaran. Di area keluaran, udara panas yang membawa  $\text{CO}_2$  ini dikontakkan dengan larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang akan bereaksi dengan  $\text{CO}_2$  dan membentuk endapan  $\text{CaCO}_3$ . Banyaknya endapan atau berkurangnya konsentrasi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dalam larutan mengindikasikan jumlah  $\text{CO}_2$  yang berhasil didesorpsi.

Selanjutnya, pola pengosongan udara dari dalam kolom dilakukan untuk mencegah gas oksigen dan nitrogen dalam udara terperangkap dalam adsorben karbon aktif, agar tidak mengurangi kapasitas adsorpsi. Adapun jalur yang dilewatinya adalah udara ditarik dari dalam kolom, kemudian pada splitter diarahkan menuju *blower*, dan dikeluarkan ke lingkungan. Pada saat ini, *heater* tidak dioperasikan, karena tidak dibutuhkan proses pemanasan.



**Gambar 1.** Konfigurasi alat

## 2. Penyiapan Alat dan Bahan dan pembuatan alat

Bahan yang digunakan mencakup biogas yang akan dimurnikan secara adsorpsi, dan adsorben karbon aktif yang disiapkan dengan ukuran 32 mesh. Sementara alat yang disiapkan adalah komponen yang diperlukan untuk mewujudkan konfigurasi pada tahap sebelumnya. Komponen utamanya adalah kolom adsorpsi, yang sekaligus berfungsi sebagai kolom desorpsi, yang dihubungkan dengan peralatan pemanas dan *blower* yang mengalirkan udara.

Biogas diperoleh dari warga dengan menggunakan bahan baku rumput dan diambil pada *batch* yang berbeda. Sehingga ada perbedaan kandungan untuk tiap *batch* eksperimen.

Untuk penggunaan pertama kali, karbon aktif berbahan dasar batok kelapa direaktivasi

terlebih dahulu dengan pemanasan dalam oven pada 150 °C. Hal ini dilakukan untuk memastikan kesiapannya dalam mengadsorpsi CO<sub>2</sub> dalam biogas, karena mungkin pada proses penyimpanan di gudang penjual, karbon aktif menyerap gas dari lingkungan.

Selanjutnya dilakukan perangkaian komponen yang telah disiapkan sebelumnya sesuai konfigurasi alat yang dibuat. Untuk menjaga panas agar tidak terbuang ke lingkungan lewat dinding pipa, maka diberi insulasi *glasswool* dan aluminium foil untuk keamanan.

## 3. Pengujian Kinerja Alat

Pada tahap ini dilakukan pengujian dengan tahapan proses, yaitu:

- a. Proses adsorpsi biogas. Hal ini dilakukan untuk menentukan kejenuhan adsorben oleh CO<sub>2</sub>. Selama

proses adsorpsi dilakukan pengambilan sampel gas inlet dan outlet kolom adsorpsi setiap interval 10 menit sampai perkiraan waktu jenuh. Uji kandungan gas dilakukan di Labtek X ITB. Profil kejenuhan adsorben ditunjukkan melalui *breakthrough curve*.

- b. Proses desorpsi. Pada tahap ini dilakukan proses pemanasan adsorben dengan mengalirkan udara panas pada temperatur setting 150 °C. Jumlah gas CO<sub>2</sub> yang terlepas dari adsorben diukur melalui reaksi dengan larutan Ca(OH)<sub>2</sub>. Larutan kemudian diuji konsentrasinya menggunakan TDS meter yang menandakan jumlah sisa Ca(OH)<sub>2</sub> terlarut. Pada temperatur yang dipilih, siklus dilakukan secara berulang adsorpsi-desorpsi sebanyak 3 kali. Hal ini dilakukan untuk mengukur perubahan kinerja regenerasi pada temperatur tersebut.

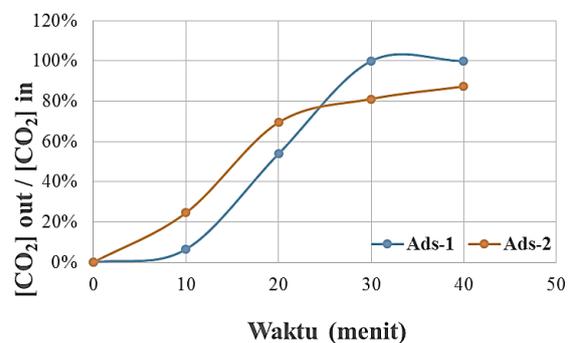
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Adsorpsi

Perbandingan kinerja adsorpsi antara tahap/siklus kesatu dan kedua ditunjukkan Gambar 2 berupa kurva *breakthrough* yang menyatakan persentase konsentrasi CO<sub>2</sub> keluar kolom adsorpsi terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> umpan kolom. Terlihat bahwa dengan bertambahnya waktu adsorpsi, jumlah CO<sub>2</sub> yang terserap akan mendekati atau bahkan mencapai nilai nol, sehingga persentase pada kurva *breakthrough* akan mendekati 100%, atau dengan kata lain adsorben karbon aktif mengalami kejenuhan [11].

Pada adsorpsi-1 terlihat bahwa adsorben karbon aktif segera jenuh pada menit ke-30, sedangkan pada adsorpsi-2 kejenuhan mulai nampak pada menit ke-40 dan bahkan adsorben karbon aktif terindikasi masih jauh dari sepenuhnya menjadi jenuh. Melihat tren peningkatan serapan CO<sub>2</sub> dalam karbon aktif mulai menit ke-20 hingga 40, dapat

diperkirakan karbon aktif akan jenuh pada menit ke-50 bila tren linear. Uji kandungan CO<sub>2</sub> di menit ke-50 tidak dilakukan karena melihat tren yang terjadi pada adsorpsi-1 yang jenuh pada menit ke-30 dan juga keterbatasan bahan baku biogas yang diperoleh dari warga. Kapasitas adsorpsi pada adsorben seharusnya menurun dengan beberapa kali siklus seperti yang dijelaskan oleh Amicarelli [12]. Amicarelli menemukan bahwa pada siklus adsorpsi lanjutan, kapasitas adsorpsi yang dimiliki oleh adsorben mengalami penurunan secara progressif.



**Gambar 2.** Perbandingan *breakthrough curve* proses adsorpsi tahap kesatu dan tahap kedua

Namun, pada percobaan ini yang terjadi adalah sebaliknya. Hal ini dapat disebabkan karena perbedaan perlakuan awal yang dialami adsorben karbon aktif. Pada persiapan adsorpsi pertama, setelah reaktivasi di dalam oven karbon aktif didiamkan di dalam oven untuk didinginkan, dan setelah itu baru dimasukkan ke dalam kolom. Adapun selama proses pendinginan ini, penyimpanan karbon aktif selalu disertai dengan desikan (silika gel) untuk menyerap kelembapan udara. Akan tetapi, kemungkinan terjadi penyerapan beberapa gas dari lingkungan, karena silika gel lebih dominan menangkap uap air. Sementara, pada persiapan adsorpsi kedua, setelah regenerasi in-situ, adsorben karbon aktif tetap berada dalam kolom hingga menjadi dingin. Hal ini nampaknya dapat meminimasi kontak dengan udara sekitar, sehingga kondisi

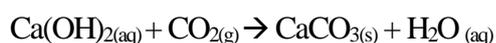
adsorben lebih terjaga untuk bekerja pada proses adsorpsi selanjutnya. Hal ini juga sekaligus menjadi keunggulan regenerasi in-situ, yang dapat menjaga kondisi baik pada adsorben karbon aktif, dan mencegah kontaminasi gas lain.

Sementara pada penelitian Amicarelli [12], zat yang diadsorpsi adalah zat cair yang telah dikondisikan pada konsentrasi tertentu, sehingga kemungkinan ada zat lain yang teradsorpsi dapat diminimalisir.

Hasil dari proses adsorpsi-1 dan adsorpsi-2 ini menunjukkan peningkatan kandungan CH<sub>4</sub> umpan 62,21% dan 76,26% (*raw biogas*) menjadi 72,12% dan 90,16% (*purified biogas*). Adapun hasil adsorpsi-3 tidak terbaca oleh alat GC, sehingga tidak bisa dibandingkan.

### 3.2. Desorpsi

Untuk dapat mengetahui jumlah gas CO<sub>2</sub> yang dilepaskan oleh karbon aktif selama proses regenerasi termal, maka gas CO<sub>2</sub> tersebut akan ditangkap oleh larutan Ca(OH)<sub>2(aq)</sub> sehingga bereaksi dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Adapun jumlah gas CO<sub>2</sub> terlarut di dalam larutan Ca(OH)<sub>2</sub> bisa diketahui dengan mengetahui jumlah garam anorganik CaCO<sub>3(s)</sub> yang terbentuk atau dengan penurunan konsentrasi Ca(OH)<sub>2</sub> terlarut. Pada saat awal, larutan Ca(OH)<sub>2</sub> dengan konsentrasi yang ditentukan berwarna jernih, dan kemudian akan mulai berubah menjadi lebih keruh hingga akhirnya menjadi jenuh (tidak dapat melarutkan CO<sub>2</sub> kembali) yang ditandai dengan terbentuknya endapan putih di dasar bejana penampung (gelas kimia).

Jumlah dari CaCO<sub>3(s)</sub> yang terbentuk dalam kurun waktu ini ditentukan dengan metode pendekatan hubungan antara nilai konsentrasi dari larutan pada kondisi akhir dengan konsentrasi padatan terlarut yang ada

di larutan, yang tidak lain adalah padatan CaCO<sub>3</sub>.



**Gambar 3.** Endapan CaCO<sub>3</sub> yang terbentuk

Proses desorpsi juga dilakukan dalam tiga kali tahapan/siklus sebagaimana proses adsorpsi, walaupun terdapat beberapa perbedaan kondisi operasi yang terjadi, diantaranya, yaitu perbedaan temperatur pemanasan oleh udara dari *heater*, dan perbedaan kondisi awal dari adsorben karbon aktif yang digunakan. Walaupun setting temperatur pemanas pada 150 °C, namun pada saat operasi, temperatur yang menuju kolom berada pada rentang yang berbeda-beda (Tabel 1). Penurunan temperatur pada desorpsi-3 terjadi karena diindikasikan sebagian filamen pemanas mengalami kerusakan disebabkan pemanasan terus-menerus dalam waktu yang lama, sehingga pasokan panas tidak maksimal.

**Tabel 1.** Rentang temperatur udara masuk kolom desorpsi

	Des-1	Des-2	Des-3
<b>Tmin</b> (°C)	100,2	106,1	43,3
<b>Tmax</b> (°C)	120,5	116,5	82,9

Pada pengujian awal tanpa beban (kolom tidak diisi karbon aktif), perambatan panas yang dibawa udara menuju bagian atas kolom mencapai 46 °C, namun setelah kolom diisi karbon aktif, terjadi penurunan temperatur hingga 25,1 °C di bagian atas kolom. Hal ini terjadi karena udara panas yang masuk ke

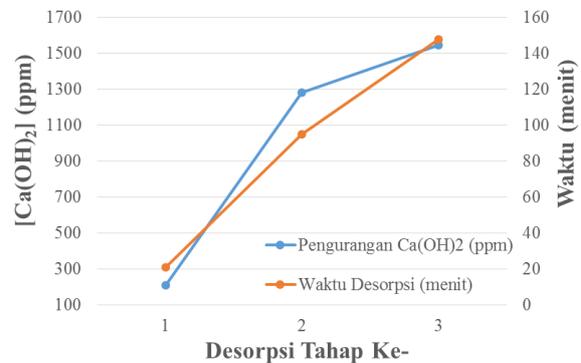
kolom tertahan oleh beban desorpsi (adsorben), sehingga pemanasan merambat melalui unggun (*bed*) adsorben karbon aktif, seperti perambatan panas konduksi melalui benda padat. Walaupun adsorben karbon aktif masih berupa granul kecil, namun ternyata cukup kompak untuk menahan aliran udara panas. Hal ini sesuai dengan yang dijelaskan oleh Balakrishnan, dkk [13] perpindahan panas konduksi ini berdasarkan pada asumsi spot kontak terbatas (*finite contact spot*) antar bola (dalam hal ini granul karbon aktif) di dalam unggun (karbon aktif) yang dimensinya bisa diperoleh dari teori elastisitas Hertzian.

Berdasarkan data yang didapatkan selama tiga tahapan proses desorpsi terdapat suatu korelasi, yaitu antara waktu proses dan penurunan konsentrasi larutan  $\text{Ca(OH)}_2$ . Korelasi ini diilustrasikan melalui dua kurva pada Gambar 4.

Pada mekanisme kerja alat ini, kinerja proses awal/ sebelum akan berpengaruh pada proses setelahnya, dalam hal ini apabila terdapat kegagalan hasil dari proses desorpsi, maka dapat dilakukan peninjauan dari proses pengosongan udara dan proses adsorpsi sebelumnya. Adapun korelasi yang ditunjukkan oleh kedua kurva tersebut, yaitu bahwa tahap per tahap dari desorpsi-1 hingga desorpsi-3, kurva pengurangan konsentrasi larutan  $\text{Ca(OH)}_2$  menunjukkan *trend* naik yang linier dan begitu pula pada kurva waktu proses.

Apabila diamati mulai dari proses adsorpsi-1, yaitu dikarenakan metode persiapan karbon aktif, yang tidak dapat mengisolasi karbon aktif sehingga terhindarkan dari kontak dengan lingkungan, maka jumlah gas  $\text{CO}_2$  yang teradsorpsi juga tidak banyak. Kemudian, pada tahap desorpsi-1, dikarenakan jumlah  $\text{CO}_2$  yang diadsorpsi memang tidak terlalu banyak, maka jumlah  $\text{CO}_2$  yang dapat dilepaskan selama proses desorpsi juga tidak banyak (210 ppm). Namun, justru dikarenakan jumlah  $\text{CO}_2$  yang

sedikit ini maka reaksi yang terjadi dengan larutan  $\text{Ca(OH)}_2$  berlangsung lama (pengurangan konsentrasi larutan  $\text{Ca(OH)}_2$  berlangsung sedikit demi sedikit).



**Gambar 4.** Korelasi antara waktu desorpsi dan pengurangan konsentrasi larutan  $\text{Ca(OH)}_2$

Pada proses adsorpsi-2, karena tahap persiapan karbon aktif melalui regenerasi/desorpsi-1, yang setelahnya meminimalkan kontak karbon aktif dengan lingkungan, maka jumlah karbon aktif yang diadsorpsi juga lebih banyak sebagaimana yang terlihat pada kurva *breakthrough*. Hal ini menyebabkan, pada proses desorpsi-2 jumlah gas  $\text{CO}_2$  yang dapat dikurangi juga lebih banyak dari desorpsi-1, yaitu 1283 ppm. Fenomena yang terjadi pada proses adsorpsi-3 tidak dapat dijelaskan melalui kurva *breakthrough*, karena hasil uji gas menggunakan GC tidak terbaca. Akan tetapi dari proses desorpsi-3 dapat diketahui, ternyata  $\text{CO}_2$  telah teradsorpsi, sehingga dapat terdeteksi pada proses desorpsi-3, larutan  $\text{Ca(OH)}_2$  semakin menurun konsentrasinya, yang diindikasikan telah bereaksi dengan  $\text{CO}_2$  yang didesorpsi dari adsorben karbon aktif. Terlihat pula bahwa jumlah  $\text{CO}_2$  yang terdesorpsi semakin banyak (1547 ppm). Melihat tren ketiga desorpsi, dapat dikatakan bahwa pada setelah tiga siklus adsorpsi-desorpsi ini, kemampuan karbon aktif masih belum mengalami penurunan kapasitas, berbeda dengan eksperimen Amicarelli [12]. Pada percobaan yang dilakukan Amicarelli [12] tersebut, zat

yang diadsorpsi adalah zat cair, dan didesorpsi pada temperatur 450 °C, dengan sepuluh kali siklus adsorpsi-desorpsi. Sedangkan pada penelitian ini yang diadsorpsi adalah zat gas dengan temperatur desorpsi yang lebih rendah, dan dilakukan sebanyak tiga kali siklus adsorpsi-desorpsi. Sehingga, kemungkinan terjadinya penurunan kapasitas lebih lambat dibandingkan dengan yang terjadi pada penelitian Amicarelli tersebut.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah lama waktu proses adsorpsi yang dibutuhkan untuk mencapai kejenuhan pada adsorpsi-1 yaitu 30 menit dan pada adsorpsi-2 yaitu 40 menit. Waktu yang dibutuhkan untuk proses desorpsi-1 hingga desorpsi-3 menunjukkan peningkatan linear, dipengaruhi oleh jumlah CO<sub>2</sub> yang teradsorpsi, serta temperatur udara pemanas. Besarnya delta pengurangan konsentrasi larutan Ca(OH)<sub>2</sub> hingga pada desorpsi-3 masih menunjukkan tren peningkatan (performa adsorpsi CO<sub>2</sub> masih belum pada kondisi optimum). Setelah dilakukan tiga tahapan atau siklus proses adsorpsi-desorpsi didapatkan bahwa performa dari karbon aktif masih belum mengalami penurunan kapasitas.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh pendanaan dari Unit Penelitian Pengabdian Masyarakat (UPPM) Politeknik Negeri Bandung melalui Program Penelitian Pemula Dana DIPA Politeknik Negeri Bandung.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Zhang, Biogas Production Technologies, Colorado: Biogas and Fuel Cell Workshop, National Renewable Energy Laboratory, 2012.
- [2] Soil and Science Water Department of University of Florida, "University of Florida," 20 Maret 2018. [Online]. Available:<http://biogas.ifas.ufl.edu/us.es.asp>.
- [3] M. P. S. Santos, C. A. Grande, and A. E. Rodrigues, Pressure Swing Adsorption for Biogas Upgrading. Effect of Recycling Streams in Pressure Swing Adsorption Design, *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 50, no. 2, hal. 974–985, 2011.
- [4] P. A. Cremonez, A. Feiden, E. d. Rossi, W. C. Nadaleti and J. Antonelli, Main technologies available for biogas purification, *Applied Research & Agrotecnology*, vol. 7, no. 1, hal 113-119, 2014.
- [5] E. Chen, K. Rolin and Z. Stillman, Activated Carbon-based Carbon Dioxide Adsorption Process, Senior Design Reports, Philadelphia, 2017.
- [6] Fischer and V. Marco, In situ electrochemical regeneration of activated carbon, Ph.D. Dissertation, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Groningen, Groningen, Netherlands, 2001.
- [7] A. Kurniawan, Pembuatan dan Pengujian Alat Pemurnian Biogas menggunakan Metode Adsorpsi dengan Variasi Ukuran Karbon Aktif sebagai Adsorben, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2016.
- [8] Kurniawan, Pembuatan dan Pengujian Kolom Adsorpsi Biogas menggunakan Campuran Adsorben Karbon Aktif dan Zeolit, Tugas Akhir, Jurusan Teknik

Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2017.

- [9] Y. Suprianti, Pemurnian Biogas untuk meningkatkan Nilai Kalor melalui Adsorpsi Dua Tahap Susunan Seri dengan Media Karbon Aktif, *Elkomika*, vol. 4, no. 2, hal. 185-196, 2016.
- [10] Y. R. Pangestu, Pembuatan dan Pengujian Kolom Adsorpsi Biogas menggunakan Adsorben Variasi Campuran Bentuk Karbon Aktif, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2018.
- [11] W. L. McCabe, J. C. Smith and P. Harriott, Unit Operations of Chemical Engineering, McGraw-Hill, Inc., 1993.
- [12] V. Amicarelli, G. Baldassarre and L. Liberti, Investigation of Low-Temperature Regeneration of Activated Carbon, *Journal of Thermal Analysis*, vol. 18, hal. 155-160, 1980.
- [13] A. R. Balakrishnan and D. C. T. Pei, Heat Transfer in Gas-Solid Packed Bed Systems. 2. The Conduction Mode, *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, vol. 18, no. 1, hal. 40-46, 1979.