

Pemisahan Campuran CH₄/CO₂ dengan Menggunakan Karbon Aktif yang Dimodifikasi

Heru Susanto, Budiyono, Agus Hadiyanto dan I Nyoman Widiasa

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto No. 1, Tembalang, Semarang
heru.susanto@undip.ac.id

Abstrak

Sistem campuran CH₄/CO₂ banyak ditemui pada bahan bakar gas seperti gas alam dan biogas. Keberadaan CO₂ dalam bahan bakar gas dapat menurunkan nilai bakar dan dapat menyebabkan proses pengkompresian tidak ekonomis. Oleh karena itu pemurnian CH₄ dari CO₂ merupakan langkah penting yang harus dilakukan. Makalah ini mempresentasikan proses pemurnian CH₄ dari campuran CH₄/CO₂ dengan menggunakan karbon aktif termodifikasi sebagai adsorben. Karbon aktif dimodifikasi dengan dialiri gas ammonia dalam reaktor kuarsa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi menggunakan karbon aktif yang dimodifikasi dapat menurunkan kadar CO₂ sebesar 67,5% sedangkan karbon aktif tanpa modifikasi sebesar 43%. Modifikasi karbon aktif dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi CO₂ dari ~28 menjadi ~38 mg CO₂/g adsorbent. Kenaikan temperatur umpan akan menurunkan kapasitas adsorpsi CO₂.

Kata kunci: Pemurnian CH₄, Pemisahan campuran CH₄/CO₂, Karbon aktif, Modifikasi karbon aktif.

1 Pendahuluan

Sistem campuran CH₄/CO₂ banyak ditemui pada bahan bakar gas seperti gas alam dan biogas. Penggunaan gas alam dan biogas sebagai bahan bakar secara luas dibatasi oleh kemurnian yang dimiliki. Sebagai ilustrasi keberadaan CO₂ dan uap air sebagai komponen impuritas menyebabkan biogas tidak dapat digunakan secara luas (Deublein dan Steinhauser, 2008). Gas CO₂ mempunyai proporsi yang relatif tinggi dan dapat mencapai 50%. Selain menurunkan nilai kalor karena sifatnya yang tidak bisa dibakar, keberadaan gas CO₂ juga menyebabkan proses pengkompresian untuk keperluan transportasi tidak ekonomis. Oleh karena itu proses pemurnian bahan bakar gas (CH₄) dari CO₂ dan uap air merupakan langkah penting yang harus dilakukan untuk memperluas penggunaan bahan bakar gas termasuk biogas.

Beberapa proses untuk memisahkan gas CO₂ dari campurannya telah banyak diusulkan yang secara umum meliputi absorpsi menggunakan pelarut, pemisahan cryogenic, pemisahan menggunakan membran dan adsorpsi (Kazama dkk, 2002; Pevida dkk, 2008; Dong dkk, 1999; Xu dkk, 2003; Chaffee dkk, 2007). Proses absorpsi menggunakan pelarut membutuhkan bahan kimia dan energi yang cukup tinggi. Selain itu, proses ini juga dapat menghasilkan produk samping berupa limbah



pelarut yang telah digunakan. Pemisahan CO₂ menggunakan membran dewasa ini menjadi pilihan oleh banyak kalangan karena selektifitas dan permeabilitas yang tinggi (Song dkk, 2008; Powell dan Qiao, 2006; Lindmark dan Hedlund, 2010). Meskipun teknologi membran telah banyak digunakan untuk pemurnian gas namun teknologi ini tidak tepat untuk aplikasi pemurnian biogas karena biaya investasi yang diperlukan cukup tinggi sementara kapasitas produksi biogas biasanya dalam jumlah yang relatif kecil. Regenerasi untuk penggunaan kembali adsorbent yang dilakukan karena adsorbent mengalami kejenuhan merupakan kelemahan utama proses pemisahan CO₂ dengan pressure swing adsorption menggunakan adsorbent zolite. Proses pemurnian yang tepat untuk biogas harus memiliki karakteristik sebagai berikut murah untuk aplikasi dengan kapaistas kecil, sederhana dan mudah diperoleh.

Potensi penggunaan karbon aktif menggantikan zolit untuk pemisahan CO₂ telah dilaporkan (Plaza dkk, 2009). Selain murah, kapasitas penyerapan CO₂ karbon aktif tidak dibatasi oleh keberadaan uap air. Namun demikian, keberadaan gugus-gugus yang bersifat asam seperti fenol dan karboksil membatasi kapasitas penyerapan karbon aktif terhadap CO₂. Pada penelitian ini, dilakukan modikasi karbon aktif secara kimia untuk mengurangi gugus-gugus yang bersifat asam sehingga dapat meningkatkan kapasitas penyerapan CO₂. Modifikasi dilakukan dengan cara memasukkan gugus fungsional berbasis nitrogen. Keberadaan gugus fungsional berbasis nitrogen diharapkan dapat meningkatkan kapasitas penyerapan CO₂ melalui terbangunnya ikatan kovalen antara CO₂ dan gugus amine hasil modifikasi.

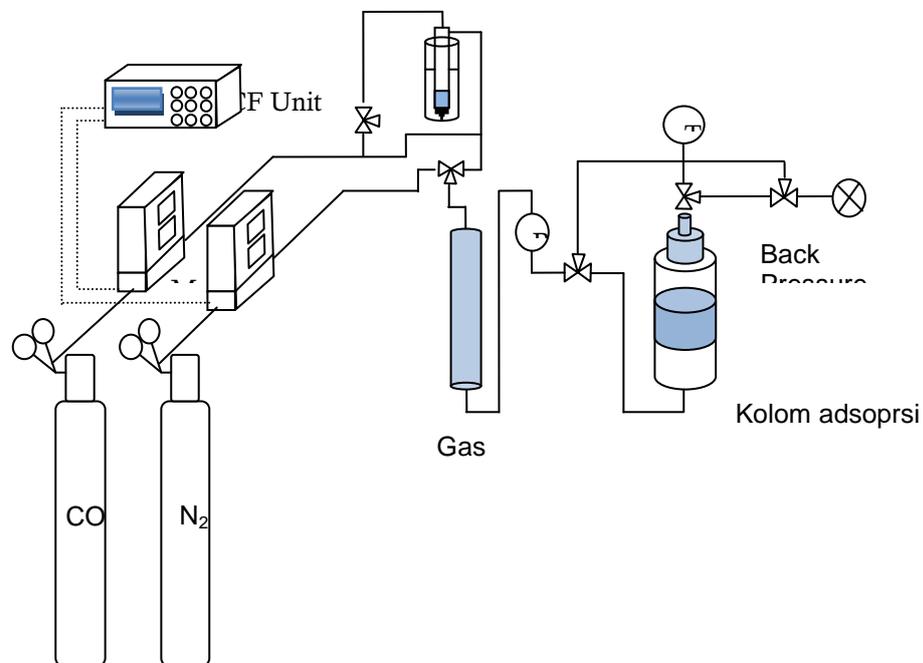
2 Metode

2.1 Modifikasi karbon aktif

Metode modifikasi karbon aktif telah dilaporkan pada publikasi sebelumnya (Susanto dkk., 2013). Secara singkat modifikasi karbon aktif dengan menggunakan ammonia dalam suatu reaktor kuarsa. Sejumlah karbon aktif (yang sebelumnya dioven pada suhu 100 °C selama 18 jam) dengan berat tertentu dimasukkan dalam suatu reaktor kuarsa. Reaktor kemudian dipanaskan sampai temperatur 400 °C dan gas ammonia (NH₃) dialirkan dengan laju alir 40 cm³/menit menuju reaktor. Proses ini dilakukan selama 2 jam dan kemudian didinginkan sampai temperatur 100 °C dan diikuti dengan pengaliran gas nitrogen sampai temperatur mencapai temperatur ruangan.

2.2 Adsorpsi karbon dioksida

Pada tahap ini kemampuan karbon aktif sebelum dan setelah modifikasi dalam menyerap karbon dioksida diselidiki. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan unit adsorpsi skala laboratorium yang dikembangkan berdasarkan Lee dkk. (2012) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Gas CO₂ dengan konsentrasi 40% (dicampur dengan N₂) dimasukkan ke dalam kolom adsorber yang telah berisi karbon aktif dengan kecepatan 50 cm³/menit. Kapasitas adsorpsi CO₂ karbon aktif dihitung dari selisih konsentrasi gas CO₂ sebelum dan setelah melewati kolom adsorber. Konsentrasi gas CO₂ diukur dengan menggunakan kromatografi gas.



Gambar 1. Skematik rangkaian alat percobaan adsorpsi CO₂ (Susanto dkk., 2013)

3 Hasil dan Pembahasan

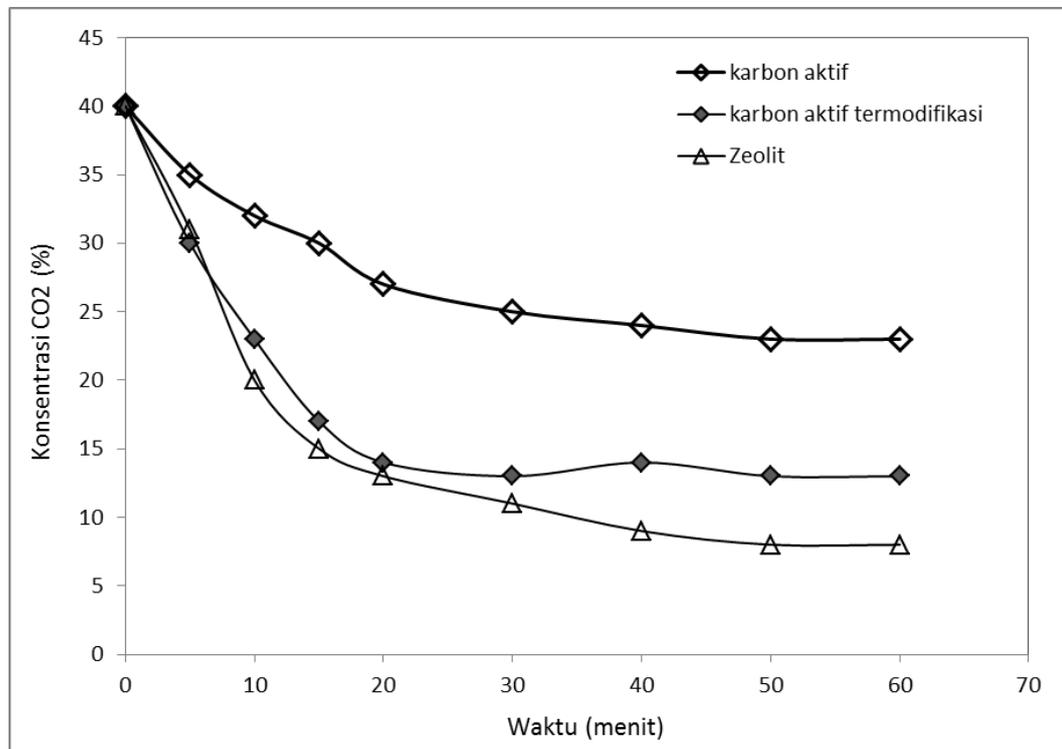
3.1 Karakterisasi karbon aktif

Untuk mengetahui keberhasilan modifikasi, permukaan kimia karbon aktif sebelum dan setelah modifikasi dibandingkan dengan menggunakan FTIR. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa karbon aktif sebelum modifikasi mempunyai peak pada panjang gelombang 1138 cm⁻¹ yang mengindikasikan C-O stretching, 1423 cm⁻¹ yang mengindikasikan cincin aromatik, 1730 cm⁻¹ (ikatan rangkap dua C=O dari karboksilat) dan 3500-3600 cm⁻¹ yang mengindikasikan O-H stretching. Spektrum IR setelah modifikasi menunjukkan N-H stretching pada panjang gelombang 3375-3290 cm⁻¹. Selain itu, peak baru pada panjang gelombang 1640-1660 cm⁻¹ yang mengindikasikan gugus amida dapat dilihat dengan jelas. Hasil ini membuktikan bahwa modifikasi telah berhasil dilakukan. Ammonia akan bereaksi dengan gugus asam karboksilat yang menyebabkan terbentuknya amida, imida dan laktam.

3.2 Adsorpsi CO₂

Pemurnian biogas dilakukan dengan menghilangkan CO₂ dalam proses adsorpsi. Studi pengilangan CO₂ dilakukan dengan mencampurkan gas CO₂ dan nitrogen dengan komposisi gas CO₂ 40%. Hasil percobaan disajikan pada Gambar 2.

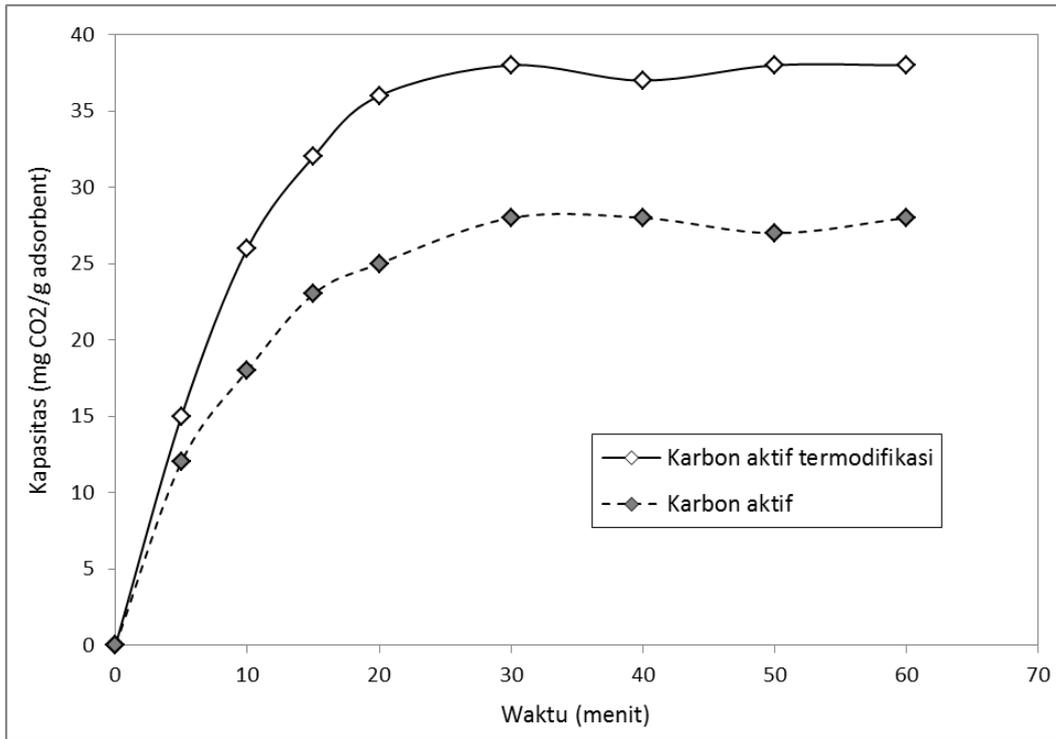
Adsorpsi menggunakan karbon aktif dapat menurunkan CO₂ mencapai 43%. Modifikasi karbon aktif dengan gas ammonia dapat meningkatkan persen penghilangan CO₂ dari 43% menjadi 67%.



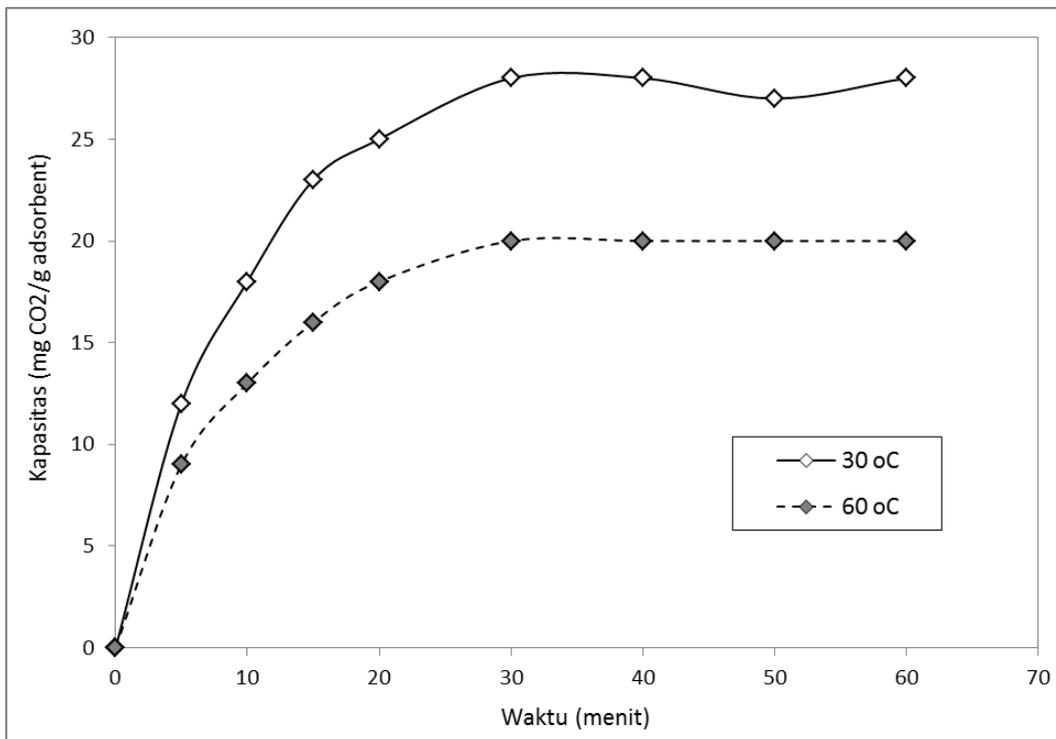
Gambar 2. Adsorpsi CO₂ sebagai fungsi waktu

Untuk mengetahui kapasitas adsorpsi CO₂ dilakukan percobaan dengan menggunakan karbon aktif pada temperatur konstan (30±2 °C). Hasil eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3. Kapasitas adsorpsi karbon aktif dan karbon aktif yang dimodifikasi mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya waktu adsorpsi dan menunjukkan nilai maksimum berturut-turut adalah ~28 dan ~38 mg CO₂/g adsorbent. Lebih besarnya kapasitas adsorpsi karbon aktif dengan modifikasi dapat dijelaskan dengan dua hal yaitu peningkatan luas permukaan spesifik sebelumnya (Susanto dkk., 2013) dan adanya tambahan gugus fungsional berbasis nitrogen yang dapat meningkatkan interaksi karbon aktif dengan CO₂. Karbon aktif setelah modifikasi mempunyai luas permukaan spesifik yang lebih besar dibandingkan sebelum modifikasi. Lebih lanjut, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa adsorpsi CO₂ menggunakan karbon aktif terjadi baik secara fisika maupun kimia.

Pengaruh temperatur pada adsorpsi CO₂ dipelajari dengan menggunakan karbon aktif yang dimodifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan temperatur umpan dari 30 °C ke 60 °C menurunkan kapasitas adsorpsi sebesar 28% (Gambar 4). Hal ini dapat dijelaskan oleh karakteristik adsorpsi fisik yang bersifat eksotermik baik kecepatan difusi molekul dan energi adsorpsi permukaan meningkat dengan naiknya temperatur (Shafeeyan dkk., 2011).



Gambar 3. Kapasitas adsorpsi CO₂ oleh karbon aktif sebelum dan sesudah modifikasi (pada T = 30 °C).



Gambar 4. Pengaruh temperatur terhadap kapasitas adsorpsi CO₂ oleh karbon aktif (menggunakan karbon aktif yang dimodifikasi).

4 Kesimpulan

Penggunaan karbon aktif tanpa dan dengan modifikasi untuk adsorpsi CO₂ dalam pemurnian biogas telah diselidiki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spektrum IR karbon aktif setelah dimodifikasi menunjukkan N-H stretching pada panjang gelombang 3375-3290 cm⁻¹. Selain itu, peak baru pada panjang gelombang 1640-1660 cm⁻¹ yang mengindikasikan gugus amida dapat dilihat dengan jelas. Kapasitas adsorpsi karbon aktif dan karbon aktif yang telah dimodifikasi mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan waktu adsorpsi dan menunjukkan nilai maksimum berturut-turut adalah ~28 dan ~38 mg CO₂/g adsorbent. Lebih lanjut, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa adsorpsi CO₂ menggunakan karbon aktif terjadi baik secara fisika maupun kimia.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai dengan DIPA Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Tahun 2013.

5 Daftar Pustaka

- Chaffee, A.L., Knowles, G.P., Liang, Z., Zhang, J., Xiao, P., Webley, P.A., (2007), CO₂ capture by adsorption: Materials and process development, *Int. J. Greenhouse Gas Control* 1, 11.
- Deublein, D., Steinhauser, A. (2008), *Biogas from waste and renewable resources*, Wiley-VCH, Weinheim.
- Dong, F., Lou, H., Kodama, A., Goto, M., Hirose, T., (1999), The Petlyuk PSA process for the separation of ternary gas mixtures: exemplification by separating a mixture of CO₂-CH₄-N₂ *Sep. Purif. Technol.* 16, 159.
- Kazama, S., Teramoto, T., Haraya, K., (2002), Carbon dioxide and nitrogen transport properties of bis(phenyl)fluorene-based cardo polymer membranes, *J. Membr. Sci.* 207, 91.
- Lee, K.M., Lim, Y.H., Park, C.J., Jo, Y.M., (2012), Adsorption of low level CO₂ using modified zeolites and activated carbon, *I&EC Research* 51, 1355.
- Lindmark, J., Hedlund, J. (2008), Carbon dioxide removal from synthesis gas using MFI membranes, *J. Membr. Sci.* 360, 284.
- Pevida, C., Plaza, M.G., Arias, B., Feroso, J., Rubiera, F., Pis, J.J., (2008), Surface modification of activated carbons for CO₂ capture, *Appl. Surf. Sci.* 254, 7165.
- Plaza, M.G., Pevida, C., Arias, B., Feroso, J. Casal, M.D. Martin, C.F., Rubiera, F., Pis, J.J. (2009), Development of low-cost biomass-based adsorbents for postcombustion CO₂ capture, *Fuel* 88, 2442.
- Powell, C.E, Qiao, C.G. (2006), Polymeric CO₂/N₂ gas separation membranes for the capture of carbon dioxide from power plant flue gases, *J. Membr. Sci.* 279, 1.
- Shafeeyan, M.S., Wan Daud, W.M.A., Houshmand, A., Arami-Niya, A. (2011), Ammonia modification of activated carbon to enhance carbon dioxide adsorption: Effect of pre-oxidation, *Appl. Surf. Sci.* 257, 3396.

- Song, I., Ahn, H., Jeon, H., Jeong, H.-K., Lee, Y., Choi, S.H., Kim, J.H., Lee, S.B, (2008), Optimal design of multiple stage membranes process for carbon dioxide separation, *Desalination*, 234, 307.
- Susanto, H., Wijaya W., Widiasta, IN., (2013), Modifikasi karbon aktif sebagai adsorben pemurnian biogas, *Teknik* 34 (1), 4.
- Xu, X., Song, C., Andrésen, J.M., Miller, B.G., Scaroni, A.W., (2003), Preparation and characterization of novel CO₂ “molecular basket” adsorbents based on polymer-modified mesoporous molecular sieve MCM-41, *Micropor. Mesopor. Mater.* 62, 29.

