

Adsorpsi Isosterik Metana Bertekanan Tinggi Pada Karbon Aktif dengan Persamaan Model Tóth

Awaludin Martin^a, Bambang Suryawan^b, Muhammad Idrus Alhamid^b, Nasruddin^b

^aLaboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,
Kampus Bina Widya, Jl. H.R. Subrantas km 12.5 Pekanbaru, 28293, Indonesia

^bLaboratorium Teknik Pendingin dan Pengkondisian Udara, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas
Indonesia, Kampus Baru UI, Depok, 16424, Indonesia

Abstract

Gas adsorption phenomena are widely applied in the field of gas separation and gas purification. One significant commercial application of gas adsorption phenomena is the adsorption of methane gas for storage purposes. Effective natural gas adsorption storage technology by activated carbon is essential for the utilization of natural gas. The developments of adsorption-based storage systems require a basic understanding of the isotherms and isosteric over a wide range of pressure and temperatures for various types of adsorbents. These data are essential for designing the ANG system at a given gas feed, product specifications, and environmental conditions. Adsorption isotherms data of methane on activated carbon has been obtained in previous studies. The adsorption isotherm apparatus is based on a volumetric method, and the experiments were conducted at temperatures ranging from (27 to 65°C) and pressures up to 3.5 MPa. Adsorption isothermal data was obtained and correlated using several equations model and concluded that correlation using Tóth model equations more accurately than by using the Langmuir and Dubinin-Astakov model equations. This article resulting the data of adsorption isosteric of methane on activated carbon by completing Tóth equation models. The adsorption isosteric data can be used to predict the required pressure and temperature to be isothermal conditioned to adsorb of methane at a certain amount. In this study, the maximum adsorption isosteric capacity of methane on activated carbon is 6% of the activated carbon weight.

Keywords: Adsorption Isosteric, Adsorption Capacity, Methane, Activated Carbon, Tóth Equation Model

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar gas (Natural Gas) terus mengalami peningkatan diseluruh dunia baik untuk kendaraan, komersial maupun sebagai fasilitas industri [1]. Penggunaan bahan bakar gas disamping harganya yang lebih murah jika dibandingkan bahan bakar minyak, juga lebih ramah lingkungan [2].

Masalah utama dalam penggunaan bahan bakar gas, baik untuk keperluan kendaraan,

komersial maupun industri adalah sistim distribusi. Saat ini distribusi bahan bakar gas masih menggunakan sistem pemipaan dan menggunakan tabung-tabung bertekanan tinggi (Compressed Natural Gas/CNG) [1].

Metode distribusi seperti ini menyebabkan peningkatan harga jual gas alam, karena gas alam harus diangkut dengan menggunakan truk atau trailer dengan tabung baja yang tebal sehingga menambah beban angkutan pada truk atau trailer

tersebut[1] atau sistem pemipaan yang panjangnya bias ratusan kilometer.

Adsorbed natural gas (ANG) adalah teknologi penyimpanan gas alam (natural gas storage) yang sedang berkembang saat ini, karena disamping lebih murah juga karena pada sistem penyerapan (adsorption system) tekanan penyimpanan yang dibutuhkan sekitar 3,5 MPa pada temperatur ruang [3,4,5].

Pada rancangan untuk aplikasi sistem *adsorbed natural gas storage*, disamping data karakteristik material berpori (adsorben), data penyerapan (kinetik dan termodinamika) juga dibutuhkan [6].

Paling tidak terdapat dua metode untuk mendapatkan data penyerapan (adsorption equilibrium), pertama adalah metode langsung (metode gravimetrik/gravimetric method) dan yang kedua metode tak langsung (metode volumetrik/volumetric method).

Pada studi ini gas metana (CH_4) dipilih untuk dapat mewakili bahan bakar gas yang akan dianalisis. Data adsorpsi isoterma CH_4 pada karbon aktif telah didapat pada penelitian sebelumnya dan disimpulkan bahwa korelasi dengan menggunakan persamaan model Tóth lebih akurat dibanding dengan menggunakan persamaan model Langmuir dan Dubinin-Astakov [7].

Penelitian ini menghasilkan data adsorpsi isosterik CH_4 pada karbon aktif dimana data tersebut diperoleh dengan menyelesaikan data adsorpsi isoterma dengan menggunakan persamaan model Tóth.

2. METODE PENELITIAN

Pada sistem adsorbat-adsorben, jumlah adsorbat yang terserap pada kondisi equilibrium adalah merupakan fungsi dari tekanan dan temperatur [8];

$$\frac{x}{m} = f(p, T) \quad (1)$$

dengan x/m adalah jumlah adsorbat yang terserap per unit massa adsorben pada tekanan equilibrium dan pada temperatur adsorpsi. Adsorpsi equilibrium dapat didekati dalam tiga cara yaitu

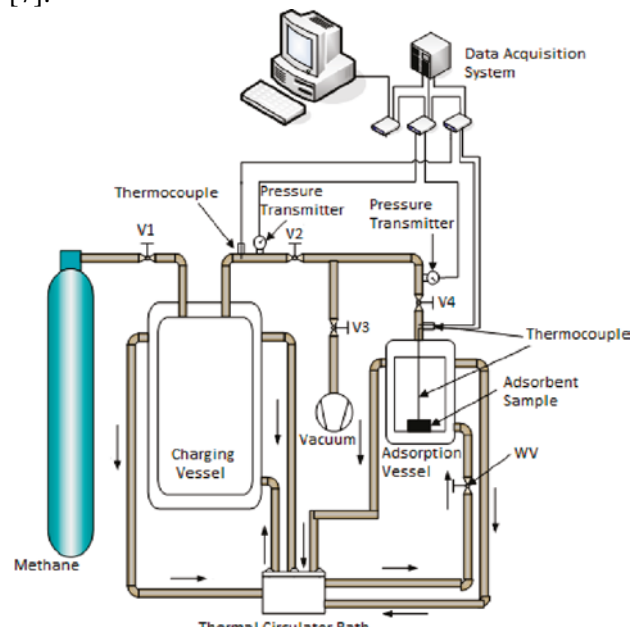
adsorpsi isoterma, adsorpsi isobar dan adsorpsi isosterik.

Data kapasitas penyerapan adsorbat pada adsorben biasanya dihasilkan dari proses adsorpsi isoterma, hal tersebut dikarenakan investigasi proses adsorpsi pada temperatur konstan adalah cara atau metode yang paling mudah. Dikarenakan data adsorpsi isoterma adalah merupakan fungsi equilibrium, maka dimungkinkan untuk menghasilkan atau mendapatkan satu parameter dengan menggunakan parameter dari salah satunya [8].

2.1 Bahan

Adsorben yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon aktif berbahan dasar batubara Kalimantan Timur yang diproduksi dengan menggunakan metode aktivasi fisika (CO_2). Luas permukaan karbon aktif (karbon aktif KT) adalah $668 \text{ m}^2/\text{g}$ dan volume porinya $0,47 \text{ ml/g}$. Metana (CH_4) yang digunakan adalah metana *high purity* dengan kemurnian 99,995% [7].

Data adsorpsi isoterma yang diperoleh pada penelitian sebelumnya adalah dengan menggunakan metode volumetrik (Gambar 1), dimana pengukuran didasarkan pada tekanan, temperatur dan volume [7].



Gambar 1. Skema Alat Uji Adsorpsi Isoterma

2.2 Persamaan Model Tóth

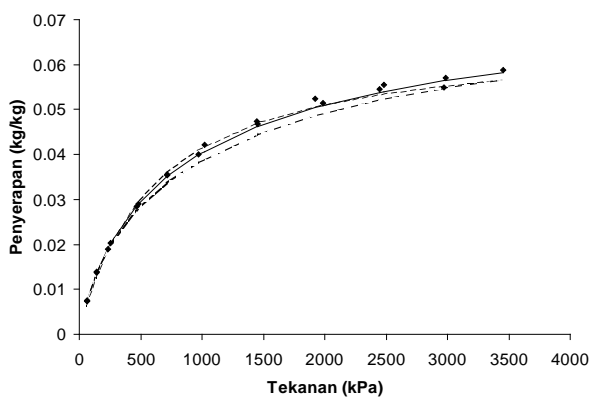
Pada adsorpsi isosterik dimana jumlah adsorbat yang terserap per unit massa adsorben adalah konstan dan temperatur divariasikan sehingga tekanan menjadi fungsi yang sangat penting untuk menjaga x/m tetap konstan [8].

$$p = f(T) \quad \left[\frac{x}{m} = \text{kons tan} \right] \quad (2)$$

Dengan data adsorpsi isothermal yang diperoleh pada penelitian sebelumnya dan dengan menyelesaikan persamaan model yang tersedia, maka data adsorpsi isosterik dapat diperoleh.

Pada penelitian sebelumnya didapat bahwa persamaan model Tóth adalah persamaan model yang memiliki nilai deviasi yang lebih kecil yaitu 1.9% [7] dibandingkan dengan persamaan model Langmuir yaitu 2,93% dan Persamaan Model Dubinin-Astakov yaitu 4,69%. Seperti terlihat pada Gambar 2, garis regresi persamaan model Tóth lebih rapat dengan data eksperimen dibanding dengan garis regresi model Langmuir dan model Dubinin-Astakov.

Sehingga pada penelitian ini persamaan model Tóth adalah persamaan model yang cocok digunakan untuk menghitung data adsorpsi isosterik CH₄ pada karbon aktif.



Gambar 2. Adsorpsi Isoterma CH₄ pada Karbon Aktif Komersial pada Temperatur 27°C; — Persamaan Model Toth ($\delta = 1,9\%$); ----Persamaan Model Langmuir ($\delta=2,93\%$); ...Persamaan Model Dubinin-Astakov ($\delta = 4,69\%$)

Persamaan model Tóth adalah persamaan model yang mengasumsikan bahwa permukaan adsorben adalah heterogen seperti pada karbon aktif disamping juga dapat digunakan pada tekanan rendah maupun pada tekanan tinggi [9].

Model persamaan Tóth adalah sebagai berikut [10]

$$\frac{C}{C_0} = \frac{k_0 \cdot \exp(h_{st} / RT) P}{\left[(1 + k_0 \exp(h_{st} / RT) P)^t \right]^{1/t}} \quad (3)$$

Dengan C adalah kapasitas penyerapan adsorbat pada karbon aktif, C_0 adalah kapasitas penyerapan maksimum, h_{st} adalah panas adsorpsi isosterik, k_0 adalah konstanta equilibrium, P adalah tekanan proses adsorpsi dan t adalah parameter yang mengindikasikan heterogenitas adsorben. Dengan mengganti,

$k_0 \cdot \exp(h_{st}/R.T) = b$ maka,

$$\left(\frac{b}{C/C_0} \right)^t P^t = [1 + (b.P)^t] \quad (4)$$

Sehingga,

$$P = \left[\frac{1}{\left(\frac{b}{C_{\mu}/C_{\mu s}} \right)^t - b^t} \right]^{1/t} \quad (5)$$

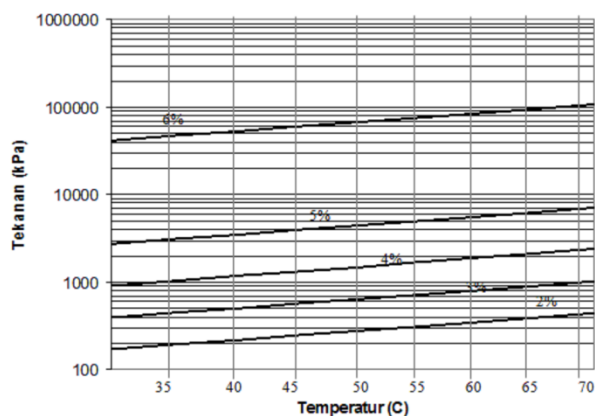
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data adsorpsi isosterik CH₄ pada karbon aktif didapat dengan menggunakan persamaan model Tóth dengan asumsi temperatur sampai dengan 75⁰C. Pada Gambar 3 terlihat bahwa dengan jumlah adsorbat yang terserap konstan, pada temperatur isothermal yang lebih tinggi maka dibutuhkan tekanan yang juga lebih tinggi. Hal tersebut dikarenakan *driving force* proses adsorpsi

adalah tekanan dan temperatur. Semakin besar tekanan yang diberikan pada proses adsorpsi dan semakin rendah temperatur isothermal yang dikondisikan, maka kapasitas penyerapan adsorbat pada adsorben juga semakin besar.

Grafik adsorpsi isosterik seperti terlihat pada Gambar 3 dibutuhkan pada aplikasi penyimpanan gas CH_4 dari pada karbon aktif. Dengan grafik tersebut dapat diprediksi tekanan yang harus diberikan dan temperatur isothermal yang harus dikondisikan untuk menyerap CH_4 dengan jumlah tertentu.

Grafik adsorpsi isosterik dapat juga digunakan untuk memprediksi jumlah gas alam yang tersisa pada karbon aktif pada tekanan pelepasan minimum. Sehingga dengan grafik tersebut dapat diperkirakan siklus pengisian dan pelepasan gas alam pada karbon aktif pada tekanan dan temperatur isothermal tertentu.



Gambar 3. Adsorpsi isosterik CH_4 pada karbon aktif

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini adsorpsi Isosterik CH_4 pada karbon aktif telah dilakukan dengan menggunakan persamaan model Tóth.

Data adsorpsi isosterik digunakan untuk memprediksi besar tekanan yang dibutuhkan dan temperatur isothermal yang harus dikondisikan untuk menyerap CH_4 pada jumlah tertentu dan dapat juga digunakan untuk memprediksi jumlah gas alam (CH_4) yang tersisa pada karbon aktif pada tekanan pelepasan minimum.

Pada penelitian ini kapasitas penyerapan maksimum adsorpsi isosterik CH_4 pada karbon aktif adalah 6% dari masa karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prauchner, Marcos J., Francisco Rodríguez-Reinoso, 2008, Preparation of granular activated carbons for adsorption of natural gas, *Microporous and Mesoporous Materials*, 109 (2008) 581–584
- [2] Castello, D. Lozano, Alcaniz Monge, M.A. de la Casa-Lillo, D. Cazorla-Amoros, A. Linares-Solano, 2002, Advances in the Study of Methane Storage in Porous Carbonaceous Materials, *Fuel*, 81 (2002) 1777-1803
- [3] Shuji Himeno, Toshiya Komatsu, and Shoichi Fujita, 2005, High-Pressure Adsorption Equilibria of Methane and Carbon Dioxide on Several Activated Carbons, *J. Chem. Eng. Data*, 50, 369-376
- [4] Pupier, O., V. Goetz, R. Fiscal, 2005, Effect of cycling operations on an adsorbed natural gas storage, *Chemical Engineering and Processing* 44 (2005) 71–79
- [5] Lee, Jae-Wook, M. S. Balathanigaimani, Hyun-Chul Kang, Wang-Geun Shim, Chan Kim, and Hee Moon, 2007, Methane Storage on Phenol-Based Activated Carbons at (293.15, 303.15, and 313.15) K, *J. Chem. Eng. Data* 2007, 52, 66-70
- [6] Belmabkhout, Y., M Frère and G DeWeireld, 2004, High-pressure adsorption measurements. A comparative study of the volumetric and gravimetric methods *Meas. Sci. Technol.* 15 (2004) 848–858
- [7] Martin, Awaludin, Wai Soong Loh, Kazi Afzalur Rahman, Kyaw Thu, Bambang Suryawan, M. Idrus Alhamid, Nasruddin, and Kim Choon Ng, *Adsorption Isotherms of CH_4 on Activated Carbon from Indonesian Low Grade Coal*, *J. Chem. Eng. Data* 2011, 56, 361–367
- [8] Keller, Jürgen U, Reiner Staudt, 2005, Gas adsorption equilibria; Experimental methods and Adsorptive isotherms, *Springer Science + Business Media, Inc.*, Boston, United States of America,

- [9] Shuji Himeno, Toshiya Komatsu, and Shoichi Fujita, 2005, *J. Chem. Eng. Data*, 50, 369-376.
- [10] Kazi Afzalur Rahman, Wai Soong Loh, Anutosh Chakraborty, Bidyut Baran Saha and Kim Choon Ng, 2009, Proceedings of the 2nd Annual Gas Processing Symposium, Elsevier

