

Adsorpsi Isotermal Menggunakan Gas Alam dari *Compressed Natural Gas Storage* Dengan Laju Aliran Massa Gas 10 SLPM dan 20 SLPM Untuk *Adsorbed Natural Gas Storage*

Awaludin Martin^{1,a*}, Nasruddin^{2,b}, Senoadi^{2,c} dan Irfandi Pratama^{1,d}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

²Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

Email: ^aawaludinmartin01@gmail.com, ^bNasruddin@eng.ui.ac.id, ^csenoadi@ui.ac.id, ^dirfandipratama92@gmail.com

Abstrak

Penggunaan bahan bakar minyak (BBM) yang semakin meningkat akan mengakibatkan peningkatan produksi untuk bahan bakar minyak, sedangkan ketersediaan minyak bumi yang ada saat ini semakin menipis. Masalah tersebut perlu dipecahkan dengan cara mencari energi alternatif yang lebih bersih dan ramah lingkungan serta ketersediaannya di alam masih banyak, yaitu gas alam dengan komposisi utama gas metana (CH₄). Gas alam sebagai alternatif pengurangan konsumsi bahan bakar minyak terkendala pada proses penyimpanan, penyimpanan yang sering digunakan adalah *compressed natural gas* (CNG) dan *liquefied natural gas* (LNG). CNG terkendala pada tekanan penyimpanan yang tinggi (20 MPa) dan LNG terkendala pada proses pencairan gas yang membutuhkan temperatur yang sangat rendah (-161,5°C). *Adsorbed natural gas* (ANG) merupakan solusi untuk memperkecil tekanan dalam tabung sekitar 3,5 – 4 MPa yang memanfaatkan proses adsorpsi menggunakan karbon aktif. Proses pengukuran adsorpsi dilakukan dengan pendekatan pengukuran metode volumetrik dalam keadaan isotermal. Pada pengujian adsorpsi ini tekanan yang digunakan adalah 30 bar dan temperatur isotermal 25°C serta divariasian laju aliran massanya (10 standar liter per menit dan 20 standar liter per menit). Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan data masa gas tersimpan dan tersangkut pada *storage* dengan metode ANG yang menggunakan gas dari tabung CNG (yang dijual di stasiun pengisian bahan bakar gas) dan mengamati fenomena temperatur yang terjadi pada *storage*. Dari hasil pengujian, massa gas yang tersimpan pada 10 SLPM dan 20 SLPM adalah 102,25 gram dan 94,66 gram. Sedangkan untuk gas yang tersangkut pada 10 SLPM dan 20 SLPM adalah 64,85 gram dan 29,58 gram.

Kata kunci : *Adsorbed Natural Gas*, Metode Volumetrik, Adsorpsi Isotermal

Latar Belakang

Ketersediaan bahan bakar fosil khususnya bahan bakar minyak yang semakin menipis, memberikan tantangan bagi peneliti untuk mulai mencari beberapa jenis sumber energi alternatif. Dalam kajian bahan bakar kendaraan, gas alam dianggap sebagai bahan bakar alternatif dan menghasilkan pembakaran yang lebih baik [1]. Gas alam sering juga disebut sebagai gas bumi atau gas rawa yang mengandung metana sekitar 90% [2]. Namun, Gas alam bukanlah merupakan energi yang terbarukan, tetapi masih tersedia sangat banyak dan digunakan dalam potensi energi [2]. Untuk penyimpanan gas alam yang sering digunakan adalah *liquefied natural gas* (LNG) dan *compressed natural gas* (CNG) [3]. Dari kedua cara penyimpanan gas alam, CNG yang sering digunakan untuk kendaraan. CNG

yang telah dikomersialisasikan di seluruh dunia terkendala dengan tekanan operasi yang tinggi

[4]. Pemakaian CNG pada kendaraan bermotor diperlukan tabung khusus karena memiliki tekanan sekitar 200 bar, sehingga memerlukan penggunaan tabung dengan material yang harus tahan terhadap tekanan sekitar 200 bar. Sedangkan LNG terkendala pada proses pencairan gas yang membutuhkan temperatur yang sangat rendah, yaitu (-161,5°C) [5].

Untuk mengatasi penyimpanan gas alam yang tidak bertekanan tinggi dan tidak memerlukan energi yang cukup besar, caranya adalah dengan menggunakan metode adsorpsi (penyerapan). Pada metode ANG, gas alam secara konvensional tersimpan pada bahan karbon berpori pada tekanan gas sekitar 3,5 MPa [6]. Pada sistem ANG, media untuk penyerapan gas alam dipilih menggunakan

bahan dasar karbon aktif karena memiliki luas permukaan dan volume pori yang besar [7].

Proses adsorpsi adalah fenomena fisik dimana partikel adsorbat melekat pada permukaan adsorben dan menghasilkan panas (eksoterm), yang sangat dipengaruhi oleh pasangan adsorben dan adsorbatnya. Adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya sedangkan adsorbat adalah substansi dalam bentuk cair atau gas yang terkonsentrasi pada permukaan adsorben [8].

Karakteristik dan fenomena pada proses adsorpsi dapat diketahui dengan beberapa metode pengukuran, salah satu metode pengukuran adalah volumetrik. Pengukuran menggunakan metode volumetrik dapat digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi untuk semua ukuran dan jenis pasangan adsorben-adsorbat, selain itu dapat juga menghitung laju penyerapan adsorpsi [9].

Beberapa penelitian mengenai Adsorpsi isothermal dengan adsorben karbon aktif dan adsorbat metana sudah pernah dilakukan. Wang, et al [10] melakukan penelitian mengenai adsorpsi isothermal dengan kapasitas penyerapan metana sebesar 0,1337 g/g menggunakan karbon aktif Maxsorb II dengan luas permukaan 2.768 m²/g, adsorbat yang digunakan metana (ultra high purity, 99,9995%), temperatur isothermal 281,14 K dan tekanan 1,21749 MPa. Rahman, et al [1] melakukan penelitian mengenai adsorpsi isothermal dengan kapasitas penyerapan metana sebesar 0,771 kg/kg menggunakan karbon aktif Maxsorb III dengan luas permukaan 3.140 m²/g, adsorbat yang digunakan metana (ultra high purity, 99,9995%), temperatur isothermal 120,12 K dan tekanan 71,27 KPa. Luo, et al [11] melakukan penelitian mengenai adsorpsi isothermal dengan kapasitas penyerapan metana sebesar 0,13 kg/kg menggunakan karbon aktif batu bara anthracite dengan luas permukaan 2.071 m²/g, adsorbat yang digunakan metana (high purity, 99,999 %), temperatur isothermal 298 K dan tekanan hingga 3,5 MPa. Rios, et al [2] melakukan penelitian mengenai adsorpsi isothermal dengan kapasitas penyerapan metana sebesar 0,139 g/g menggunakan karbon aktif batok kelapa dengan luas permukaan 1.906 m²/g, adsorbat yang digunakan metana, temperatur isothermal 303 K dan tekanan hingga 3,5 MPa. Dari uraian diatas perlu dilakukan pengujian dengan tujuan untuk membandingkan data masa gas tersimpan dan tersangkut pada *storage* dengan metode ANG yang menggunakan gas dari tabung CNG (yang dijual di stasiun pengisian bahan bakar gas). Selaian tujuan untuk mengamati kapasitas

penyimpanan gas, karakteristik perubahan temperatur juga menjadi tujuan yang diamati pada proses adsorpsi dan desorpsi dengan mengatur parameter laju aliran pada kedua proses tersebut.

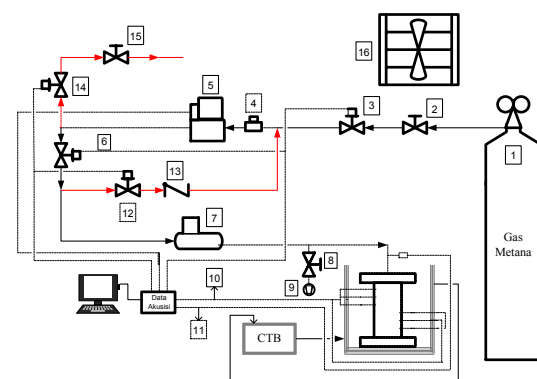
Metodologi

Penelitian alat uji adsorpsi-desorpsi gas alam dari tabung CNG ini menggunakan adsorben karbon aktif berbahan dasar batubara dengan luas permukaan 1.050 m²/g dan karbon aktif yang digunakan sebanyak 543,55 gram. Dalam prosesnya dilakukan satu siklus (adsorpsi-desorpsi) yang terbagi menjadi empat tahap, diantaranya :

1. Tahap preparasi, atau tahap persiapan. Pada tahap ini juga dilakukan proses *dry sorbent* dan *degassing* terhadap karbon aktif yang terdapat didalam *pressure vessel*.
2. Tahap adsorpsi, atau tahap *charging*. Pada tahap ini gas alam sebagai adsorbat, dimasukkan ke dalam *pressure vessel* sampai pada tekanan 30 bar. Selama proses adsorpsi terjadi kenaikan temperatur didalam *pressure vessel*. Tahap ini berakhir ketika tekanan pada *pressure vessel* mencapai 30 bar, aliran massa kembali 0 SLPM, dan temperatur pada *pressure vessel* kembali ke keadaan semula sesuai dengan temperatur pada CTB (isothermal).
3. Tahap desorpsi, atau tahap *discharging*. Pada tahap ini gas metana yang ditekan 30 bar didalam *pressure vessel* dibuang ke lingkungan. Selama proses terjadi temperatur akan mengalami penurunan hingga mencapai temperatur dibawah 0 °C. Tahap ini berakhir ketika tekanan pada *pressure vessel* kembali ke tekanan awal, $P_0 = 1$ bar, aliran massa kembali 0 SLPM.

Tahap akhir. Jika siklus dilakukan terus menerus secara berkelanjutan, setelah tahap desorpsi selesai kembali ke tahap awal, langsung dilakukan proses *degassing*.

Berikut skematik dari alat uji adsorpsi-desorpsi metana :



Gambar 1. Skematik Sistem Adsorpsi dan Desorpsi.

Keterangan Gambar 1:

1. Tabung gas metana
2. Katup pengontrol aliran
3. *Solenoid valve*
4. Saringan gas (*filter*)
5. Pengatur laju aliran
6. *Solenoid valve*
7. *Coriolis mass flow meter* (CMF)
8. Katup vakum
9. Pompa vakum
10. Termokopel
11. *Pressure Transmitter*
12. *Solenoid valve*
13. *Check valve*
14. *Solenoid valve*
15. *Ball valve*
16. *Exhaust fan*

Sebelum dilakukan pengujian adsorpsi isothermal, berat kering adsorben atau karbon aktif harus diketahui terlebih dahulu. Proses untuk mengetahui berat kering adsorben disebut juga dengan *dry sorbent*, yaitu karbon aktif yang akan digunakan dihilangkan substansi yang terkandung pada adsorben tersebut dan dalam hal ini kandungan yang dihilangkan adalah uap air. Karbon aktif pada saat *dry sorbent* dipanaska sekitar 200 °C selama dua jam.

Setelah proses *dry sorbent* selesai dilanjutkan proses *degassing* perlu dilakukan untuk pengeluaran zat pengotor atau zat yang tidak diinginkan sehingga tidak ada zat yang tersimpan didalam karbon aktif. Tahapan proses *degassing* adalah dengan memanaskan tabung berisi karbon aktif pada temperatur *degassing* sekitar $\pm 140-150^{\circ}\text{C}$ [1]. Lalu tabung divakum sampai tekanan 0,01 mbar selama ± 60 menit. Setelah itu gas helium dengan kemurnian 99,9999% dimasukkan sampai tekanan 7 bar selama ± 60 menit. Hal ini dilakukan sampai empat kali pengulangan.

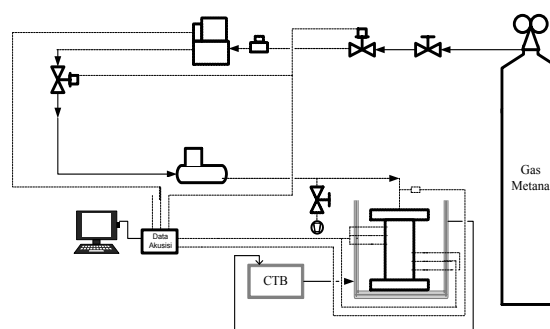
Setelah persiapan sampel selesai pengujian karakteristik adsorpsi isothermal dilakukan dengan cara seperti berikut :

1. *Circulating thermal bath* (CTB) dioperasikan untuk menjaga temperatur *pressure vessel* agar tetap konstan pada temperatur $25 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$.
2. Setelah temperatur 25°C pada *pressure vessel* tercapai dan konstan, *solenoid valve charge* dibuka dengan kendali data akusisi dari komputer sehingga adsorbat (CH_4) masuk menuju *pressure vessel*. Apabila *measuring cell* sudah melebihi batas tekanan 3 Mpa, maka

solenoid valve charge akan tertutup dengan kendali data akusisi dari komputer.

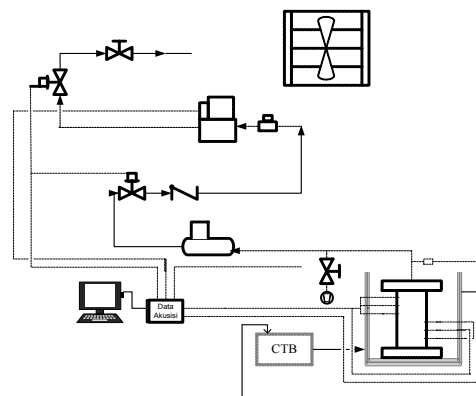
3. Pengambilan data penyerapan dimulai ketika tekanan dan temperatur pada *pressure vessel* dalam keadaan tidak stabil karena terjadi kenaikan tekanan disertai dengan kenaikan temperatur. Dan apabila tekanan dan temperatur stabil berarti proses adsorpsi sudah berakhir.

Setelah proses pengujian adsorpsi isothermal selesai dilakukan, data tekanan, dan temperatur ketika pengujian akan tercatat pada komputer berdasarkan data yang ditangkap oleh data akusisi.



Gambar 2. Skematik Proses Adsorpsi.

Kemudian proses desorpsi isothermal dilakukan bertujuan untuk mengeluarkan gas alam dari *storage* dengan cara membuka katup *solenoid valve discharging* sehingga gas alam akan mengalir dari *pressure vessel* kemudian melewati *coriolis flow meter* sehingga dapat diketahui massa yang keluar dari *pressure vessel*. Setelah tekanan pada *pressure vessel* turun dan stabil, berarti proses desorpsi sudah selesai. Pada saat proses pembuangan disertai dengan penurunan temperatur, hal ini merupakan proses endoterm.

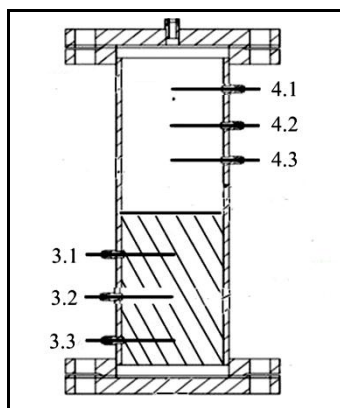


Gambar 3. Skematik Proses Desorpsi.

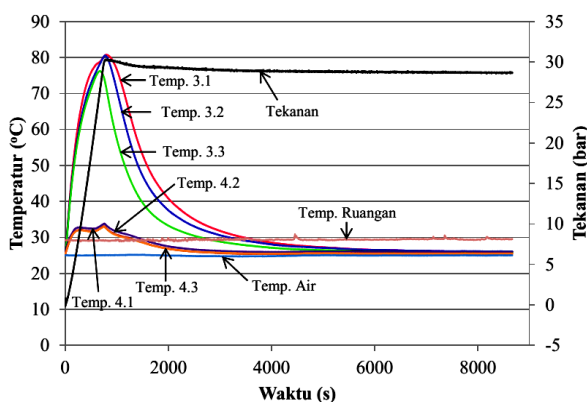
Hasil

Pada penelitian adsorpsi-desorpsi isothermal gas alam dari tabung CNG ini, bertujuan untuk mengetahui massa gas alam yang masuk dan yang keluar pada tabung penyimpanan (storage). Pada pengambilan data, massa gas alam yang mengalir ke tabung penyimpanan divariasian, yaitu 10 SLPM dan 20 SLPM. Dengan pemberian perlakuan yang berbeda, nantinya akan diketahui perbedaan antara massa yang masuk ke tabung penyimpanan dan masa yang keluar atau tersangkut dengan adanya aliran massa gas yang divariasikan.

Proses pengambilan data diawali dengan mengkondisikan sistem berada keadaan isothermal pada *pressure vessel* (bejana bertekanan) pada temperatur 25°C dengan nilai toleransi $\pm 0,1^\circ\text{C}$ dan juga pada tekanan pengukuran yang akan dilakukan yaitu 10 bar. Grafik data adsorpsi-desorpsi gas metana dengan laju aliran massa gas metana 10 SLPM dan 20 SLPM ditampilkan pada Gambar 5 hingga Gambar 8. Untuk tata letak termokopel pada *pressure vessel* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tata Letak Termokopel Pada *Storage*.



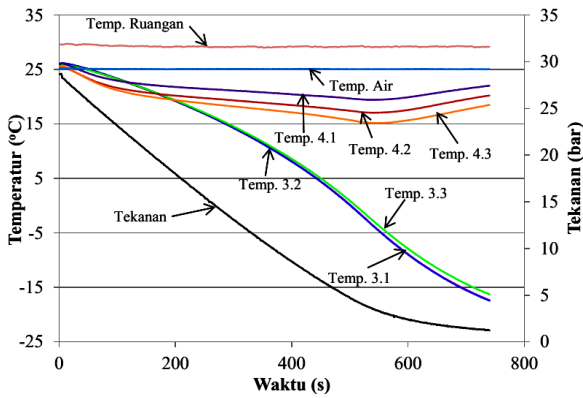
Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Waktu dengan Temperatur dan Tekanan Proses Adsorpsi (10 SLPM & 30 bar).

Dari Gambar 5, grafik terlihat bahwa pada proses masuknya gas alam tekanan cenderung naik sedikit lebih besar dari 30 bar, dengan

kenaikan 0,4 bar. Hal ini terjadi dikarenakan belum banyak terjadinya penyerapan dan juga disebabkan oleh temperatur pada saat awal masuk gas alam yang masih tinggi. Sedangkan kecenderungan turun dikarenakan terjadi proses adsorpsi pada adsorben dimana pada saat itu temperatur perlahan turun ke temperatur isothermal. Bila tekanan konstan 28,7 bar dengan nilai toleransi $\pm 0,1$ bar, ini menandakan proses adsorpsi berakhir.

Dari gambar 5 juga terlihat bahwa termokopel 3.1, 3.2 dan termokopel 3.3 menunjukkan kenaikan temperatur yang berbeda-beda $\pm 80,6^\circ\text{C}$, $\pm 79,5^\circ\text{C}$ dan $\pm 69,1^\circ\text{C}$ yang menandakan terjadinya pembuangan kalor (eksoterm) akibat adsorpsi, serta penurunan temperatur yang berbeda pula. Kenaikan temperatur yang berbeda pada ketiga termokopel dikarenakan jarak antar termokopel yang berbeda-beda. Termokopel 3.1 mengalami kenaikan temperatur yang paling tinggi yang disebabkan oleh langsungnya terjadi kontak antara adsorbat dan adsorben. Faktor lainnya adalah karena karbon aktif berada paling atas memudahkan gas alam untuk terjadi proses adsorpsi pada adsorben. Dan penurunan temperatur yang lebih cepat karena termokopel 3.1 berada dekat dengan bagian dalam tabung yang tidak terisi karbon aktif yang temperturnya lebih rendah. Termokopel 3.2 kenaikan temperturnya tertinggi kedua, karena jumlah gas metana yang menuju karbon aktif pada termokopel 3.2 lebih sedikit dan terhalang oleh karbon aktif bagian atasnya sehingga penyerapannya tidak sebanyak karbon aktif bagian atas. Untuk penurunan temperatur termokopel 3.2 lebih lambat karena proses adsorpsi yang lebih lambat dibandingkan karbon aktif pada termokopel 3.1 sehingga penurunan temperatur lebih lambat. Termokopel 3.3 mengalami kenaikan temperatur paling kecil karena adsorben yang banyak menumpuk diatas akan menghambat proses adsorpsi, sehingga proses eksoterm tidak terlalu besar dan penurunan temperturnya lebih cepat dibandingkan termokopel 3.1 dan 3.2.

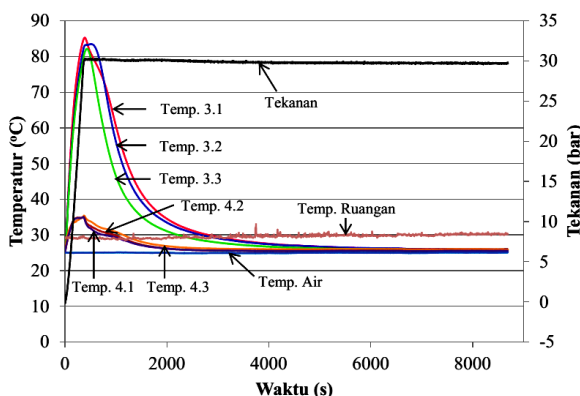
Pada bagian ruangan tabung yang tidak berisi karbon aktif menunjukkan kenaikan dan penurunan temperatur termokopel 4.1, 4.2, dan 4.3 yang cenderung sama $\pm 34^\circ\text{C}$. Kenaikan temperatur pada bagian ini dikarenakan adanya kenaikan tekanan dan kalor yang dikeluarkan karbon aktif pada saat adsorpsi. Bila temperatur pada setiap termokopel mencapai suatu titik temperatur yang sama/konstan maka menandakan proses adsorpsi berakhir.



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Waktu dengan Temperatur dan Tekanan Proses Desorpsi (10 SLPM & 30 bar).

Grafik desorpsi untuk 10 SLPM dapat dilihat pada Gambar 6. Dari grafik tersebut terlihat bahwa tekanan turun secara perlahan sesuai dengan aliran massa, yakni 10 SLPM. Tekanan turun dari tekanan konstan 28,7 bar dikarenakan tekanan yang berada didalam tabung dikeluarkan hingga tekanan didalam tabung sama dengan tekanan lingkungan sehingga hal itu menandakan proses desorpsi berakhir.

Dari Gambar 6 terlihat juga bahwa termokopel 3.1, 3.2 dan termokopel 3.3 menunjukkan terjadinya penurunan temperatur karbon aktif yang tidak terlalu jauh berbeda, yaitu $-17,1^{\circ}\text{C}$, $-17,3^{\circ}\text{C}$, dan $-16,1^{\circ}\text{C}$. Hal ini terjadi karena adanya reaksi endoterm atau penyerapan energi dari luar. Termokopel 4.2 dan 4.3 terjadi penurunan temperatur lebih besar dibandingkn termokopel 4.1, ini disebabkan termokopel 4.2 dan 4.3 masih dekat dengan karbon aktif yang temperaturnya lebih rendah dan mempengaruhi kedua termokopel tersebut.

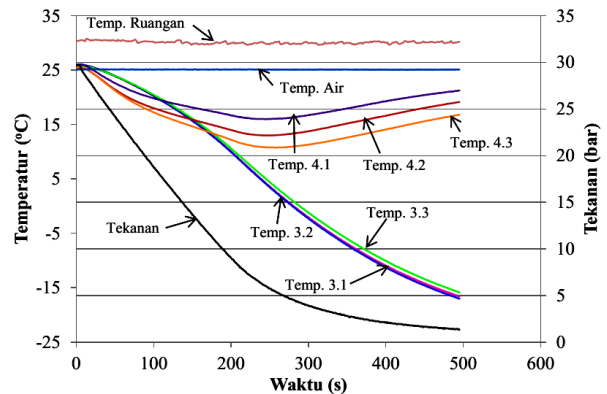


Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Waktu dengan Temperatur dan Tekanan Proses Adsorpsi (20 SLPM & 30 bar).

Untuk grafik temperatur adsorpsi dengan laju aliran 20 SLPM dapat dilihat pada Gambar 7, dari grafik juga terlihat bahwa termokopel 3.1, 3.2 dan

termokopel 3.3 menunjukkan kenaikan temperatur yang berbeda-beda $\pm 85,1^{\circ}\text{C}$, $\pm 83,2^{\circ}\text{C}$ dan $\pm 81,8^{\circ}\text{C}$ yang menandakan terjadinya pembuangan kalor (eksoterm) akibat adsorpsi, serta penurunan temperatur yang berbeda pula. Apabila dibandingkan antara grafik pada Gambar 7 dan Gambar 5, kenaikan temperatur karbon aktif pada saat aliran massa 20 SLPM lebih tinggi dibandingkan 10 SLPM. Fenomena ini terjadi karena pada saat alirannya lebih besar, maka semakin banyak adsorbat keluar masuk adsorben hingga mencapai kesetimbangan yang akan menghasilkan kalor. Oleh karena itu temperatur karbon aktif pada saat 20 SLPM lebih tinggi dibandingkan dengan 10 SLPM.

Pada bagian ruangan tabung yang tidak berisi karbon aktif pada Gambar 7 menunjukkan kenaikan temperatur termokopel 4.1, 4.2, dan 4.3 yang cenderung sama $\pm 34^{\circ}\text{C}$. Kenaikan temperatur pada bagian ini dikarenakan adanya kenaikan tekanan dan kalor yang dikeluarkan karbon aktif pada saat adsorpsi. Bila temperatur pada setiap termokopel mencapai suatu titik temperatur yang sama/konstan maka menandakan proses adsorpsi berakhir.



Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Waktu dengan Temperatur dan Tekanan Proses Desorpsi (20 SLPM & 30 bar).

Pada gambar 8 terlihat bahwa termokopel 3.1, 3.2 dan termokopel 3.3 menunjukkan terjadinya penurunan temperatur karbon aktif yang cenderung sama, dari temperatur $\pm 26^{\circ}\text{C}$ ke temperatur $\pm -16^{\circ}\text{C}$. Hal ini terjadi karena adanya reaksi endoterm atau penyerapan energi dari luar. Termokopel 4.2 dan 4.3 terjadi penurunan temperatur lebih besar dibandingkn termokopel 4.1, ini disebabkan termokopel 4.2 dan 4.3 masih dekat dengan karbon aktif yang temperaturnya lebih rendah dan mempengaruhi kedua termokopel tersebut.

Selain mendapatkan grafik hubungan antara waktu dengan temperatur dan tekanan proses adsorpsi-desorpsi, penelitian ini juga

mendapatkan data massa total metana yang masuk ke *storage* dan tersangkut pada karbon aktif. Berikut data total massa yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 :

Tabel 1. Total Massa Yang Masuk dan Tersangkut pada *Storage* (Menggunakan Karbon Aktif).

No	P (bar)	T (°C)	Laju Aliran (SLPM)	Total Massa (g)	Massa Tersangkut (g)	g/g
1	30	25	10	102,25	64,85	0,18
2	30	25	20	94,66	29,58	0,13

Dari data Tabel 1 terlihat bahwa massa gas alam yang masuk ke *storage* lebih banyak dengan laju aliran 10 SLPM. Dengan laju aliran massa gas 10 SLPM gas dapat perlahan-lahan untuk kontak dengan karbon aktif sehingga kenaikan temperatur karbon aktif lebih kecil dan memungkinkan gas yang terserap lebih banyak oleh karbon aktif. Sedangkan dengan laju aliran massa gas yang lebih tinggi akan menyebabkan kenaikan temperatur yang lebih tinggi dan akan menghambat proses penyerapan. Pada proses desorpsi atau pengeluaran gas dari *storage*, hasil yang lebih bagus adalah dengan menggunakan laju aliran massa gas 20 SLPM dimana gas yang tersangkut pada karbon aktif lebih kecil.

Untuk membandingkan Total massa yang masuk ke *storage* yang menggunakan karbon aktif dan tanpa menggunakan karbon aktif dapat membandingkan data pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Tabel 2. Total Massa Yang Masuk Pada *Storage* Tanpa Karbon Aktif.

No	P (bar)	T (°C)	Laju Aliran (SLPM)	Total Massa (g)
1	30	25	10	63,34
2	30	25	20	68,01

Dari tabel 1 dan 2 didapatkan hasil bahwa dengan penambahan karbon aktif di dalam *storage* dapat menambah massa gas alam (dari tabung CNG) yang tersimpan sekitar 38 %.

Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian, massa gas yang tersimpan pada 10 SLPM dan 20 SLPM adalah 102,25 gram dan 94,66 gram. Sedangkan untuk gas yang tersangkut pada 10 SLPM dan 20 SLPM adalah 64,85 gram dan 29,58 gram.

Kenaikan temperatur adsorpsi pada saat laju aliran massa 20 SLPM lebih tinggi dibandingkan

laju aliran massa 10 SLPM. Sedangkan penurunan temperatur desorpsi pada saat laju aliran massa 20 SLPM lebih rendah dibandingkan laju aliran massa 10 SLPM.

Daftar Pustaka

- [1] Rahman, K.A, Wai, S.L, Hideharu, Y, Anutosh, C, Bidyut B.S, Won, G.C, dan Kim, C.N. 2010. Experimental Adsorption Isotherm of Methane onto Activated Carbon at Sub and Supercritical Temperatures. *Chemical & Engineering data* 55 : 4961-4967.
- [2] Rios, R.B, Wilton, M.S, Eurico, B.T, Diana, C.S.A, Celio, L.C.J. 2009. Adsorption of Methane in Activated Carbons Obtained From Coconut Shells Using H₃PO₄ Chemical Activation, *Adsorption* 15 : 271-277.
- [3] Salehi, E, V, Taghikhani, C, Ghotbi, E, Nemati.Lay, dan A, Shoeji. 2007. Theoretical and Experimental Study on the Adsorption and Desorption of Methane by Granular Activated Carbon at 25°C. *Journal of Natural Gas Chemistry* 16 : 415-422.
- [4] Bagheri, N, dan Jalal, A. 2011. Adsorption of Methane on Corn Cobs Based Activated Carbon. *Chemical Engineering Research and Design* 89 : 2038-2043.
- [5] Kumar, A. 2011. *Adsorption Of Methane On Activated Carbon By Volumetric Method*. Rourkela: Department Of Chemical Engineering National Institute Of Technology.
- [6] Saes, A, Mario, T. 2009. Thermal Effect of The Dsorption Heat on An Adsorbed Natural Gas Storage and Transportation Systems. *Applied Thermal Engineering* 29 : 2617-2623.
- [7] Yang, R. T. 2003. *Adsorbents: Fundamentals and Applications*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- [8] Suryawan, B. 2004. *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*. Depok: FT UI.
- [9] Wang, X, Benjamin, L, Hui, T.C. 2012. Methane Desorption and Adsorption Measurements on Activated Carbon in 281-343 K and Pressures to 1.2 MPa. *Journal Therm Anal Calorim* 110 : 1475-1485.
- [10] Luo, J, Yuefeng, L, Chengfa, J, Wei, C, Wen, J, dan Heping, X. 2011. Experimental and Modeling Study of Methane Adsorption on Activated Carbon Derived from Anthracite, *J. Chem. Eng. Data* 56 : 4919-4926.