

Perancangan dan pembuatan alat uji Adsorbed Natural Gas (ANG) dengan tekanan 4 MPa

Senoadi^a, M.Idrus Al Hamid^b, Nasruddin^b

^a Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti
Jl.Kiai Tapa no 1 Grogol-Jakarta 11440, Indonesia

^b Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus UI Depok 16424, Indonesia
E-mail : senoadi@trisakti.ac.id

Abstrak

Penggunaan bahan bakar minyak (BBM), seperti bensin, solar, minyak tanah, mengakibatkan peningkatan produksi untuk bahan bakar minyak, sehingga ketersediaan minyak bumi yang ada semakin menipis, selain itu hasil pembakaran pada kendaraan bermotor menghasilkan polusi udara yang menjadi salah satu faktor pemanasan global. Masalah tersebut perlu dipecahkan dengan cara mencari energi alternatif yang lebih bersih dengan nilai oktan tinggi serta ketersediaanya di alam masih banyak yaitu gas alam dengan komposisi utama gas metana (CH₄). Sebagai tempat penyimpanan digunakan *compressed natural gas (CNG)* dengan tabung bertekanan 20 MPa. *Adsorbed natural gas (ANG)* merupakan solusi untuk mengurangi tekanan dalam tabung sekitar 3,5 – 4 MPa memanfaatkan proses adsorpsi menggunakan karbon aktif. Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi antara molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan. Dalam penelitian ini, dirancang tabung alat uji adsorpsi metana serta sistem adsorpsi dan desorpsi yang diaplikasikan untuk tabung tersebut.

Kata kunci: adsorbed natural gas, sistem adsorpsi-desorpsi

Pendahuluan

Bahan bakar minyak (BBM), seperti bensin, solar, minyak tanah, merupakan hasil olahan dari minyak bumi dan paling banyak digunakan untuk kendaraan bermotor. Pemakaian tersebut mengakibatkan peningkatan produksi untuk bahan bakar minyak, sehingga ketersediaan minyak bumi yang ada semakin menipis selain itu, hasil pembakaran pada kendaraan motor yang menggunakan BBM menghasilkan polusi udara yang menjadi salah satu faktor pemanasan global. Pemecahan masalah tersebut dengan cara mencari energi alternatif yang lebih bersih dengan nilai oktan tinggi serta ketersediaanya di alam masih banyak. Bahan bakar gas atau *compressed natural gas (CNG)* dengan komposisi utama gas metana (CH₄) adalah calon utama yang direkomendasikan untuk menjadi bahan bakar alternatif tersebut.

Di Indonesia sendiri, penggunaan BBG mulai diperkenalkan pada tahun 1987 oleh sebuah Team Evaluasi Teknis Proyek Percontohan BBG (Machus & Rachmad Basuki, 2008). BBG sudah tidak asing lagi bagi masyarakat Indonesia, akan tetapi kendala dalam pemakaian BBG adalah tempat penyimpanannya yang bertekanan tinggi sekitar 20 MPa, sehingga dibutuhkan penanganan yang sangat serius.

Salah satu cara untuk mengatasi kendala tersebut adalah dengan menggunakan tempat penyimpanan

bertekanan rendah dikenal dengan *adsorbed natural gas (ANG)*. Disebut demikian karena dalam tempat penyimpanan BBG tersebut terdapat adsorben yang menyerap BBG dan tekanan yang diperlukan untuk proses adsorpsi antara 3,5 – 4 MPa (Pupier, O, et al, 2004), sehingga tangki bertekanan rendah.

Proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh pasangan adsorben dan adsorbatnya. Adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya dan adsorbat adalah substansi dalam bentuk cair atau gas yang terkonsentrasi pada permukaan adsorben (Suryawan, Bambang, 2004). Jenis adsorben yang sering digunakan yaitu zeolite, silica gel dan karbon aktif, akan tetapi karbon aktif paling banyak digunakan karena aplikasinya dan volume penyerapan yang lebih besar.

Karakteristik adsorpsi dapat diketahui dengan beberapa metode pengukuran. Salah satu metode pengukuran adalah volumetrik, dimana menghitung kapasitas dan laju penyerapan dilakukan dengan menggunakan perubahan tekanan per satuan waktu pada temperatur konstan atau dikenal dengan adsorpsi isothermal (Dawoud dan Aristov, 2003). Pengukuran menggunakan metode volumetrik dapat digunakan menghitung kapasitas adsorpsi untuk semua ukuran dan jenis pasangan adsorben-adsorbat, selain itu dapat juga menghitung laju penyerapan adsorpsi (Keller,

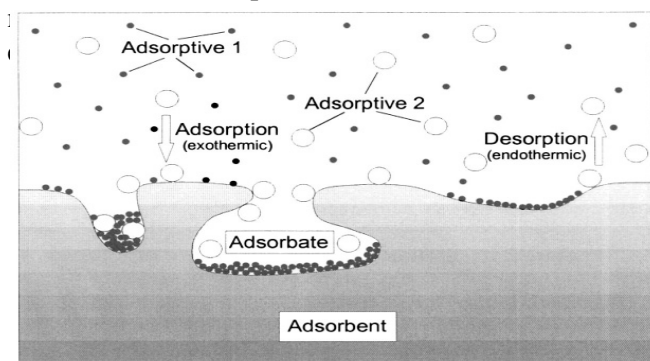
Jurgen et al, 2002).

Dari uraian tersebut, karakteristik adsorpsi-desorpsi merupakan salah satu parameter yang menentukan kinerja sistem adsorpsi-desorpsi dimana adsorben menyerap adsorbat dan melepaskannya kembali. Di dalam penelitian ini karbon aktif digunakan sebagai adsorben dan gas CH_4 menjadi adsorbatnya. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian kapasitas penyerapan karbon aktif dan pelepasan gas CH_4 tersebut untuk mendapatkan informasi karakteristik adsorpsinya serta desorpsinya terhadap gas CH_4 .

Kinerja sistem dengan adsorpsi dan desorpsi dipengaruhi oleh karakteristik adsorpsi. Adsorpsi metana menggunakan adsorpsi isothermal yaitu menjaga temperatur konstan. Dalam pengujian adsorpsi gas metana, dibutuhkan tabung penyimpanan yang kuat menahan tekanan hingga 4 MPa karena pengaruh dari proses adsorpsi pada karbon aktif. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan rancangan tabung penyimpanan yang sesuai serta sistem adsorpsi yang akan diaplikasikan untuk tabung tersebut.

Adsorpsi

Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi antara molekul-molekul fluida (gas atau cair) yang dikontakkan dengan suatu permukaan padatan. Adsorpsi adalah proses dimana molekul-molekul fluida menyentuh dan melekat pada permukaan padatan (Nasruddin, 2005). Ketika permukaan padatan bereaksi dengan molekul gas atau cair, konsentrasi dari gas atau cairan tersebut di permukaan lebih tinggi daripada fase gas atau cair, disebut dengan adsorpsi (Bansal, R.C dan Meenakshi Goyal, 2005). Molekul tersebut akan terlepas dan berubah fase kembali



Gambar 1 Fenomena Adsorpsi/ Desorpsi (Keller, J.U et al. 2005)

Adsorpsi ditunjukkan oleh Gambar 2.1, ketika adsorpsi, terjadi proses pengeluaran kalor (exoterm) dan sebaliknya ketika desorpsi terjadi proses pengambilan kalor dari lingkungan (endoterm). Entalpi adsorpsi berkisar antara 10 – 20 kJ/mol, dan terjadi dibawah titik didih adsorbat (Bansal, R.C dan Meenakshi Goyal, 2005).

Substansi yang terikat pada permukaan padatan disebut dengan adsorbat dan material tempat terserapnya adsorbat disebut adsorben. *Adsorptive* merupakan fluida yang akan berinteraksi dengan

adsorbat.

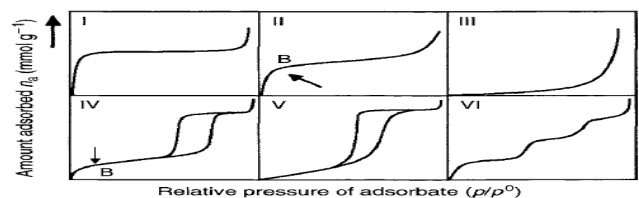
Ikatan pada adsorpsi diakibatkan karena adanya gaya tarik-menarik antara adsorben dengan adsorbat dan relatif lemah, biasa disebut gaya *van der Waals*. Ikatan lemah tersebut menyebabkan adsorbat tidak terikat kuat dengan adsorben sehingga mampu bergerak dari suatu bagian permukaan ke permukaan lainnya, selain itu jika adsorbat meninggalkan permukaannya, dapat digantikan dengan adsorbat lain. Peristiwa ini disebut dengan adsorpsi fisik, karena pengaruh gaya van der Waals, maka tidak dibutuhkan energi aktivasi.

Adsorpsi Isoterm

Jika sejumlah gas atau vapor, q , teradsorpsi oleh padatan berpori-pori saat temperatur konstan dan dalam kesetimbangan tekanan partial, p , (atau konsentrasi, c) maka fungsi $q(p)$ merupakan adsorpsi isoterm (Thomas, W.J dan Barry Crittenden, 1998).

Adsorpsi isoterm merupakan metode yang sering digunakan untuk mewakili keadaan setimbang dari sebuah sistem adsorpsi. Adsorpsi isoterm berguna untuk memberikan informasi mengenai adsorbat, adsorben dan proses adsorpsi. Membantu dalam penentuan luas permukaan adsorben, volume dari pori-pori dan distribusi ukuran (Bansal, R.C dan Meenakshi Goyal, 2005).

Penggambaran kurva antara jumlah gas yang teradsorpsi terhadap tekanan (p/p_0) pada keadaan isothermal dapat dibagi menjadi enam jenis, seperti gambar berikut : (Hines, A.L dan Robert N. Maddox, 1985 , Marsh H. dan F. Reinoso, 2006).



Gambar 2 Kurva Adsorpsi (Mars H. dan F. Reinoso, 2006)

Tipe I, disebut langmuir isoterm menggambarkan adsorpsi (*monolayer*). Langmuir isoterm sesuai dengan adsorpsi fisik pada padatan, biasanya diperoleh dari adsorben berpori kecil (*micropore*) kurang dari 2 nm dan luas area eksternal sangat sedikit, seperti pada karbon aktif, silika gel, zeolit dan bentofit.

Tipe II, diperoleh dari percobaan Brauner, Emmett dan Teller (1938). Kurva jenis ini ditemukan pada adsorben berpori (*porous*) atau padatan berpori besar (*macro-porous*).

Tipe III, menunjukkan kuantitas adsorben semakin tinggi saat tekanan bertambah. Tipe ini jarang terlihat dalam eksperimen adsorpsi, dimana gaya tarik molekul gas lebih besar dibandingkan gaya ikat serapan.

Tipe IV, sering terlihat pada padatan berpori, seperti pada katalis industri. Relatif tekanan rendah sampai

menengah, dimana volume terbesar adsorbat yang teradsorpsi dapat dihitung dari *capillary condensation* yang telah sempurna mengisi pori. Kurva jenis ini dihasilkan padatan adsorben berukuran *mesopore* (2-50 nm).

Tipe V, jenis ini hampir sama dengan tipe III, dihasilkan dari interaksi yang rendah antara adsorben dengan adsorbat.

Tipe VI, menunjukkan interaksi adsorbat dengan permukaannya yang terlalu homogen (*pyrolytic graphite*) yang berinteraksi dengan adsorben seperti argon dan metan.

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Daya adsorpsi dipengaruhi lima faktor (Bahl et al, 1997 dan Suryawan, Bambang 2004), yaitu :

Jenis adsorbat

Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.

Kepolaran zat

Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul tidak polar. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang terlebih dahulu teradsorpsi.

Karakteristik adsorben

a. Kemurnian adsorben

Sebagai zat untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsi lebih baik.

b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben.

c. Temperatur absolut (T), temperatur yang dimaksud adalah temperatur adsorbat. Pada saat molekul-molekul gas atau adsorbat melekat pada permukaan adsorben akan terjadi pembebasan sejumlah energi yang dinamakan peristiwa eksotermis. Berkurangnya temperatur akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi demikian juga untuk peristiwa sebaliknya.

d. Tekanan (P), tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Kenaikkan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi.

e. Interaksi potensial (E), interaksi potensial antara adsorbat dengan dinding adsorben sangat bervariasi, tergantung dari sifat adsorbat-adsorben.

Adsorben

Material penyerap atau adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya (Suryawan, Bambang, 2004). Menurut Suzuki. M (1990) adsorben memiliki dua tipe yaitu polar dan non-polar. Adsorben polar disebut juga

dengan *hydrophilic*, adsorben yang mengikat molekul polar, seperti air. Jenis adsorben ini adalah silica gel, porous alumina, dan zeolites. Adsorben non-polar lebih dapat mengikat oli atau gas dibandingkan air, disebut dengan *hydrophobic*, contohnya karbon aktif dan adsorben polimer.

Karakteristik adsorben menentukan proses adsorpsi. Luas permukaan adsorben mempengaruhi kapasitas adsorpsi, semakin luas permukaannya, maka semakin tinggi kapasitas adsorpsi. Selain itu, adsorben memiliki ukuran pori-pori yang bervariasi. Distribusi ukuran tersebut juga karakteristik penting dari adsorben, karena ukuran tersebut mempengaruhi kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat.

Dari segi sifat material adsorben, diharapkan memiliki sifat kinetik yang baik karena mempengaruhi laju adsorpsi, dan sifat mekanikal yang mempengaruhi ketahanan adsorben dalam melakukan proses adsorpsi dan desorpsi.

Karbon Aktif

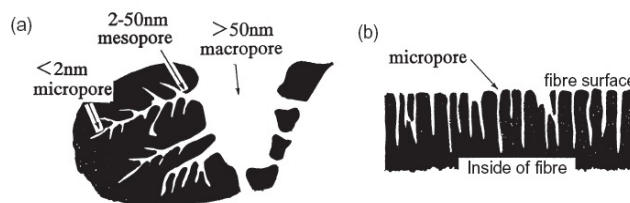
Karbon aktif telah digunakan sejak berabad-abad yang lalu, sekitar tahun 1600 BC di kawasan Mesir. Hingga sekarang, karbon aktif paling banyak digunakan di industri, sebagai contoh untuk memurnikan air, penyerap gas karbon dioksida.

Bahan dasar karbon aktif mudah ditemukan karena dapat dibuat dari bahan-bahan yang mengandung senyawa karbon, seperti tumbuhan, batok kelapa, sekam padi, jenis kayu ataupun barang tambang, batu bara

Penggunaan karbon aktif paling banyak digunakan karena distribusi ukuran pori-pori pada karbon aktif mempunyai diameter pori yang lebih besar dibandingkan dengan adsorben lainnya (Yang, Ralph.T, 2003). Kapasitas daya serap yang tinggi, sekitar 0,6 – 0,8 cm³/gm, terjadi hampir di seluruh rongga molekular biasa disebut dengan *micropores* (Manocha, Satish M, 2003).

Karbon aktif termasuk ke dalam benda solid, namun berbeda karena pada atom permukaannya memiliki gaya yang tidak seimbang sehingga mudah untuk molekul lain masuk dan membentuk permukaan yang baru.

Beberapa bentuk karbon aktif (Manocha, Satish M, 2003) yaitu bubuk, granul, *spherical*, *impregnated*, dan *polymers coated carbon*. Setiap jenis bentuk



Gambar 3 Struktur Karbon Aktif : (a) granul, (b) fiber

Adsorbat

Adsorbat adalah substansi yang terkonsentrasi di permukaan adsorben. Pada penelitian ini digunakan gas metana sebagai adsorbat. Metana termasuk ke dalam ikatan hidrokarbon, menurut M Suzuki (1990), hidrokarbon termasuk kelompok substansi non-polar. Berbeda dengan air yang termasuk ke dalam substansi polar.

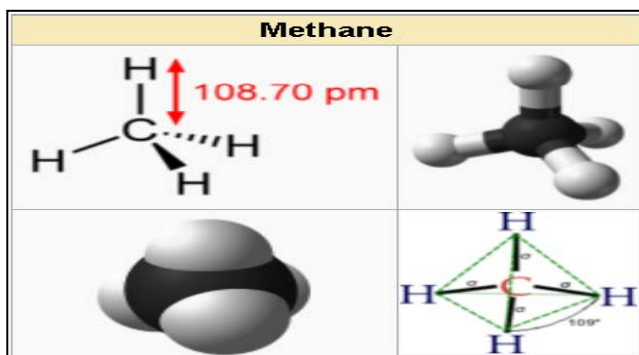
Metana (CH₄)

Metana merupakan komponen utama dari gas alam dan termasuk ikatan hidrokarbon. Pada tekanan dan temperatur atmosfer, metana dalam bentuk gas, tidak berwarna dan tidak berbau namun mudah terbakar.

Metana banyak digunakan sebagai bahan bakar kendaraan, karena termasuk bahan bakar fosil dan ditemukan di tambang minyak bumi, gas alam, ataupun di tambang batu bara. Selain itu, gas yang mengandung metana dapat ditemukan dari tumpukan bahan organik akibat pembusukan anaerobik.

Sifat-sifat lain dari gas metana, sebagai berikut

- Titik leleh : -182,5 °C
- Titik didih : - 161,6 °C
- Densitas (gas) : 1,819 kg/m³
- Faktor Kompresi (Z) : 0,998
- Temperatur Autoignition : 595 °C



Adsorpsi merupakan proses penyerapan adsorben ke permukaan adsorbat. Dibutuhkan sistem adsorpsi agar proses berjalan sesuai dengan tujuan akhir yang diinginkan, seperti mengetahui karakteristik dari adsorben, kemampuan daya serap adsorbe. Dalam pencapaian tujuan tersebut terdapat metode pengukuran proses adsorpsi yang biasa digunakan. Metode pengukuran tersebut memiliki skematik sistem adsorpsi masing-masing.

Metode Pengukuran Adsorpsi

Keadaan setimbang dari proses adsorpsi dapat diukur dengan menggunakan beberapa metode dasar. Pengukuran yang telah lama digunakan yaitu secara volumetrik dan gravimetrik.

Metode Volumetrik

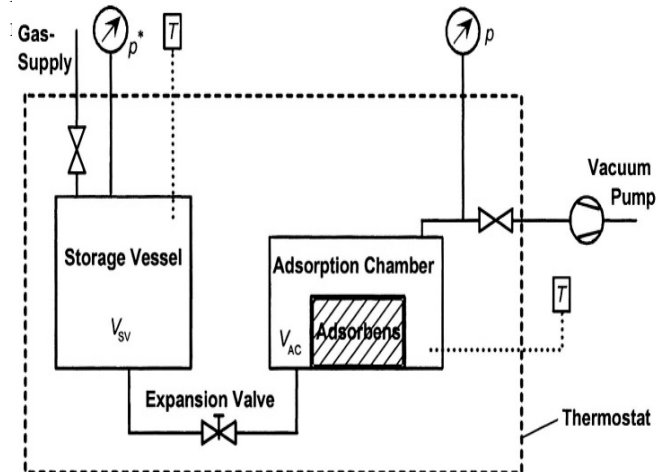
Dalam metode volumetrik, pengukuran dilakukan untuk mendapatkan temperatur dan tekanan di dalam vessel. Pada skematik terdapat dua vessel yaitu storage vessel dan adsorption chamber dihubungkan oleh sebuah katup. Storage vessel berguna untuk

penyimpanan gas sementara yang tekanan dan temperturnya dapat diatur. Kemudian adsorption chamber terdapat adsorben untuk adsorpsi gas. Katup dibuka gas mengalir dari storage vessel ke adsorption chamber, terjadi penurunan tekanan dan kenaikan temperatur menandakan terjadinya adsorpsi. Setelah kesetimbangan tercapai, didapatkan temperatur dan tekanan stabil, massa gas teradsorpsi dapat dihitung.

Hal yang terpenting dalam pengukuran adsorpsi isothermal menggunakan alat uji adsorpsi metode volumetrik sebagai berikut (Keller, J.U et al, 2002):

- Volume efektif alat uji harus diketahui,
- Alat uji harus dapat mengukur temperatur dari gas yang menjadi adsorbat,
- Keakuratan alat uji untuk mengukur perubahan tekanan pada metode volumetrik adalah hal yang utama,
- Kesetimbangan adsorpsi terjadi apabila tekanan relative mencapai $p/p_0 = 1$, maka pengukuran berakhir,

Perhitungan adsorbat yang terserap dapat diukur



Gambar 5 Skematik Pengukuran Volumetrik (Keller, J.U et al, 2005)

Metode Gravimetrik

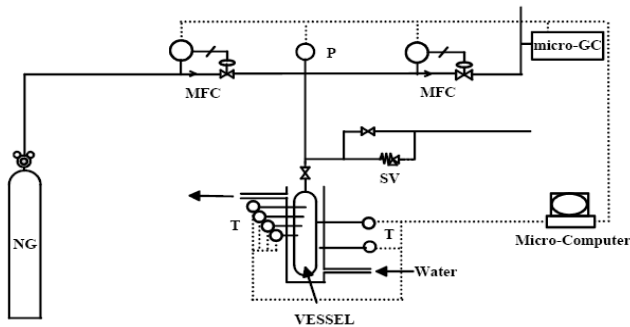
Metode gravimetrik digunakan untuk karakteristik pori-pori adsorben, mengukur persamaan adsorpsi gas, dan adsorpsi kinetik (Keller, J.U et al, 2005). Pengukuran adsorpsi isothermal yang dapat dilakukan menggunakan metode gravimetrik, antara lain: massa yang terserap pada adsorben, tekanan gas dan temperatur. Alat yang digunakan untuk mengukur adsorpsi isothermal adalah Thermograph Microbalance Aparatus (TGA) (Rouquerol, J et al, 1998).

Preparasi sampel pengujian menggunakan metode gravimetrik mutlak dilakukan untuk mendapatkan pengujian yang optimum. Preparasi sampel dilakukan dengan degassing sampel untuk mendapatkan massa kering sampel serta temperatur, tekanan, dan waktu untuk mendapatkan data pengujian yang valid (Keller, J.U et al, 2002). Pengujian menggunakan metode gravimetrik sangat kompleks, dikarenakan diperlukan

pengukuran efek *bouyancy* pada pengolahan datanya. Alat uji adsorpsi menggunakan metode gravimetrik membutuhkan investasi yang cukup besar, karena untuk memiliki TGA dengan keakuratan tinggi harus menyediakan jutaan dollar (Rouquerol, J et al, 1998).

Skematik Sistem Adsorpsi

Pada adsorpsi-desorpsi metana, digunakan sistem skematik seperti pada Gambar 2.7, berdasarkan Jurnal Internasional “*Effect of cycling operations on an adsorbed natural gas storage*” oleh Pupier, O. et al, 2004.



Gambar 6, menjelaskan aliran masuk adsorbat menuju tangki penyimpanan (*vessel*) dan keluar ke lingkungan. Terdapat komponen mengontrol aliran massa (MFC) untuk mengatur aliran massa adsorbat yang masuk dan keluar. Pemasangan *micro-gas chromatograph* ditujukan untuk mengetahui kandungan adsorbat yang keluar dan dilihat pengaruhnya setelah beberapa siklus dilakukan.

Data yang diambil yaitu tekanan, temperatur dan aliran massa. Proses adsorpsi-desorpsi dilakukan pada temperatur konstan, 298 K oleh sebab itu *vessel* dimasukan ke dalam air yang dapat diatur temperaturnya. Air digunakan karena lebih stabil terhadap keadaan lingkungan yang kurang stabil. Tekanan dalam *vessel* mencapai 3,5 MPa dan temperatur adsorben kembali seperti temperatur awal, minimal berbeda 0,5 °C, maka pengisian berakhir. Skematik di atas bertujuan untuk mendapatkan grafik temperatur, tekanan, dan aliran massa terhadap waktu dan kandungan adsorbat setelah dilakukan sekitar 700 siklus.

Perancangan Alat Uji Adsorpsi Metana

Pada perancangan alat uji adsorpsi metana, tempat penyimpanan karbon aktif untuk menyerap metana merupakan alat utama. Perancangan tempat penyimpanan tersebut perlu diperhatikan karena terkait dengan tekanan kerja dan temperatur yang akan digunakan saat penelitian berlangsung dan untuk menghindari kebocoran selama proses berlangsung.

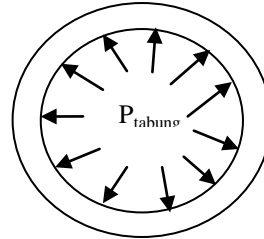
Tempat penyimpanan, akan terdiri dari sebuah tabung dengan ketebalan tertentu, flange dan packing. Tentu akan memperhitungkan kekuatan sambungan baut, yang paling kritis dalam tempat penyimpanan tersebut.

Bejana Bertekanan

Bejana bertekanan merupakan suatu tabung yang

bekerja untuk menahan tekanan fluida di dalamnya yang lebih besar dibandingkan dengan tekanan lingkungan. Dibutuhkan tabung dengan ketebalan tertentu untuk menahan tekanan tersebut agar tidak terjadi kegagalan, misalnya ledakan, kebocoran.

Dalam menentukan ketebalan bejana bertekanan, diperlukan asumsi bahwa, tekanan diseluruh permukaan dinding sama dan pengaruh gaya pada kedua plat penutup diabaikan. Ditujukan oleh gambar 2.8, tabung dengan jari-jari R, mengalami tekanan di sekeliling dalam tabung dan mampu ditahan oleh ketebalan tabung, t. Kemampuan menahan tekanan tersebut juga dipengaruhi oleh material dari tabung tersebut.



Gambar 7 Gaya Kompresi Pada Dinding

Dengan demikian, ketebalan dinding yang diperlukan didapatkan dengan menggunakan persamaan standar ASME Boiler and Pressure Vessel code, Section VIII-Division 1 pada bagian *Thin Cylindrical Shells*.

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}, \text{ saat } t < 0,5P \text{ atau } P > 0,358SE$$

Dimana,

E = Joint Efficiency Factor

P = internal pressure

R = internal radius

S = allowable stress in the material

t = thickness of the cylinder

Hasil dan Pembahasan

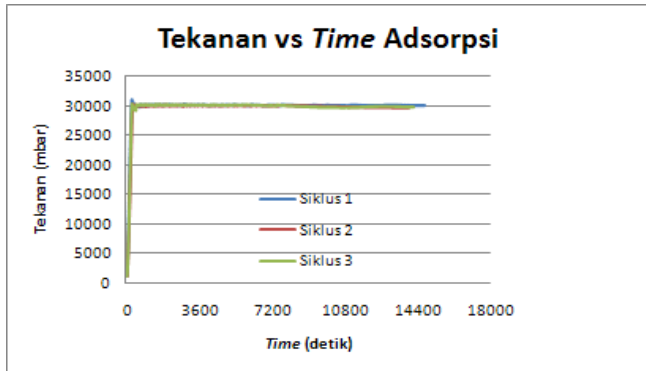
Penelitian mengenai adsorpsi-desorpsi isothermal gas Metana pada adsorben merupakan penelitian yang bertujuan untuk mendapatkan suatu nilai kapasitas penyerapan yang dimiliki adsorben akibat efek proses *cycling* yang digunakan pada tekanan dan temperatur tertentu. Hal ini dapat ditunjukkan dengan melakukan pengulangan (*repeatability*) pengambilan data untuk kondisi yang hampir sama. Namun untuk melakukan pengulangan tersebut cukup sulit dalam memberikan perlakuan yang benar-benar sama khususnya pada pengukuran tekanan dan kondisi isothermal pada air.

Proses pengambilan data diawali dengan mengkondisikan sistem berada keadaan isothermal pada *measuring cell* (bejana bertekanan) pada temperatur 30°C dengan nilai toleransi $\pm 0,2^\circ\text{C}$ dan juga pada tekanan pengukuran yang akan dilakukan yaitu 30 bar dengan nilai toleransi ± 100 mbar serta penentuan nilai *mass flow* berdasarkan bukaan *needle valve* dengan sudut bukaan 120° . Dengan melakukan perlakuan yang sama tersebut diharapkan dapat menghasilkan

data yang dapat dipertanggungjawabkan sesuai dengan eksperimen. Berikut ini merupakan grafik pengulangan data dengan 3 siklus pada tekanan 30 bar setelah dilakukan eksekusi.

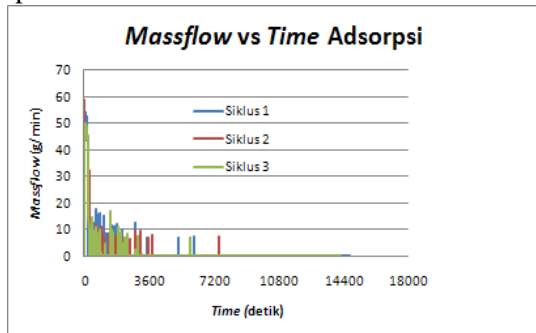
Berikut ini adalah grafik data adsorpsi-desorpsi gas Metana dengan melakukan percobaan sebanyak 3 siklus, sebagai berikut:

Hubungan Tekanan terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus



Gambar 8 Grafik Tekanan vs Time Proses Adsorpsi 3 Siklus

Dari grafik diatas terlihat bahwa tekanan yang diinginkan pada siklus pertama, siklus kedua dan siklus ketiga yaitu stabil/konstan sebesar 30 bar akan tetapi dari grafik diatas ada kecenderungan naik turun. Kecenderungan naik dikarenakan pada proses bukaan pada *needle valve* yang manual sehingga tidak sesuai yang tekanan 30 bar. Sedangkan kecenderungan turun dikarenakan terjadi proses adsorpsi pada adsorben. Bila tekanan konstan 30 bar menandakan proses adsorpsi berakhir.



Gambar 9. Grafik Massflow vs Time Proses Adsorpsi 3 Siklus

Dari grafik diatas terlihat bahwa terjadi banyak variasi *massflow* pada siklus pertama, siklus kedua dan siklus ketiga dengan kenaikan *massflow* sebesar ± 60 g/min. Hal itu dikarenakan terletak pada bukaan *needle valve* yang dibuka secara manual. Proses bukaan tersebut dilakukan bila tekanan didalam tabung yang konstan 30 bar mengalami pengurangan akibat proses adsorpsi di adsorben. Bila *massflow* sudah tidak mengalami perubahan maka menandakan bahwa proses adsorpsi

Kesimpulan

Volume tabung yang berisi karbon aktif komersial yang diukur dengan metode gas helium sebesar ± 4.64 L.

Kapasitas penyerapan CH_4 pada karbon aktif komersial memiliki nilai yang berbeda terhadap tekanan tertentu dan dengan temperatur yang sama yaitu 30°C .

Pada siklus pertama kapasitas penyerapan sebesar 96.33 gram.

Pada siklus kedua kapasitas penyerapan sebesar 96.73 gram.

Pada siklus ketiga kapasitas penyerapan sebesar 77.26 gram.

Bahwa pada setiap siklus terdapat massa CH_4 yang tersangkut sehingga mempengaruhi kapasitas penyerapan CH_4 pada karbon aktif komersial.

Pada siklus pertama massa CH_4 yang tersangkut pada karbon aktif sebesar 89.44 gram.

Pada siklus kedua massa CH_4 yang tersangkut pada karbon aktif sebesar 166.62 gram.

Pada siklus ketiga massa CH_4 yang tersangkut pada karbon aktif sebesar 181.36 gram.

Pada temperatur yang sama, semakin besar tekanan maka kapasitas dan laju penyerapan akan meningkat juga.

Cycling operation pada ANG akan berpengaruh sekali pada kapasitas dan laju penyerapan karena adsorben lama kelamaan akan mencapai titik jenuh.

Referensi

Bahl, B.S, G.D Tuli, and A. Bahl, 1997, *Essential of Physical Chemistry*, S. Chand and Company, Ltd, New Delhi

Belmabkhout, Y, G. D Weireld, and M. Frere, 2004, *High Pressure Adsorption Isotherms Of N_2 , CH_4 , O_2 , and Ar On Different Carbonaceous Adsorbent*, Journal of Chemical and Engineering Data, Vol. 49, No. 5, 2004

Nasruddin, 2005, *Dynamic Modeling and Simulation of a two Bed Silica gel-Water Adsorption Chille*, Disertasi, Rheinisch - Westfälische Technische Hochschule, Aachen

O. Pupier, V.Goetz, R. Fiscal, 2004, *Effect of Cycling Operations on an Adsorbed Natural Gas*, journal

S. Biloe, V. Goetz, A. Guillot, 2001, *Optimal Design of an Activated Carbon for an Adsorbed Natural Gas Storage System*, journal

Suryawan, Bambang, 2004, *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*, Disertasi, FTUI, Depok
Suzuki Motoyuki, *Adsorption Engineering*, 1990, Kodansha Ltd, Tokyo