

ADSORBEN PENERING GAS BUMI UNTUK MEMINIMALKAN KADAR AIR DALAM BAHAN BAKAR GAS (BBG)

(Adsorbent Natural Gas Dryer to Minimize of Water Content in Gas Fuel)

Yayun Andriani dan Lisna Rosmayati

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan

Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

E-mail: yayuna@lemigas.esdm.go.id; lisnar@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 15 Maret 2017; Diterima setelah perbaikan tanggal 20 April 2017;

Disetujui terbit tanggal: 28 April 2017.

ABSTRAK

Batasan kadar air dalam bahan bakar gas bumi di Indonesia seringkali tidak dapat dipenuhi karena keterbatasan fasilitas yang dimiliki SPBG. Rancang bangun pengering gas bumi saat ini telah memiliki pangsa pasar di dalam negeri. Alat ini mampu menurunkan kadar air dalam gas bumi yang dimanfaatkan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Gas (SPBG) dan industri. Penelitian ini memodifikasi karbon aktif sebagai adsorben dengan cara pembuatan *pellet* karbon aktif dengan menggunakan bentonit sebagai penyangga yang divariasikan dan dicampur dengan KOH lalu direndam pada suhu kamar. Adsorben dipanaskan lalu dibentuk *pellet* kemudian dipanaskan kembali pada suhu tinggi sebelum dikalsinasi. Setelah itu dilakukan karakterisasi untuk mengetahui sifat dan karakter *pellet* adsorben. Hasil uji menunjukkan bahwa *pellet* adsorben masih menyerap air hingga akhir pengujian mencapai 50% berat karbon aktif. Hasil penelitian diketahui bahwa adsorben ini dapat menurunkan kadar air dalam gas bumi dari 35 lb/MMScf menjadi minimum sekitar 5-6 lb/MMScf.

Kata Kunci: adsorben, pengering gas bumi, kadar air.

ABSTRACT

Limitation of the water content in the fuel gas in Indonesia very often can not be met due to the limited facilities owned in SPBGs. Design and build a gas drier has a market share in the country. This equipment is able to reduce the water content in the natural gas used Fuel Filling Station Gas (SPBGs) and industries. Initial experiments conducted tests on some types of adsorbents to determine the percent weight increase and manufacture of activated carbon pellets made using bentonite as a buffer with a variation of 20, 40 and 60% bentonite. Material mixed with KOH and then soaked at room temperature. The heated material is then formed pellets then reheated to a high temperature before calcined. After that characterization to determine the nature and character of adsorbent pellets. The test results showed that activated carbon can still absorb water until the end of the test, which reached 50% by weight of activated carbon. it is known that activated carbon absorbs the water and reduce the water content in the gas of 35 lb / MMscf to be a minimum of about 5-6 lb / MMscf.

Keywords: adsorbent, natural gas drier, water vapor content

I. PENDAHULUAN

Persyaratan keamanan bahan bakar gas (BBG) sangatlah penting. Kandungan air dalam gas bumi seringkali menjadi permasalahan utama dan menjadi penyebab berbagai kerusakan dan kecelakaan terkait dengan pemanfaatan gas bumi di sektor transportasi. Sifat gas bumi di Indonesia umumnya adalah basah, dengan kandungan air yang relatif tinggi berkisar lebih dari 12 Lb/MMSCFD (Lisna et al. 2014). Batasan kadar air dalam bahan bakar gas bumi di Indonesia seringkali tidak dapat dipenuhi karena keterbatasan fasilitas yang dimiliki di SPBG. Penyediaan fasilitas pengering untuk mengeringkan gas bumi seringkali menjadi keluhan produsen gas bumi karena tingginya biaya pengadaan pengering dan nilai penjualan gas bumi yang tidak sebanding. (Lisna et al. 2014). Metode adsorpsi dengan karbon aktif merupakan salah satu solusi yang tepat untuk meminimalkan kadar air (Suryadi Ismadji 2011). Penelitian dalam kegiatan DIPA di tahun 2015 oleh tim peneliti teknologi analisis gas PPPTMGB "LEMIGAS" berupaya untuk membuat adsorben sebagai pengering gas bumi dengan spesifikasi material yang aman dan mampu mengeliminasi kadar air dalam gas bumi sehingga dapat dihasilkan gas bumi dengan kadar air yang tidak melebihi batas spesifikasi yang ditetapkan pemerintah. Dalam kegiatan penelitian adsorben pengering gas bumi, media adsorben yang digunakan adalah karbon aktif yang telah diaktivasi sehingga mampu untuk mengadsorb kadar air dalam gas bumi secara optimum (Shimooka, S. 2007). Hal ini juga dapat menaikkan nilai Tingkat Kesiapan Dalam Negeri (TKDN) karena karbon aktif merupakan salah satu sumber daya alam Indonesia. Pembuatan rancang bangun pengering gas bumi ini juga telah memiliki pangsa pasar di domestik, diantaranya SPBG yang menggunakan gas bumi sebagai bahan bakar.

Para peneliti sebelumnya, baik di dalam maupun di luar negeri telah melakukan penelitian penurunan kadar air dalam gas bumi dengan menggunakan media adsorben yang berbeda, antara lain zeolit, molesieve dan silica gel (Maria Spiridon, et al. 2012). Penelitian oleh Hameed et al. (2007) dimana adsorben karbon aktif diaktivasi dengan menggunakan Kalium Hidroksida (KOH) pada 850°C selama 2 jam. Dengan melakukan modifikasi secara fisika dan kimia, karbon aktif sebagai adsorben bisa bersaing dengan adsorben komersial. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan sesuatu yang inovatif terkait kualitas bahan bakar gas bumi yang berdampak pada nilai jual bahan bakar gas.

Pembuatan adsorben karbon aktif, dilakukan dengan menggunakan campuran bentonit sebagai penyangga (Eko Wiharto Setiawan 2001), dengan variasi 20, 40 dan 60% bentonit. Bahan dicampur dengan KOH lalu direndam pada suhu kamar dan dipanaskan pada suhu 90°C lalu dibentuk *pellet*. Selanjutnya dipanaskan kembali pada suhu tinggi sebelum dikalsinasi (Dinesh, S. 2010). Setelah itu dilakukan karakterisasi untuk mengetahui sifat dan karakterisasi *pellet* adsorben. Percobaan awal dilakukan pengujian terhadap beberapa jenis adsorben untuk mengetahui penambahan persen berat, yaitu adsorben silica gel, molsieve dan karbon aktif. Hasilnya menunjukkan bahwa silica gel dan mol sieve pada menit 4500 telah jenuh dengan air karena tidak terjadi peningkatan berat yang signifikan, sedangkan karbon aktif masih dapat menyerap air hingga akhir pengujian yang mencapai 50% berat karbon aktif. Dari pengujian ini didapatkan bahwa kapasitas karbon aktif yang diuji akan turun dari 50% menjadi 3.3% pada perubahan kelembaban dari 60% menjadi 7.75%. Pada pengujian kadar air *outlet* terhadap waktu dengan tiga kali pengulangan diketahui bahwa karbon aktif menyerap air dan menurunkan kadar air dalam gas bumi dari 35 lb/MMScf menjadi minimum sekitar 5-6 lb/MMScf, sedangkan mol sieve dapat menurunkan kadar air hingga 0.05 lb/MMScf (Hassan A.A.Farag et al. 2011).

II. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dengan terlebih dahulu mempersiapkan adsorben yang berasal dari karbon aktif tempurung kelapa, dan membuat desain *drier* skala laboratorium. Prosedur pembuatan *pellet* karbon aktif dan skema Tahapan uji karakteristik adsorben dan uji kinerja *drier* gas bumi ada dalam bagan gambar 1.

A. Prosedur Pembuatan *Pellet* Karbon Aktif

1. Bahan

Bahan baku karbon yang digunakan adalah:

- Karbon aktif dengan ukuran partikel 225 mesh
- *Bentonite clay* dengan ukuran 225 - 250 mesh.
- Larutan KOH 1:1 yang menggunakan air demineralisasi.
- Gas nitrogen

2. Peralatan

- *Ballmill*
- Peralatan pembuat *pellet*

- Peralatan Pyrolisis
- Timbangan
- Wadah untuk adonan

3. Prosedur

Skema pembuatan *pelet* karbon aktif disajikan pada Gambar 1.

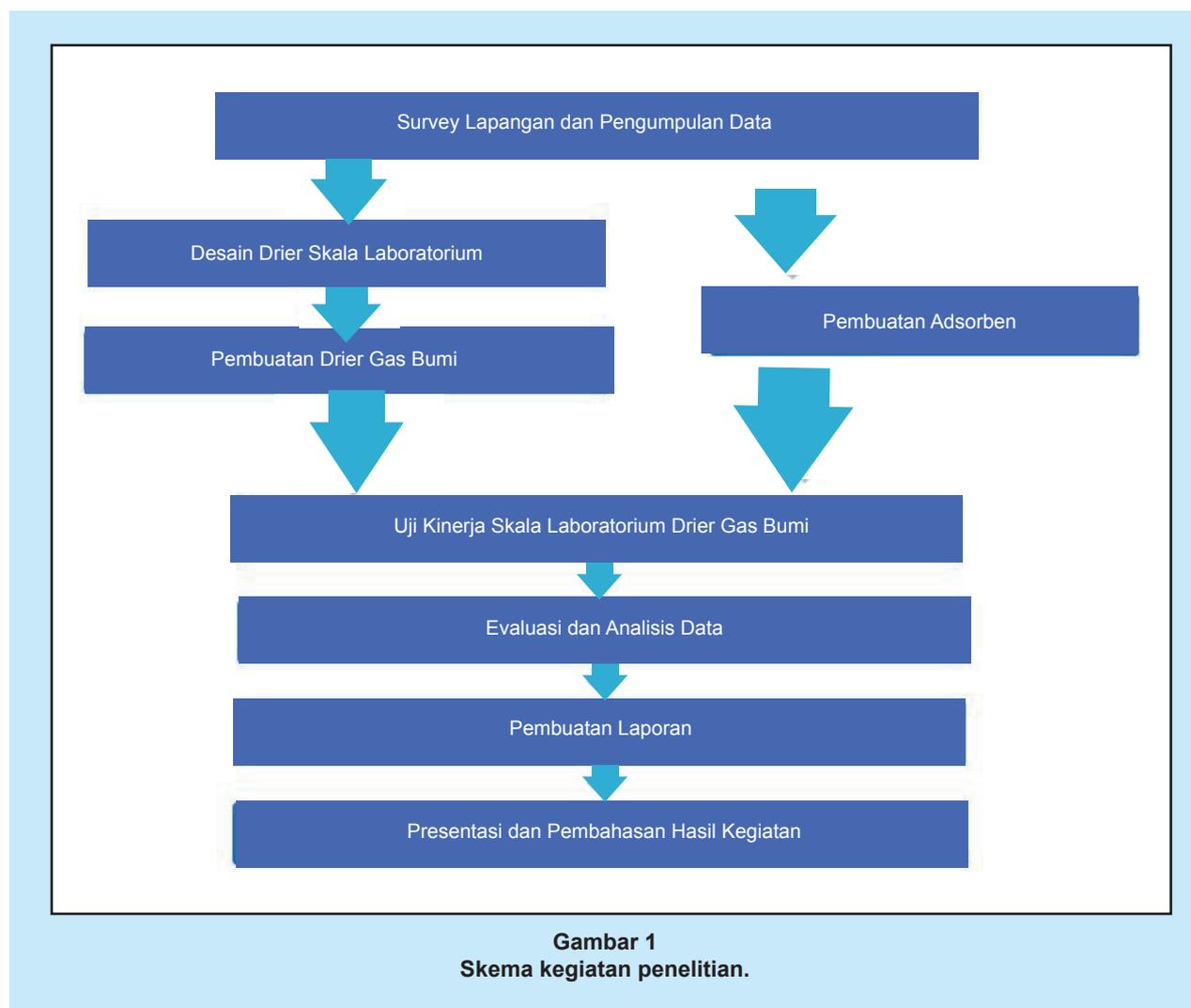
- Karbon aktif mula mula dihaluskan dengan alat *Ballmill* hingga mencapai ukuran partikel sekitar 225 mesh
- Karbon aktif yang sudah halus dicampur dengan bentonit sesuai dengan variasi percobaan.
- Kemudian ditambahkan larutan KOH 1:1 dan didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar. Selanjutnya adonan ini dikeringkan pada suhu 80 -90°C selama 1 jam hingga kondisinya cukup baik untuk dicetak menjadi *pellet* kemudian dikeringkan kembali pada temperatur 200°C selama \pm 3 jam. Perlakuan dilanjutkan dengan kalsinasi pada temperature 700°C selama 45

menit. Kalsinasi dilakukan pada kondisi *inert*. Pelet yang sudah dikalsinasi dianalisa aktivitasnya menggunakan analisa bilangan iodin dan FTIR. (Shimooka.S, et al. 2006 and Kobayashi, J. 2006)

4. Prosedur pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan *drier* gas bumi seperti pada gambar 2. Secara garis besar proses adsorpsi di lakukan pada sebuah *fixed bed* (unggun tetap) yang berisi adsorbent. Gas bumi yang akan dikeringkan di masukan kedalam *fixed bed* yang berisi adsorben, selama melewati adsorben, uap air yang terkandung dalam gas terserap oleh adsorben baik pada permukaan luar maupun di dalam pori pori nya, gas bumi terus mengalir dan keluar di bagian bawah kolom.

Setelah beberapa waktu adsorben menyerap air maka akan tercapai suatu keadaan adsorben jenuh, supaya adsorben jenuh dapat di gunakan lagi maka perlu di panasi sehingga air yang menempel menguap. Proses terakhir regenerasi ini, suatu gas



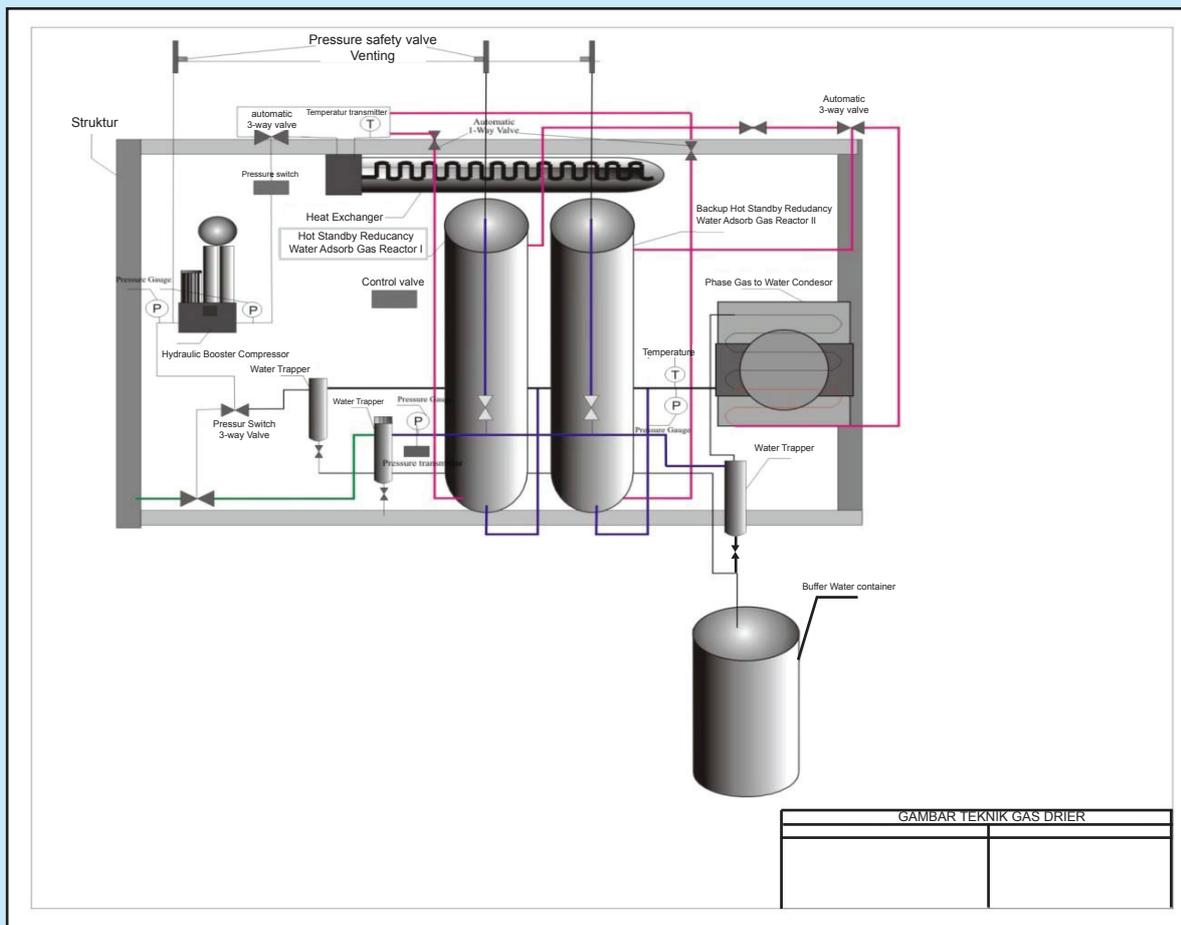
Gambar 1
Skema kegiatan penelitian.

panas di alirkan ke dalam kolom melalui bagian bawah ke atas sambil mengalir gas panas ini menguapkan air yang menempel pada adsorben. Jadi bila didinginkan proses nya kontinyu, maka di perlukan minimal 2 buah kolom *fixed bed*, satu untuk proses adsorpsi dan satu lagi sebagai proses regenerasi. Contoh diagram alir unit pengeringan secara adsorpsi.

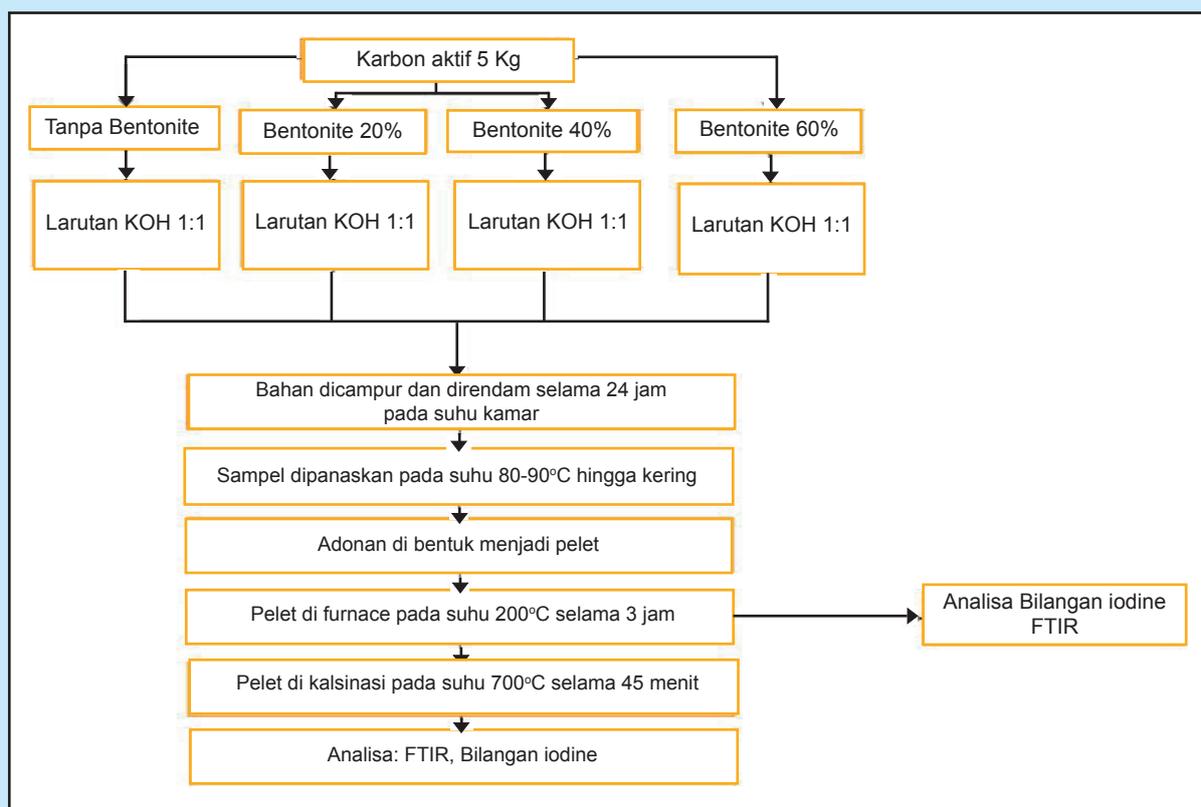
Pada pengujian ini, digunakan *Compressed Natural Gas* (CNG) dengan tekanan 2000-3000 psig. Tekanan CNG tersebut kemudian diturunkan hingga mendekati sifat alamiah tekanan pipa gas bumi, yakni 5-8 bar(75-120 psig). Gas tersebut juga dipersiapkan dengan memiliki kadar air yang sesuai dalam sistem perpipaan kita, yakni 20-40 lb/MMScf dengan cara menjenuhkan gas tersebut dengan air.

Regenerasi karbon aktif dilakukan dengan karbon aktif dalam silinder yang dipanaskan pada temperatur 200°C dan laju alir gas nitrogen 2 L/min. Regenerasi dilakukan hingga kadar air inlet sama dengan kadar air *outlet* adsorben yang diregenerasi.

Selama periode adsorpsi, adsorben dapat dianggap terdiri atas tiga zona, yakni zona atas, tengah dan bawah. Zona atas atau zona saturasi sering disebut zona kesetimbangan. Adsorben pada zona ini berada dalam kesetimbangan dengan gas basah *inlet*. Zona saturasi berada di bagian atas kolom adsorpsi (bagian *inlet* kolom). Zona dibagian tengah adalah *mass transfer zone* yakni zona dimana kadar air berkurang dari konsentrasi *inlet* ke konsentrasi terendahnya(pada mol sieve, konsentrasi terendah dapat mencapai kurang dari 1 ppmv). Zona bagian bawah adalah zona dimana adsorben belum menyerap air dan umum disebut zona aktif. Jika adsorben beroperasi terlalu lama pada proses adsorpsi, *mass transfer zone* mulai bergerak ke bagian bawah adsorben dan menyebabkan *breakthrough* (terobosan). Pada titik *breakthrough*, kadar air dari *outlet* gas mulai naik dan jika berlanjut akan mencapai kadar air gas *inlet*. (Design Guide 2001).



Gambar 2
Gambar teknik drier gas bumi.



Gambar 3 Skema pembuatan pellet.

III. HASIL DAN DISKUSI

Penelitian ini membahas adsorben sebagai pengering gas bumi. Hasil karakterisasi adsorben dilakukan dengan instrument *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Iodin Number*. FTIR dapat menunjukkan kualitatif beberapa gugus fungsi dari adsorben karbon aktif tanpa dan dengan penambahan kalium hidroksida (KOH) sebelum dan setelah proses kalsinasi. Hasil analisa FTIR menunjukkan bahwa pada panjang gelombang $3000-3500\text{ cm}^{-1}$ teridentifikasi gugus -OH dan panjang gelombang $1400-1650\text{ cm}^{-1}$ terdapat puncak (*peak*) cincin hidrokarbon. Dari hasil *peak % transmittance* menunjukkan bahwa semakin besar penambahan persen berat bentonit tanpa proses kalsinasi, gugus -OH yang muncul semakin lemah. Persen bentonit 20 % menghasilkan ikatan -OH lebih banyak pada sisi permukaan adsorben karbon aktif seperti terlihat pada Gambar 4,5 dan 6.

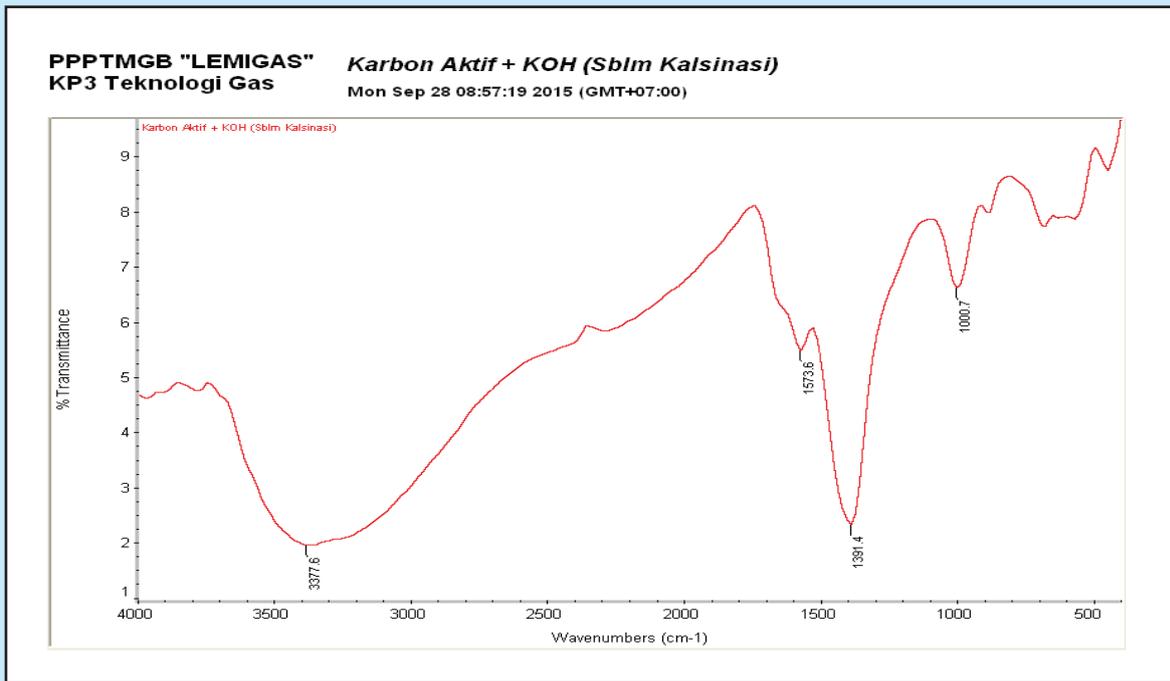
Hasil karakterisasi bilangan *iodine* terhadap adsorben tersebut membuktikan bahwa adanya penambahan KOH dan bentonit 20% akan menurunkan nilai bilangan iodinnya. Bilangan *iodine* menggambarkan kemampuan pori adsorben dalam

menyerap adsorbat. Hal ini berarti kemampuan adsorpsi fisika dengan pori adsorben menurun, tetapi diharapkan kemampuan adsorpsi kimianya meningkat karena permukaan adsorben telah dipenuhi gugus-OH.

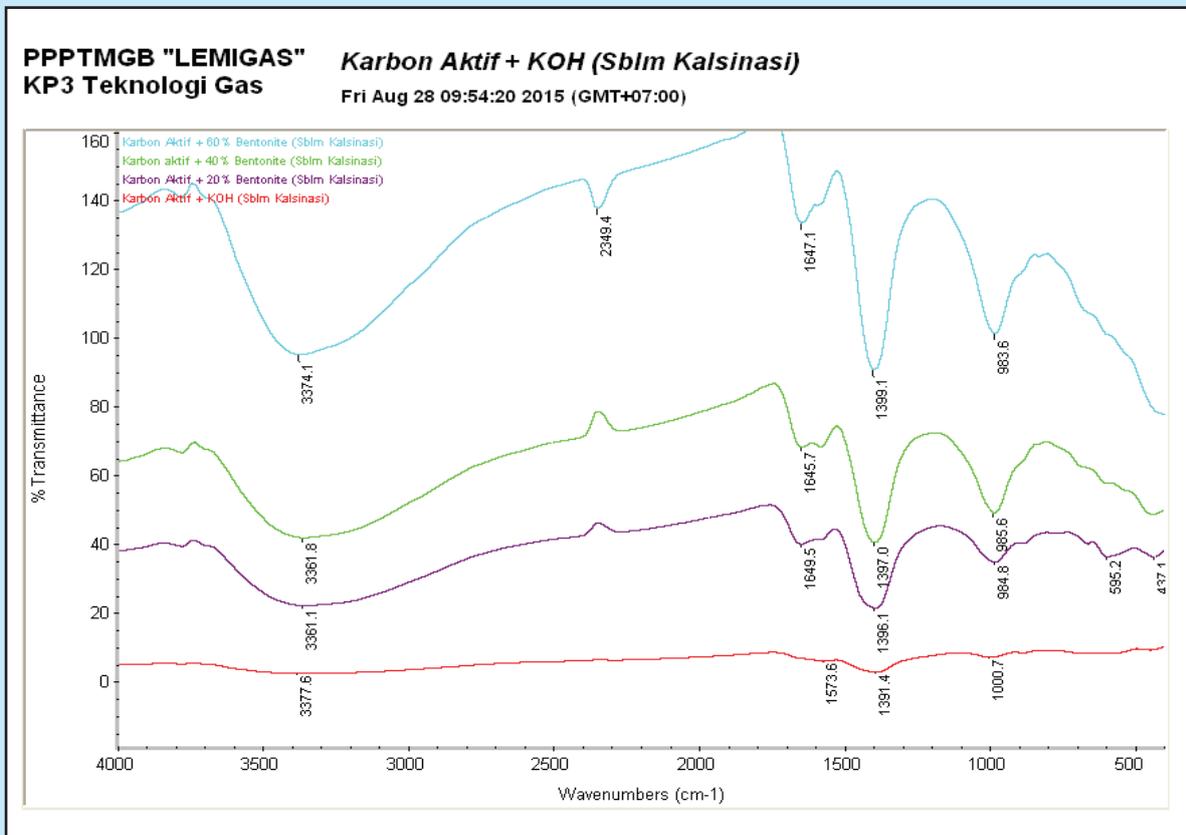
A. Pengujian Kapasitas Adsorben

Pengujian ini dilakukan selama 5 hari untuk mengukur kapasitas adsorben dalam menyerap air pada kelembaban 60-80%. Dari grafik diatas terlihat bahwa silica gel dan mol sieve telah jenuh dengan air karena tidak terjadi peningkatan berat yang signifikan sejak menit ke 4500. Sedangkan karbon aktif masih dapat menyerap air hingga akhir pengujian yang mencapai 50% berat karbon aktif. Meskipun dapat menyerap lebih banyak air, karbon aktif menjadi lebih rapuh dan menjadi serbuk setelah menyerap air. Pembentukan serbuk ini akan membahayakan instalasi keluaran dari *outlet* kolom adsorpsi.

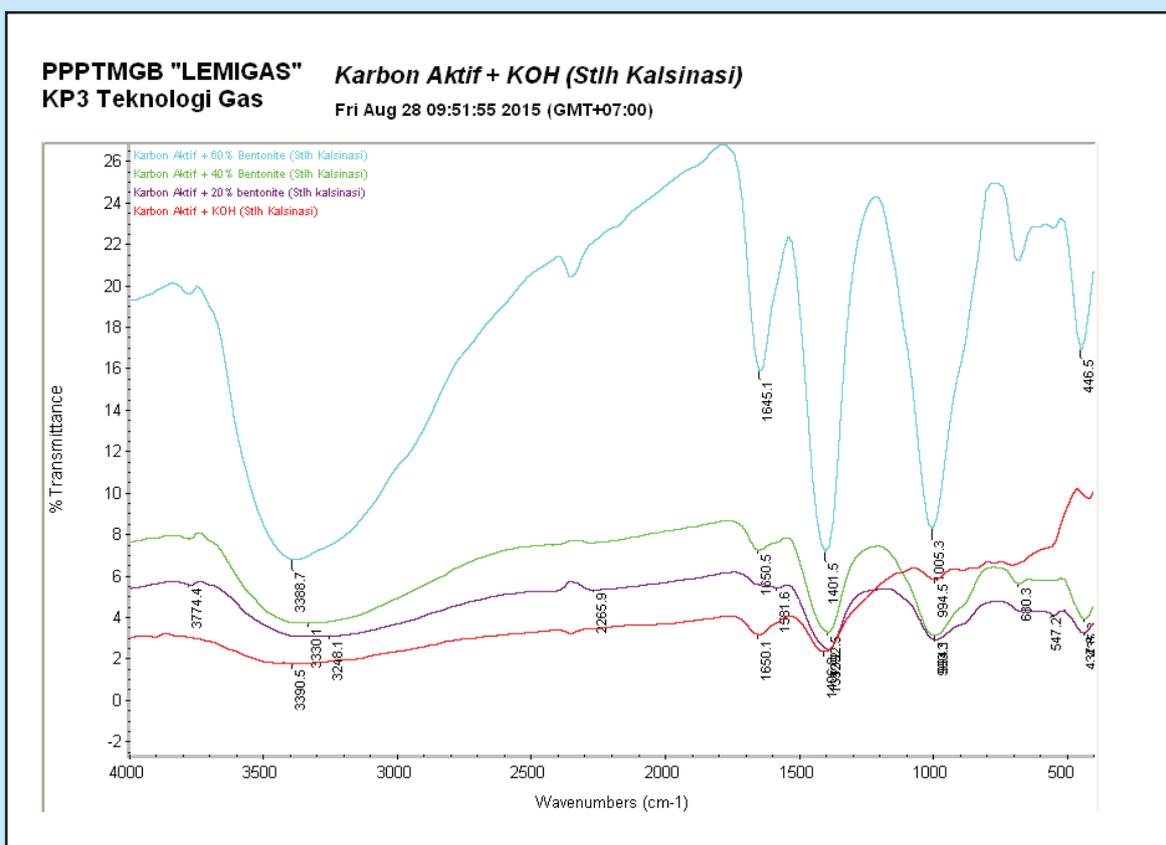
Kemampuan adsorben untuk menyerap air berbeda-beda, tergantung jenis adsorben dan kejenuhan air dalam gas. Berdasarkan GPSA, perubahan kelembaban gas dari 60% menjadi 7.75% menyebabkan penurunan kapasitas mol sieve dari



Gambar 4
Hasil aktivasi dan karakterisasi adsorben.



Gambar 5
Spektra FTIR sebelum kalsinasi.



Gambar 6
 Spektra FTIR setelah kalsinasi.

Tabel 1
 Hasil analisa bilangan iodin

No	Kalsinasi	Kandungan	Waktu kalsinasi	Bilangan Iodine
1	Sebelum Kalsinasi	Karbon Aktif	-	9.818.965
2	Jumlah sampel ± 500 gram	Karbon Aktif + KOH	-	9.276.713
3		Karbon Aktif + KOH + 20% Bentonite	0 menit	8.243.174

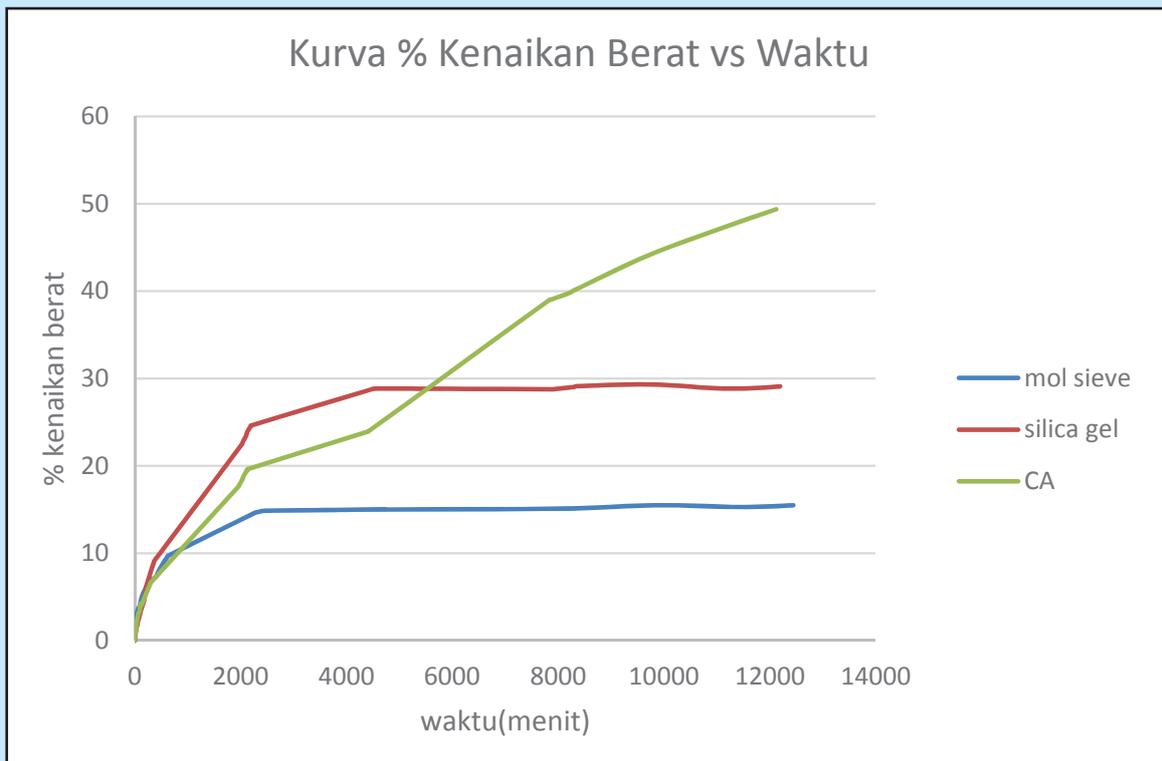
22.5% menjadi 20%, sehingga berdasarkan data kapasitas yang telah dilakukan, maka kapasitas mol sieve turun dari 15% menjadi 12%. Sedangkan kapasitas silica gel akan turun dari 35% menjadi 5%. Dari pengujian ini didapatkan bahwa kapasitas karbon aktif yang diuji akan turun dari 50% menjadi 3.3% pada perubahan kelembaban dari 60% menjadi 7.75%. (GPSA 2004)

B. Pengujian adsorpsi karbon aktif

Proses penyerapan air oleh adsorben terjadi secara bertahap. Bagian *inlet* kolom akan lebih dahulu

menyerap air hingga adsorben pada bagian *inlet* jenuh dengan air. Area jenuh dengan air akan terus bergerak kearah *outlet* dari kolom hingga seluruh kolom jenuh dengan air dan kolom tidak dapat menyerap air. Pada kondisi ini, kolom telah jenuh sudah harus diregenerasi.

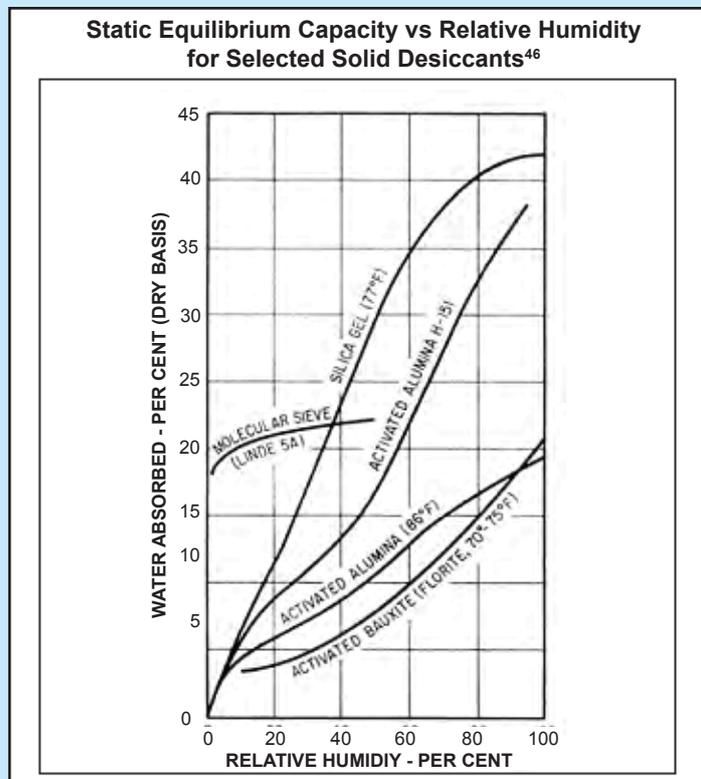
Area dimana adsorben sedang menyerap adsorbate (dalam hal ini air) disebut *mass transfer zone* (MTZ). Pada area MTZ ini, kemampuan adsorpsi adsorben akan berkurang secara bertahap dan proses adsorpsi digantikan oleh area selanjutnya. Ukuran



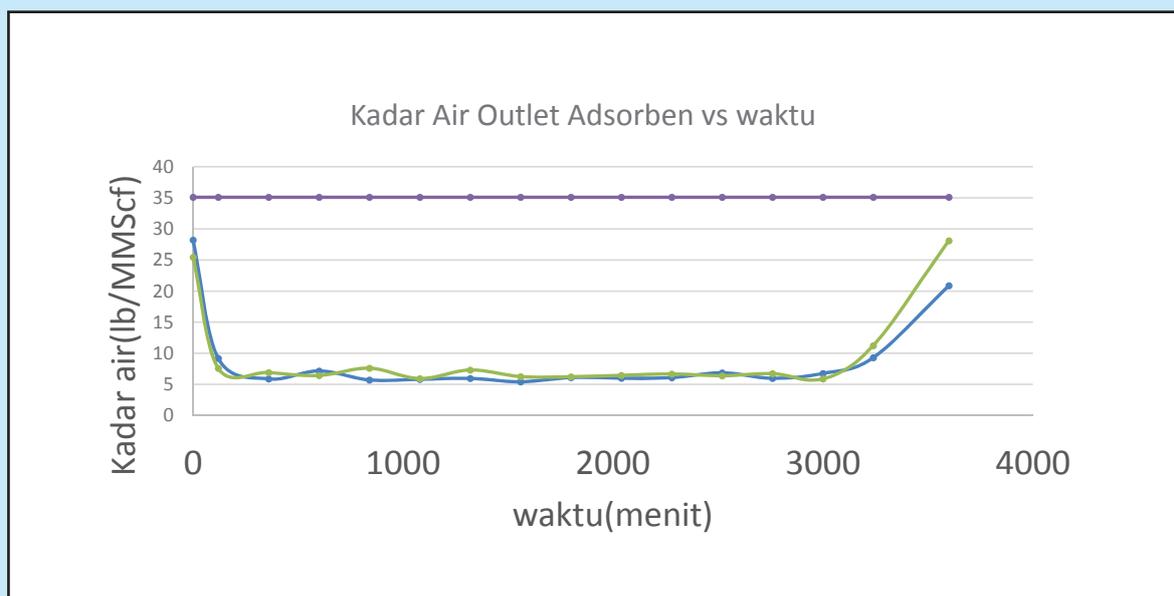
Gambar 7
Kurva kenaikan berat vs. waktu.

mass transfer zone ini bervariasi tergantung dari kecepatan adsorpsi, laju alir gas, temperatur gas, dan konsentrasi adsorbat dalam gas. Kolom adsorpsi dapat dikatakan jenuh ketika *mass transfer zone* telah mencapai ujung kolom yang ditandai dengan peningkatan konsentrasi adsorbate di *outlet* gas. (Design Guide,2001)

Dari gambar 9 di atas, pada tekanan 5 bar terlihat bahwa adsorben karbon aktif menyerap air dan menurunkan kadar air dalam gas bumi dari 35 lb/MMScf menjadi minimum sekitar 5-6 lb/MMScf, sedangkan mol sieve dapat menurunkan kadar air hingga 0.05 lb/MMScf. Kapasitas karbon aktif masih lebih kecil dibandingkan dengan mol sieve. Dengan berat adsorben yang sama, kadar air *outlet* karbon aktif bertahan hingga titik *breaktrogth time* (zona transfer massa) sekitar menit 1200 sedangkan mol sieve dapat mencapai menit ke 4000, dimana waktu setara dengan volume gas yang mengalir melewati adsorben.



Gambar 8
Kapasitas adsorpsi uap air vs. kelembaban relatif (GPSA,2004).



Gambar 9
Kadar air outlet adsorben vs. waktu.

Selanjutnya, kadar air *outlet* akan naik hingga karbon aktif akan jenuh pada menit 5000 hingga 5200, sedangkan mol sieve dapat jenuh pada menit 9000.

Proses regenerasi dan adsorpsi dilakukan sebanyak 3 kali untuk mengetahui kecepatan penurunan kemampuan adsorben dalam menyerap air. Dari percobaan yang dilakukan terjadi perubahan kapasitas karbon aktif untuk menyerap air dari 3.4% pada ulangan pertama menjadi 3.5% pada ulangan kedua, dan 3.3% pada ulangan ke tiga. Tidak ada perubahan yang nyata terhadap kapasitas karbon aktif setelah 3 kali mengalami siklus regenerasi-adsorpsi. Pengujian kemampuan adsorpsi dengan siklus yang lebih panjang diperlukan untuk mengetahui kecenderungan penurunan yang lebih akurat. Pemanasan dan tekanan rendah juga meningkatkan kapasitas gas regenerasi untuk mengeluarkan air dari adsorben keluar. Sebagai contoh, pada temperatur 25°C, kapasitas saturasi gas adalah 24 mg/L, sedangkan pada temperatur 200° C, kapasitas gas regenerasi adalah 234 mg/L atau hampir 10 kali lipatnya (GPSA 2004). Berdasarkan kedua pengujian diatas, dapat disimpulkan bahwa adsorben karbon aktif memiliki kapasitas yang besar untuk gas yang jenuh. Kapasitas dapat mencapai 50% berat karbon aktif dengan resiko karbon aktif hancur menjadi serbuk. Untuk gas yang tidak jenuh, kelembapan relatif (RH) kurang dari 10% pada pengujian ini, kapasitas dan laju adsorpsi karbon aktif jauh lebih kecil dibandingkan mol sieve.

Proses regenerasi dan adsorpsi dilakukan sebanyak 3 kali untuk mengetahui kecepatan penurunan kemampuan adsorben dalam menyerap air. Dari percobaan yang dilakukan terjadi perubahan kapasitas karbon aktif untuk menyerap air dari 3.4% pada ulangan pertama menjadi 3.5% pada ulangan kedua, dan 3.3% pada ulangan ke tiga. Tidak ada perubahan yang nyata terhadap kapasitas karbon aktif setelah 3 kali mengalami siklus regenerasi-adsorpsi. Pengujian kemampuan adsorpsi dengan siklus yang lebih panjang diperlukan untuk mengetahui trend penurunan yang lebih akurat. Disimpulkan bahwa adsorben karbon aktif memiliki kapasitas yang besar untuk gas yang jenuh. Kapasitas dapat mencapai 50% berat karbon aktif dengan resiko karbon aktif hancur menjadi serbuk.

IV. KESIMPULAN

Peningkatan kualitas dan kinerja karbon aktif untuk meminimalkan kadar air dalam gas bumi dilakukan dengan modifikasi dan inovasi berskala laboratorium dengan penggunaan bentonit dalam pembuatan adsorbennya.

Adanya penambahan KOH dan bentonit 20 % akan menurunkan nilai bilangan iodinnya. Hal ini berarti kemampuan adsorpsi fisika dengan pori adsorben menurun, tetapi diharapkan kemampuan adsorpsi kimianya meningkat karena permukaan adsorben telah dipenuhi gugus -OH.

Gugus fungsi dari adsorben karbon aktif tanpa dan dengan penambahan kalium hidroksida (KOH) pada sebelum dan setelah proses kalsinasi dapat ditunjukkan pada *spectra* FT-IR.

Kondisi proses yang baik untuk memperkirakan karakteristik pelet yang optimum memiliki komposisi binder/bentonit (20% b/b CA), dengan waktu kalsinasi 45 menit dan temperatur kalsinasi konstan pada 700°C serta bilangan iodine 1127.

Adsorben karbon aktif yang dibuat, mampu menyerap kadar air dalam gas bumi dari 35 Lb/MMScf menjadi sekitar 5-6 Lb/MMScf dengan kapasitas karbon aktif sekitar 10% berat. Dari proses regenerasi karbon aktif, tidak ada perubahan yang nyata terhadap kapasitas karbon aktif setelah 3 kali mengalami siklus regenerasi-adsorpsi. Kehilangan berat adsorben setelah pemakaian relatif masih cukup signifikan yaitu 0,5 % berat.

Adsorben karbon aktif memiliki kapasitas yang besar untuk gas yang jenuh dengan kapasitas mencapai 50% berat karbon aktif dengan resiko karbon aktif hancur menjadi serbuk. Untuk gas yang tidak jenuh, kelembapan relatif (RH) kurang dari 10%. Pada pengujian ini, kapasitas dan laju adsorpsi karbon aktif jauh lebih kecil dibandingkan mol sieve.

Diperoleh alternatif adsorben untuk meminimalkan kadar air dalam bahan bakar gas bumi dan dihasilkan penelitian yang bersifat inovatif terkait dengan peningkatan kualitas bahan bakar gas bumi yang berdampak pada nilai jual dan peningkatan faktor keselamatan.

KEPUSTAKAAN

B.H. Hameed, A.T.M.Din, A.L.Ahmad, 2007. Adsorption of methylene blue onto bamboo based activated carbon: Kinetics and Equilibrium Studies. ELSEVIER

Design Guide No 1110-1-2, 2001. "Adsorption Design Guide", Engineering and Design, Department of The Army U.S. Army Corps of Engineers, 1 March, 2001.

Dinesh, S. 2010. "Development And Characterization Of Pellet Activated Carbon from New Precursor," Thesis, Chemical Engineering, Department Of Chemical Engineering National Institute Of Technology Rourkela, 2010.

Eko Wiharto Setiawan dan Ade Lukman, 2001. "Pembuatan Pelet Karbon Aktif", Departemen

Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri - ITB, 2001

GPSA Engineering Data Book Errata, 2004. "Solid Desiccant Dehydration", 12th edition.

Hassan A.A.Farag, M.Mohamed Ezzat, H. Amer, A.W. Nashed, 2011. Natural Gas Dehydration by Desiccant Materials. Alexandria Engineering Journal, Volume 50, Issue 4, December 2011, pages 431-439.

John K. Brennan, Kendall T. Thomson, and Keith E. Gubbins, 2001. "Adsorption of Water in Activated Carbons: Effects of Pore Blocking and Connectivity"; Department of Chemical Engineering, North Carolina State University, April 1, 2002

Journal of Hazardous Material, Vol. 141, Issue 3, 22 March 2007, pages 819-825.

Kobayashi, J., T. Imamura, M. Ichikawa, M. Kubota, F. Watanabe, N. Kobayashi and M. Hasatoni, 2006. "Production of Activated Carbon for Water Vapor Adsorption by KOH and NaOH Activation", Kagaku Kogaku Ronbunshu, 32 pp 186 - 189, 2006

Lisna R, Yayun A, Nata P dkk, 2014. "Kajian Rancangan Standar nasional Indonesia (RSNI) Spesifikasi CNG untuk Kendaraan Bermotor". Laporan Akhir DIPA TA 2014 Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS" Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Maria Spiridon, Oana-Roxana Hauta¹*, Marius Sebastian Secula, Stelian Petrescu Tuiasi; 2012. "Preparation and Characterization of Some Porous Composite Materials for Water Vapor Adsorption". Faculty of Chemical Engineering and Environmental Protection, Department of Chemical Engineering, Romania, REV. CHIM. (Bucharest) ♦ 63♦ No. 7, 2012.

Shimooka, S. M. Yamazaki, T. Tawetaki, 2007. "Improvement water adsorptivity of activated carbon for adsorption heat pump by hydrophilic treatment", Proceedings of International Symposium on Eco Topia Scienci, 2007

Shimooka, S. M. Yamazaki, T. Tawetaki, 2006. "Development of hydrophilic Active Carbon for High Performance Adsorption Heat Pump", Kagaku Kogaku Ronbunshu, 32 pp 528 -534, 2006