

Rancang Bangun Adsorben Komponen Korosif Gas Bumi

Festi Irmayani, Taryono dan Paramita Widiastuti

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

Email: festi@lemigas.esdm.go.id; paramitaw@lemigas.esdm.go.id; taryono@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 6 Februari 2013; Diterima setelah perbaikan tanggal 17 April 2013

Disetujui terbit tanggal: 30 April 2013

ABSTRAK

Gas H_2S dan CO_2 merupakan senyawa impuritis gas bumi yang disamping bersifat korosif dan dapat merusak peralatan, kedua senyawa tersebut juga dapat menurunkan kualitas gas bumi terutama nilai kalorinya. Kegiatan penelitian rancang bangun adsorben berupa karbon aktif ini bertujuan untuk menyerap impuritis gas H_2S dan CO_2 sehingga terpisah dari gas bumi. Proses aktivasi karbon merupakan tahap yang sangat penting untuk mendapatkan karbon aktif dengan karakter yang sesuai yang dapat menyerap adsorbat gas yang diinginkan. Untuk itu dalam penelitian ini dilakukan proses re-aktivasi kimia karbon aktif komersial dengan kualitas rendah untuk menghasilkan karbon aktif dengan kualitas yang baik dengan kapasitas adsorpsi gas yang tinggi. Pembuatan rancang bangun peralatan uji juga dilakukan untuk menguji unjuk kerja adsorben dalam mengadsorpsi gas CO_2 dan H_2S . Dari keseluruhan pengujian, disimpulkan bahwa karbon aktif yang memiliki karakteristik paling baik adalah karbon aktif AC4 dengan ukuran $-50/+70$ mesh yang diimpregnasi dengan KI sehingga mampu menyerap gas CO_2 dengan efisiensi adsorpsi sebesar 50% dan menyerap gas H_2S dengan efisiensi adsorpsi sebesar 100%.

Kata Kunci: adsorpsi, karbon aktif, aktivasi, adsorpsi H_2S , adsorpsi CO_2

ABSTRACT

H_2S and CO_2 gasses are impurities compound of natural gas which are corrosive and can damage the equipment. Those two compounds can also reduce the quality of natural gas, primarily its caloric value. Research activities of adsorbent design is intended to adsorb H_2S and CO_2 gas impurities. Therefore they could be separated from natural gas. Carbon activation process is an important stage to obtain activated carbon with a suitable character which can adsorb the desired adsorbate gas. Hence, in this research, the chemical re-activation of commercial activated carbon with low quality is conducted to produce activated carbon with good quality and high gas adsorption capacity. Engineering design of testing equipment also has been done to test the adsorbent performance in adsorbing CO_2 and H_2S . From all the testing, it was concluded that activated carbon AC4 has the best characteristic compare to the others. AC4 which has size $-50 / +70$ mesh and impregnated with KI is able to adsorb CO_2 gas with 50% adsorption efficiency and adsorb H_2S gas with 100% adsorption efficiency.

Keywords: adsorption, activated carbon, activation, H_2S adsorption, CO_2 adsorption

I. PENDAHULUAN

Dalam rangka pemenuhan kebutuhan gas di Indonesia, beberapa tahun terakhir ini telah dilakukan pengembangan dan produksi gas dengan kandungan gas H_2S dan CO_2 yang relatif tinggi. Beberapa lapangan gas seperti Natuna mengandung CO_2

mencapai 70%, begitu juga lapangan lain seperti milik PT. Pertamina PPGJ dan Matindok mengandung 4 - 20 % CO_2 . Gas H_2S dan CO_2 merupakan senyawa impurities yang ada dalam gas bumi. Disamping bersifat korosif dan dapat merusak peralatan, kedua senyawa tersebut juga dapat menurunkan kualitas

gas bumi terutama nilai kalorinya. Apabila tidak ditangani secara baik, maka akan menyebabkan gangguan yang serius dan tingginya biaya kegiatan operasi produksi gas bumi. Dari data yang ada total biaya langsung penanganan korosi pada industri minyak dan gas bumi di Indonesia adalah sekitar 1,5 milyar US dollar pertahun.

Teknologi pemisahan komponen korosif gas bumi ada beberapa yang telah diaplikasikan di lapangan, khususnya di Indonesia digunakan teknologi sistem *amine*. Dibandingkan dengan sistem *amine*, teknologi adsorben sangat menjanjikan karena mempunyai kelebihan dibanding sistem *amine*, yaitu mampu menyerap/memisahkan air dan gas korosif dalam satu tahap sehingga pada aplikasinya tidak lagi memerlukan unit dehidrasi sehingga dapat menurunkan biaya operasi dan menghemat energi. Selain itu, adsorben memiliki kestabilan yang tinggi dan tidak mudah terdegradasi. Adsorben yang telah jenuh dapat diregenerasi untuk dapat digunakan kembali sehingga memiliki umur pakai yang lama.

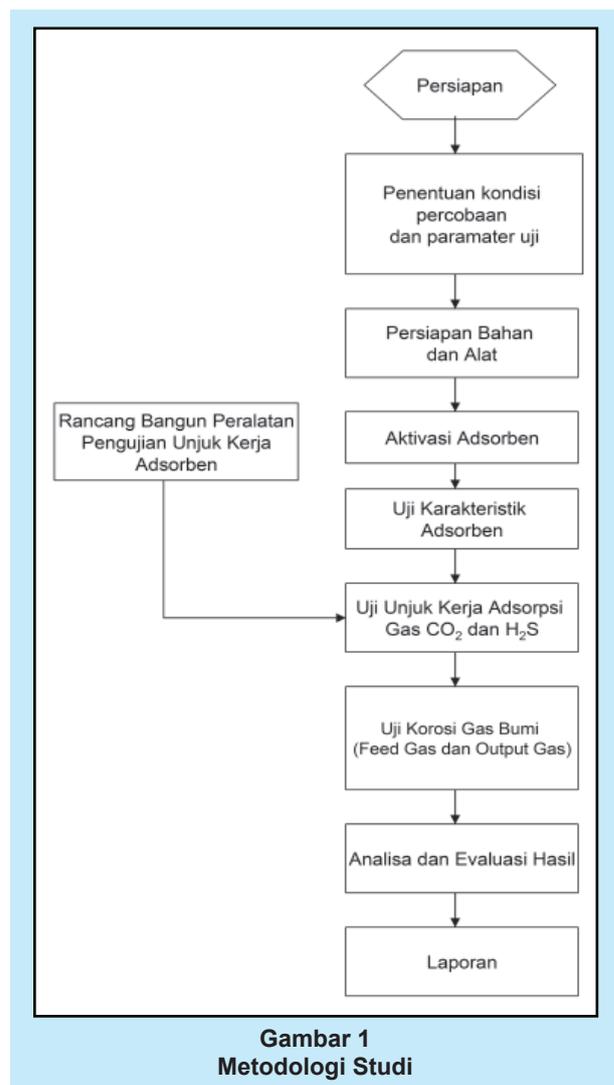
Dalam kegiatan rancang bangun adsorben ini, bahan baku karbon yang digunakan adalah karbon aktif komersial dengan kualitas rendah yang berasal dari tempurung kelapa. Pemilihan bahan baku dari tempurung kelapa ini didasarkan pada ketersediaan tempurung kelapa yang melimpah di Indonesia dan karbon dari tempurung kelapa mempunyai sifat lebih keras dibandingkan karbon dari batubara. Selain itu mempunyai sifat erosi/kehilangan berat yang lebih rendah dan mempunyai *yield* yang lebih tinggi ketika di reaktivasi. Memiliki umur pakai yang lama dan efisiensi penyerapan yang tinggi. Selain itu, jika teknologi adsorben ini bisa diterapkan di lapangan, maka akan membantu dalam mengurangi emisi gas karbon dalam rangka mewujudkan komitmen peran serta Indonesia dalam masalah pemanasan global.

Pada kajian ini dilakukan kajian teknis dan rancang bangun adsorben untuk menghilangkan senyawa impuritis penyebab korosi dalam gas bumi. Adapun tujuan yang hendak dicapai dari kegiatan ini adalah terciptanya teknologi pengendalian korosi baru yang di masa datang dapat diaplikasikan di lapangan sehingga dapat mengurangi biaya pemeliharaan dan pengendalian korosi serta kerusakan fasilitas peralatan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi dari studi ini antara lain adalah persiapan, penentuan kondisi percobaan dan parameter uji, aktivasi adsorben, rancang bangun peralatan *adsorben bed*, pengujian laboratorium, dan evaluasi.

Pada kegiatan ini dilakukan kajian mengenai metode yang tepat untuk rancang bangun adsorben, sekaligus perancangan *adsorben bed* sebagai alat uji unjuk kerja adsorben. Dari adsorben yang telah dibuat, kemudian diuji dengan alat yang telah dirancang untuk mengetahui unjuk kerja adsorpsinya. Selain itu juga dilakukan uji laboratorium untuk melihat karakter/sifat-sifat dari karbon aktif tersebut. Dari data-data laboratorium yang diperoleh kemudian dievaluasi. Diagram alir metodologi diperlihatkan oleh Gambar 1.



Gambar 1
Metodologi Studi

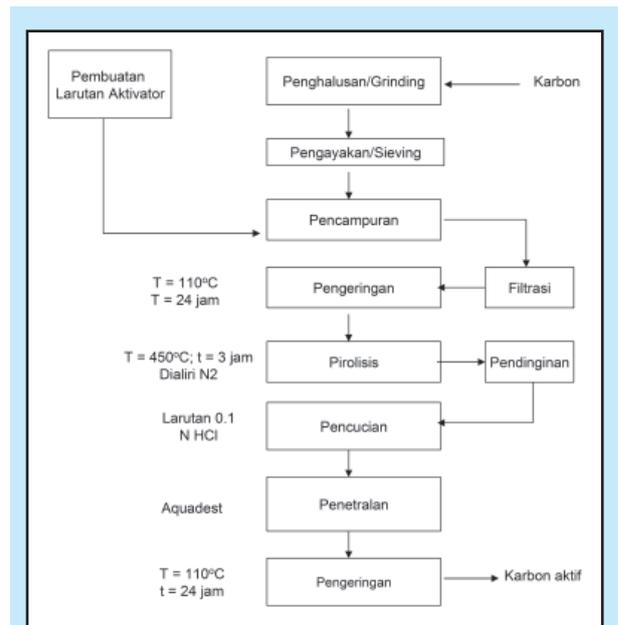
III. AKTIVASI ADSORBEN KOMPONEN KOROSIF

Proses aktivasi karbon merupakan proses yang sangat penting untuk mendapatkan karbon aktif yang sesuai yang dapat menyerap adsorbat gas yang diinginkan. Sesuai dengan tujuan kegiatan ini yaitu rancang bangun komponen korosif gas bumi dengan pembatasan pada gas CO₂ dan H₂S, maka adsorben yang digunakan dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menyerap gas CO₂ dan H₂S. Dalam penelitian ini, adsorbat yang ingin dihilangkan dari gas bumi berjumlah lebih dari satu senyawa yaitu pemisahan CO₂ dan H₂S dari gas BBG. Dalam proses penyerapan gas CO₂ dari gas BBG, akan sangat dipengaruhi oleh ukuran pori. Ukuran molekul CO₂ < komponen gas BBG, sehingga ukuran pori karbon aktif yang akan digunakan untuk menyerap CO₂ harus lebih besar dari ukuran CO₂ dan sedikit lebih besar dari ukuran molekul gas BBG (CH₄) sehingga molekul gas CO₂ akan terserap sedangkan molekul gas CH₄ tidak akan terserap ke dalam mikropori karbon aktif. Mekanisme adsorpsi ini merupakan mekanisme sterik dimana molekul dengan ukuran lebih kecil dari ukuran pori adsorben yang akan diserap, sedangkan ukuran molekul yang lebih besar tidak akan terserap.

Dalam penelitian ini dilakukan proses re-aktivasi kimia dari karbon aktif komersial yang berkualitas rendah untuk menghasilkan karbon aktif dengan kualitas yang lebih baik dengan kapasitas adsorpsi gas yang tinggi. Proses aktivasinya meliputi penghalusan dan pengayakan karbon agar didapat karbon dengan ukuran butir yang seragam dilanjutkan dengan impregnasi dengan agen aktivator. Agen aktivator yang digunakan adalah asam fosfat dan kalium iodide. Asam phosphate dipilih karena asam fosfat mampu menghasilkan karbon aktif dengan volume mikropori yang lebih besar yang memang sangat dibutuhkan dalam adsorpsi gas. Sedangkan kalium iodida dipilih karena selain dapat mempercepat laju reaksi oksidasi H₂S juga karena kalium iodida dapat menghambat pembentukan asam sulfat yang merupakan produk samping yang tidak diinginkan. Setelah proses impregnasi, campuran karbon dan aktivator kemudian difiltrasi dan dikeringkan.

Proses selanjutnya yaitu pirolisis pada suhu 450°C selama 3 jam dengan dialiri gas nitrogen secara kontinyu untuk membuang gas-gas yang terbentuk. Kemudian dilakukan pencucian dengan menggunakan larutan asam untuk menghilangkan

mineral-mineral yang menempel serta dibilas dengan *aquadest* hingga pH netral. Setelah itu dikeringkan selama 24 jam dalam oven pada suhu 100°C, dan karbon aktif yang diperoleh siap digunakan untuk pengujian karakterisasi dan uji adsorpsi. Keseluruhan tahapan pada proses aktivasi tersebut digambarkan dengan blok diagram seperti berikut.



Gambar 2
Proses aktivasi karbon

Dalam proses aktivasi ini digunakan variasi ukuran karbon dan variasi agen pengaktivasi dan variasi konsentrasi. Berikut ini merupakan tabel dari variasi karbon aktif yang dihasilkan.

Karbon aktif yang didapat kemudian dikarakterisasi untuk melihat kandungan karbon, kandungan abu, dan material *volatile*. Selain itu juga dilakukan uji adsorpsi isotherm untuk melihat kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap gas CO₂ pada suhu 30°C.

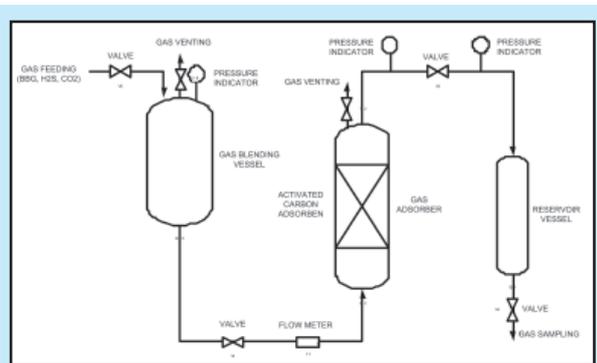
IV. HASIL RANCANG BANGUN PERALATAN PENGUJIAN UNJUK KERJA ADSORBEN

Peralatan pengujian dibutuhkan untuk mengetahui unjuk kerja adsorben. Uji adsorpsi karbon aktif terhadap *impurities* gas bumi dilakukan dengan mencampurkan gas yang terdiri dari gas BBG, gas CO₂, dan gas H₂S ke dalam tabung *blending*. Dari tabung *blending* kemudian gas dialirkan ke dalam

Tabel 1
Varian adsorben dan aktivator

No	Adsorben	Bahan Pengaktivasi	Ukuran Butir	Aktivasi		Perlakuan Panas	
				Suhu (°C)	Lama	Suhu (°C)	Lama
1	Activated Carbon (AC) 1	-	-20/+28 mesh	-	-	-	-
2	Activated Carbon (AC) 2	H ₃ PO ₄ 35%	-50/+70 mesh	85	3 jam	450	3 jam
3	Activated Carbon (AC) 3	H ₃ PO ₄ 35%	-20/+28 mesh	85	3 jam	450	3 jam
4	Activated Carbon (AC) 4	KI 3% berat	-50/+70 mesh	85	3 jam	450	3 jam
5	Activated Carbon (AC) 5	H ₃ PO ₄ 50%	-50/+70 mesh	28	3 hari	450	3 jam

kolom adsorber yang di dalamnya berisi karbon. Rangkaian peralatan uji unjuk kerja adsorpsi dari karbon aktif dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3
Skema rangkaian alat uji kinerja adsorben

Peralatan hasil dari rancangan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4 a dan b di bawah ini.

V. PEMBAHASAN HASIL UJI DAN ANALISA

A. Uji Karakterisasi

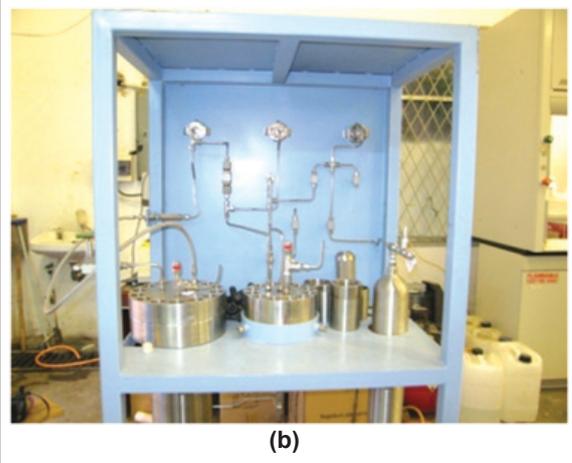
Karbon aktif yang diperoleh perlu dikarakterisasi untuk mendapatkan karbon aktif dengan kualitas terbaik serta uji performa dalam penyerapannya terhadap gas CO₂ dan H₂S. Uji karakterisasi tersebut meliputi uji *proximate analysis* dan uji adsorpsi isotherm.

1. Uji Proximate Analysis

Uji *proximate analysis* dimaksudkan untuk mengetahui % *fixed carbon* yang ada dalam karbon aktif dan juga % pengotornya yang antara lain berupa % *volatiles*, % *ash content*, dan % *moisture air dried*. Dari hasil *proximate analysis* terhadap sampel AC2, AC4 dan AC5, hasil analisisnya dapat dilihat pada tabel berikut.



(a)



(b)

Gambar 4
Perangkat peralatan pengujian unjuk kerja adsorben komponen korosif

Tabel 2
Hasil Proximate Analysis AC2, AC4, dan AC5

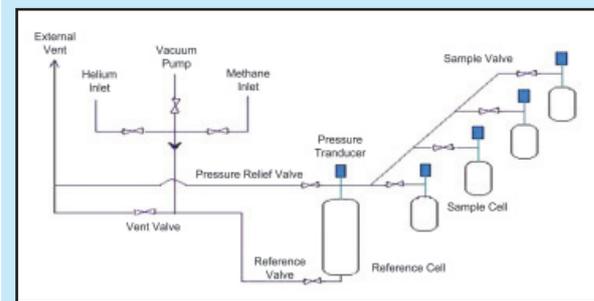
Deskripsi Tes	AC 2	AC4	AC 5
Moisture air dried, %	12.39	0.00	7.36
Volatiles, %	12.28	16.79	12.81
Fixed Carbon, %	56.95	75.88	66.29
Ash Content, %	18.37	7.33	13.54
Density, g/cm ³	1.265	1.228	1.171

Berdasarkan hasil uji *proximate analysis* karbon aktif, dapat dilihat bahwa *ash content* paling banyak berturut-turut adalah AC2 dengan 18.37%, disusul AC5 dengan 13.54%, dan AC4 dengan 7.33%. Sedangkan *ash content* merupakan pengotor yang seharusnya seminimal mungkin jumlahnya dalam suatu karbon aktif karena semakin sedikit *ash content* maka semakin tinggi kapasitas adsorpsinya. Sedangkan % *fixed carbon* dimulai dari yang paling banyak adalah AC4 dengan 75.88%, disusul AC5 dengan 66.29%, dan terakhir AC2 dengan 56.95%. Sedangkan semakin banyak % *fixed carbon* suatu karbon aktif maka semakin besar molekul karbon yang dapat menyerap gas. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa kualitas karbon AC4 paling baik dibandingkan AC2 dan AC5.

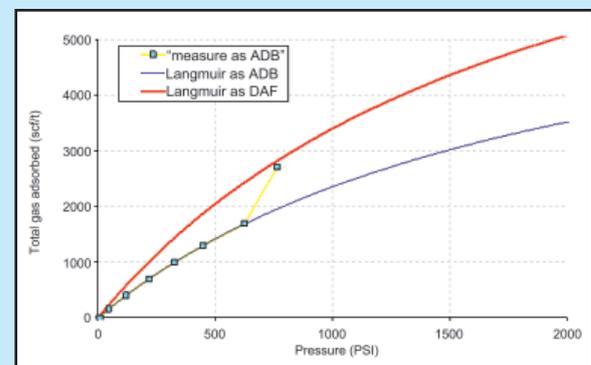
2. Hasil Uji Adsorpsi Komponen Korosif Gas Bumi

Uji adsorpsi isotherm dilakukan berdasarkan metode manometrik untuk memperkirakan kapasitas penyerapan dari karbon aktif sebagai fungsi dari tekanan. Dengan kata lain adsorpsi isotherm mewakili hubungan antara massa/volume dari gas yang teradsorpsi dengan tekanan gas bebas. Pada metode ini, kesetimbangan massa dari gas yang diserap/diadsorpsi secara tidak langsung diukur dengan mengukur variasi tekanan gas pada *cell* sebelum dan sesudah penjuenan dengan karbon aktif oleh gas CO₂. Sistem perhitungan volumetrik isotherm menggunakan metode tekanan-volume untuk menghasilkan adsorpsi isotherm. Gambar di bawah ini menunjukkan diagram skematik dari peralatan adsorpsi isotherm dimana *cell* sampel diletakkan di *water bath* dengan pengaturan *temperature* hingga 120°C.

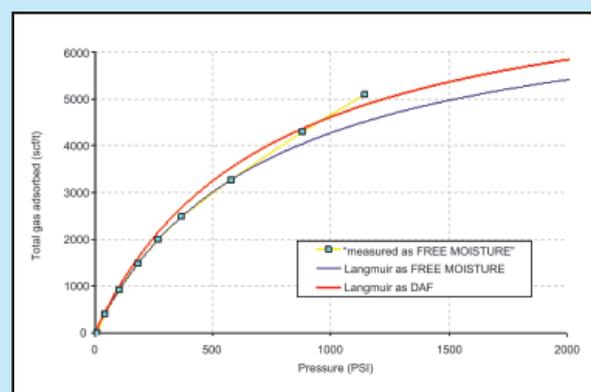
Uji adsorpsi isotherm dilakukan pada karbon aktif AC2, AC4 dan AC5. Hasil ujinya ditunjukkan pada dua grafik di bawah ini.



Gambar 5
Diagram skematik dari peralatan adsorpsi Isotherm



Gambar 6
Grafik CO₂ Isotherm AC2 pada 30°C basis ADB-DAF



Gambar 7
Grafik CO₂ Isotherm AC4 pada 30°C Basis ADB-DAF

Sedangkan parameter Langmuir yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Dari grafik dan tabel di atas, dengan menggunakan persamaan adsorpsi isotherm Langmuir, diperoleh

bahwa kapasitas adsorpsi AC2, AC4 dan AC5 untuk menyerap gas CO₂ pada tekanan 15 Psia berturut-turut adalah sebesar 52, 159 dan 105 scf/t. Sedangkan kapasitas adsorpsi maksimum pada tekanan operasi, seperti terlihat di tabel, AC2 mampu menyerap hingga 6.943 scf/t pada tekanan 1.954 Psia. Sedangkan AC4 mampu menyerap gas CO₂ sebesar 7.361 scf/t pada tekanan 720 Psia. AC5 hanya mampu menyerap 2.575 scf/t pada tekanan 346 Psi. Karbon aktif yang bagus adalah karbon aktif yang mempunyai kapasitas penyerapan tinggi pada tekanan rendah. Dari hasil ini diketahui bahwa AC4 mempunyai kemampuan penyerapan yang lebih baik daripada AC2 dan AC5. Hal ini dikarenakan karena AC4 memiliki kandungan *fixed carbon* paling tinggi dan kandungan *ash*/ pengotor paling rendah dibandingkan yang lain.

B. Uji Unjuk Kerja Adsorpsi Gas CO₂ dan H₂S

Pengujian unjuk kerja adsorpsi gas CO₂ dan H₂S dilakukan dengan menggunakan peralatan pengujian yang dirancang sesuai dengan Gambar 3 dan 4 di atas. Komposisi gas yang ada di tabung *blending* pada peralatan unjuk kerja adsorben (*feed gas*) dan gas yang ada di tabung reservoir dianalisa dengan menggunakan alat *gas chromatography*. Dari hasil uji komposisi gas, hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4,5 dan 6 di bawah ini.

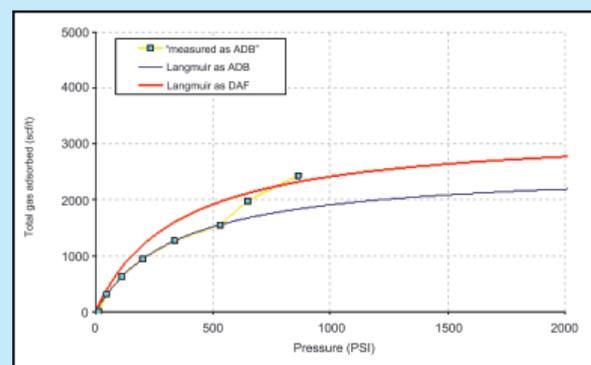
Dari hasil uji komposisi gas di atas dapat disimpulkan bahwa karbon aktif AC2, AC4, dan AC5, mampu menurunkan kadar H₂S dalam campuran gas secara signifikan. Dari konsentrasi 76,1349 ppmv dan 61,0139 ppmv menjadi tidak terdeteksi atau hanya

tersisa 0,0104 ppmv. Sedangkan untuk adsorpsi CO₂ juga terjadi penurunan yaitu dari 20,3553% mol menjadi 17,4272% mol setelah diserap oleh AC2 (tereduksi sekitar 2,9%mol), dan menjadi 10,2706% mol setelah diserap oleh AC4 (tereduksi sekitar 10,08%mol). Penyerapan oleh AC5 juga mampu menurunkan konsentrasi gas CO₂ dari 17,0024% mol menjadi 14,112% mol (tereduksi sekitar 2.9%mol).

Dari hasil uji adsorpsi ketiga karbon aktif, dapat disimpulkan bahwa karbon aktif yang dapat menyerap

Tabel 3
Hasil Langmuir parameter karbon aktif

Karbon Aktif	VL (SCF/T)	PL (Psia)
AC2	6943	1954
AC4	7361	720
AC5	2575	346



Gambar 8
Grafik CO₂ Isotherm AC5
pada 30°C Basis ADB-DAF

Tabel 4
Komposisi Gas Feed dan Gas setelah diadsorp oleh AC2

Komposisi Gas	Feed Gas (%mol)	Setelah diadsorp AC2 (%mol)	Efisiensi Adsorpsi (%)
Nitrogen	4,6228	4,9240	
Karbondioksida	20,3553	17,4272	14.38
Metana	71,0633	73,5089	
Etana	2,2677	2,5196	
Propana	1,1767	1,1493	
Iso Butana	0,2221	0,2157	
N- Butana	0,2229	0,1966	
Iso Pentana	0,0692	0,0587	
N- Pentana	0,0000	0,0000	
Heksana plus	0,0000	0,0000	
Hidrogen sulfida (H₂S)	76,1349 ppmv	Tidak terdeteksi	100

Tabel 5
Komposisi Gas Feed dan Gas setelah diadsorp oleh AC4

Komposisi Gas	Feed Gas (%mol)	Setelah diadsorp AC4 (%mol)	Efisiensi Adsorpsi (%)
Nitrogen	4,6228	14,5804	
Karbondioksida	20,3553	10,2706	49.54
Metana	71,0633	72,3459	
Etana	2,2677	1,3689	
Propana	1,1767	1,0101	
Iso Butana	0,2221	0,2184	
N- Butana	0,2229	0,1547	
Iso Pentana	0,0692	0,0509	
N- Pentana	0,0000	0,0000	
Heksana plus	0,0000	0,0000	
Hidrogen sulfida (H₂S)	76,1349 ppmv	Tidak terdeteksi	100

Tabel 6
Komposisi Gas Feed dan Gas setelah diadsorp oleh AC5

Komposisi Gas	Feed Gas (%mol)	Setelah diadsorp AC5 (%mol)	Efisiensi Adsorpsi (%)
Nitrogen	7,0149	11,2169	
Karbondioksida	17,0024	14,1122	17.00
Metana	71,8907	71,1800	
Etana	2,5274	2,3376	
Propana	1,1159	0,8411	
Iso Butana	0,2033	0,1846	
N- Butana	0,1918	0,0940	
Iso Pentana	0,0535	0,0337	
N- Pentana	0,0000	0,0000	
Heksana plus	0,0000	0,0000	
Hidrogen sulfida (H₂S)	61,0139 ppmv	0,0104	99.98

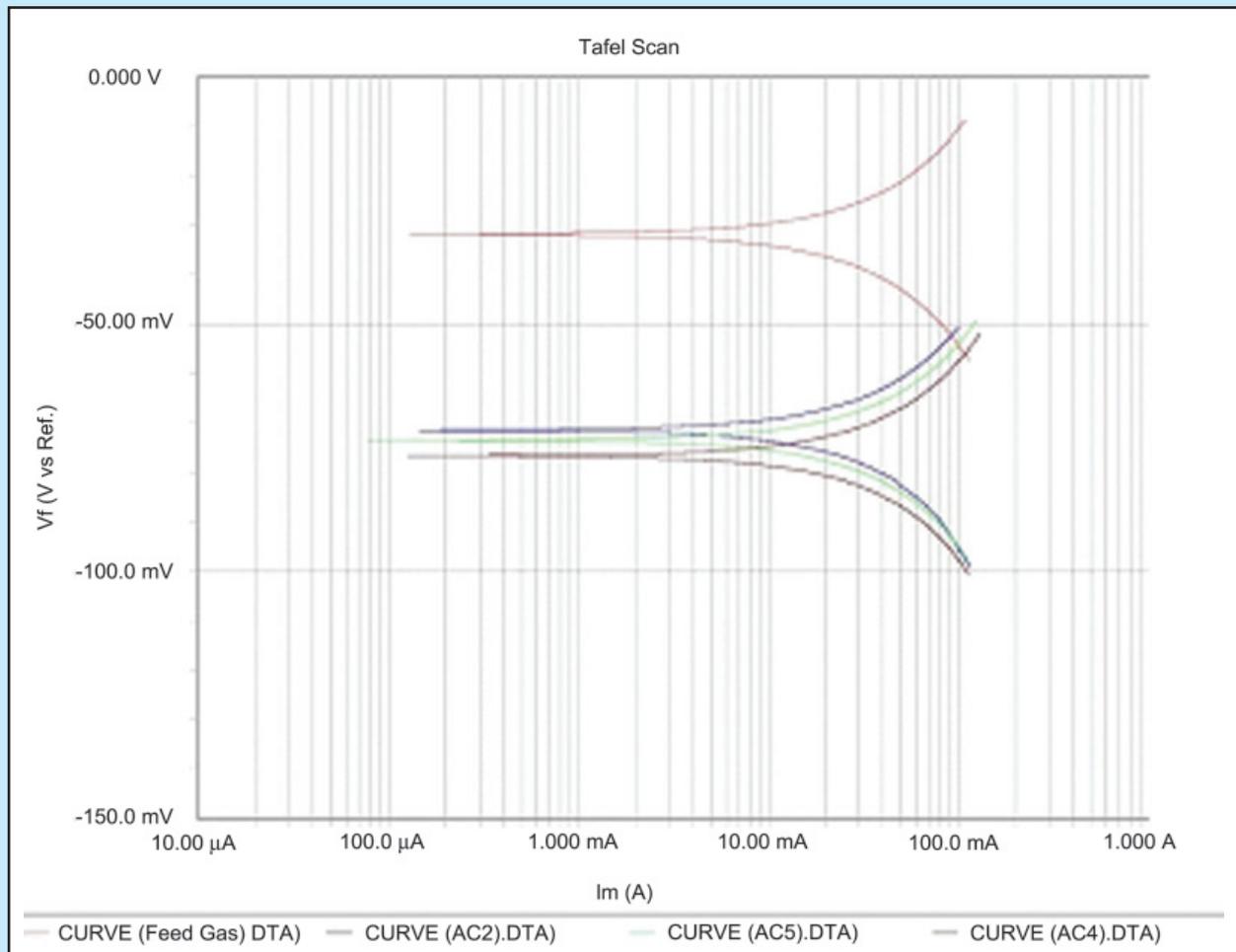
gas CO₂ dan H₂S dengan baik adalah AC4. Sedangkan kedua karbon aktif yang lain hanya bagus dalam penyerapan gas H₂S, tetapi kurang dapat menyerap gas CO₂ terbukti dengan penurunan konsentrasi gas CO₂ yang relatif kecil.

C. Uji Korosi

Komposisi gas sebelum dan sesudah melewati kolom adsorber kemudian dianalisa laju korosinya secara elektrokimia dengan menggunakan alat uji

korosi DC 105 *Corrosion Monitoring System*, dengan fluida yang digunakan adalah 10.000 ppm Cl⁻ dengan menggunakan *specimen CS 1018*. Hasil uji korosi gas sebelum dan sesudah dilewatkan kolom adsorber dapat dilihat pada grafik Tafel berikut.

Dari hasil uji korosi diketahui bahwa laju korosi fluida awal adalah sebesar 616,9 mpy. Sedangkan laju korosi sesudah dilewatkan adsorber karbon aktif berkurang menjadi 488,3 mpy. Penurunan ini disebabkan karena berkurangnya komponen



Gambar 9
Grafik Tafel Scan hasil uji korosi Feed Gas sebelum dan sesudah diadsorpsi oleh karbon aktif

korosif setelah diadsorp oleh karbon aktif, sesuai dengan hasil analisis gas menggunakan alat *Gas Chromatography*.

V. KESIMPULAN

1. Rancang bangun adsorben karbon aktif yang dihasilkan telah mampu memisahkan senyawa *impurities* gas bumi yaitu dengan menyerap/mengadsorp gas CO₂ dan H₂S.
2. Dari hasil rancang bangun adsorben didapat karbon aktif dengan kualitas terbaik yaitu AC4 dengan:
 - Kapasitas gas CO₂ terserap 7361 scf/t pada tekanan 720 Psi.
 - Dari uji efektivitas adsorpsi AC4 mampu menyerap *gas feed* dengan efisiensi adsorpsi



Gambar 10
Grafik laju korosi sebelum dan sesudah diadsorpsi oleh karbon aktif

50% untuk gas CO₂ yang semula kandungan CO₂ pada *feed gas* 20,35% mol menjadi 10,27% mol setelah proses adsorpsi. Sedangkan adsorpsi H₂S hingga 100%. Pada *feed gas*, kandungan H₂S adalah 76,13 ppmv kemudian menjadi tidak terdeteksi setelah proses adsorpsi.

VI. SARAN

Rancang bangun karbon aktif untuk penyerapan gas CO₂ dan gas H₂S sangat bagus untuk terus dikembangkan sehingga nantinya akan diperoleh karbon aktif dengan kapasitas adsorpsi gas *impurities* yang semakin besar.

KEPUSTAKAAN

1. **Baker FS, Miller CE, Repik AJ, Tollens ED.** 1997. Activated carbon. Encyclopedia of Separation Technology, Volume 1 (A Kirk-Othmer Encyclopedia). New York: J Wiley.
2. **Duong D. Do,** Adsorption Analysis: Equilibria And Kinetics.
3. **F. Rouquerol J. Rouquerol & K. Sing,** Adsorption by Powders and Porous Solids Principles, Methodology and Applications.
4. **Harry Marsh, Francisco Rodriguez Reinoso,** 2006, "Activated Carbon," Elsevier Science & Technology.
5. **Milan Smisek, Slavoj Cerny,** 1970, Active Carbon, Manufacture, Properties and Applications.
6. **Motoyuki Suzuki,** 1990, Adsorption Engineering.
7. **Philip A. Schweitzer,** 1997, "Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers, McGraw-Hill Professional.
8. **Ralph T. Yang,** 2003, Adsorbents: Fundamental and Applications.
9. **Satish M Manocha,** 2003, "Porous carbons", Sadhana Vol. 28, Parts 1 & 2, pp. 335–348.
10. **Setyaningsih H.** 1995. Pengolahan limbah batik dengan proses kimia dan adsorpsi karbon aktif [tesis]. Jakarta: Program Pascasarjana, Universitas Indonesia.
11. **Stephen Boppart,** Impregnated Carbons for The Adsorption of H₂S and Mercaptans, Norit Americas Inc.