

# Optimalisasi Kinerja Pilot Plant Adsorber Merkuri Untuk Gas Bumi

## Performance Optimization Of Mercury Adsorber Pilot Plant For Natural Gas

Lisna Rosmayati, Yayun Andriani, Nofrizal dan Nata P

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: lisnar@lemigas.esdm.go.id; yayuna@lemigas.esdm.go.id;

nofrizal\_nof@lemigas.esdm.go.id; pringgasta@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 24 Januari 2014; Diterima setelah perbaikan tanggal 10 Maret 2014

Disetujui terbit tanggal: 30 April 2014

### ABSTRAK

Pengujian optimalisasi kinerja adsorber *mercury removal* bertujuan untuk menghitung seberapa besar penurunan tekanan dalam sistem (*pressure drop*), menghitung besarnya efisiensi penyerapan dari adsorben dan menghitung masa pakai (*life time*) adsorben. Efisiensi penyerapan tergantung pada jenis adsorben (karbon aktif) dan akan mempengaruhi waktu tinggal merkuri serta besarnya penurunan tekanan sistem (*pressure drop*). *Impregnant* ( $ZnCl_2$ ) berpengaruh pada masa pakai (*life time*) dan waktu tinggal. Kapasitas penyerapan adsorben karbon aktif tempurung kelapa adalah 0,124 Kg-Hg/Kg-Carbon. Jadi untuk 1 kg adsorben karbon aktif tempurung kelapa yang telah diaktifasi, mampu menyerap merkuri dalam gas bumi sebesar 0,124 kg Hg. Untuk efisiensi penyerapan, diperoleh rata-rata efisiensi penyerapan karbon aktif tempurung kelapa terhadap merkuri dalam gas bumi di titik *inlet* dan *outlet* adsorber adalah 95,74 %. Hasil kegiatan penelitian optimalisasi kinerja adsorber *pilot plant* merkuri *removal* gas bumi diperoleh karakteristik adsorben merkuri yang meliputi bilangan iodin rata-rata 889 mg/gram, luas permukaan adsorben setelah aktivasi fisika 1052 m<sup>2</sup>/g, setelah aktivasi kimia 724 m<sup>2</sup>/g, impregnasi klor 4,39 % dan parameter uji yang mewakili spesifikasi adsorber meliputi *pressure drop* 1,7526 psig/ft, kapasitas penyerapan 0,124 kg-Hg/kg-carbon, adsorben dan masa pakai (*lifetime*) adsorbennya adalah 28 tahun.

**Kata Kunci:** Optimalisasi, *Pilot Plant*, Mercury

### ABSTRACT

*Optimization testing of Mercury removal Pilot Adsorber has purpose to calculate the pressure drop of the system, to calculate the efficiency of adsorbent adsorption and to calculate the life time of adsorbent. Adsorption efficiency depend on the type of adsorbent and will influence the life time of mercury in the adsorbent and the pressure drop of the system. While the impregnant of  $ZnCl_2$ , influence on the life time. Adsorption capacity of carcoal carbon active adsorbent is 0,124 Kg-Hg/Kg-Carbon. So, for 1 kg carcoal carbon active adsorbent which has activated, the adsorbent capable to adsorp the mercury in natural gas are 0,124 kg Hg. The active carbon adsorbent, average of the efficiency adsorbent for mercury in the natural gas at adsorber inlet and adsorber outlet are 95,74 %. The result of research activities of pilot plant adsorber optimization of mercury removal comprise average of iodine number is 889 mg/gram, surface area of adsorbent after physical activation is 1052 m<sup>2</sup>/g, after chemical activation is 724 m<sup>2</sup>/g, chlor impregnation is 4,39 % and testing variable of pressure drop 1,7526 psig/ft, adsorption capacity is 0,124 kg-Hg/kg-carbon, and lifetime of adsorbent is 28 years.*

**Keywords:** Optimization, *Pilot Plant*, Mercury.

## I. PENDAHULUAN

Merkuri di dalam gas bumi dapat mengganggu proses produksi dan bersifat korosif terhadap fasilitas pengolahan, peralatan dalam gas *processing plant*, merusak fasilitas jaringan pipa distribusi dan transmisi gas bumi yang akhirnya menimbulkan kerugian ekonomi yang tidak sedikit serta dapat mengakibatkan pencemaran pada lingkungan (Crippen 1997, Spiric 2001).

Kerusakan yang diakibatkan oleh kandungan merkuri dalam gas bumi berlangsung melalui beberapa mekanisme, antara lain membentuk merkuri amalgam yaitu merkuri yang berinteraksi dengan beberapa jenis logam, termasuk aluminium, tembaga, brass, seng, kromium, besi, dan nikel. Ketika bentuk amalgam ini berikatan dengan komponen logam, maka akan terjadi korosi pada peralatan (Corvini 2002)

Optimalisasi Kinerja Pilot *Plant* Adsorber *Mercury Removal* untuk gas bumi sangatlah penting sebagai aplikasi langsung di lapangan dalam mewujudkan usaha peningkatan kualitas gas bumi dan mendapatkan alternatif adsorben *mercury removal* dalam gas bumi yang dapat diterapkan langsung oleh industri Migas. Kegiatan penelitian Optimalisasi Kinerja Pilot *Plant* Adsorber *Mercury Removal* ini menggunakan adsorben berbahan dasar tempurung kelapa, karena Indonesia merupakan salah satu negara produsen kelapa yang cukup besar dan memiliki nilai ekonomis dengan mengolah tempurung kelapa tersebut menjadi karbon aktif (Sudradjat 1991).

Penggunaan karbon aktif sebagai adsorben di Indonesia juga telah digunakan secara luas di berbagai sektor industri. Dalam industri minyak dan gas bumi, karbon aktif sebagai adsorben telah digunakan dalam meningkatkan kualitas produk migas di Indonesia. Secara umum, karbon aktif komersial dapat digunakan untuk menangkap merkuri baik dalam gas bumi (*natural gas*) ataupun gas buang, tetapi masih memiliki daya serap yang rendah, sehingga harus dimodifikasi untuk memaksimalkan kemampuan penyerapannya (Suryadi 2011). Oleh karena itu, memodifikasi permukaan karbon dibutuhkan untuk menambah kemampuan

penyerapan khususnya untuk menangkap merkuri (Hg) yang terkandung dalam gas bumi (Sudradjat 1991).

Kegiatan Optimalisasi Kinerja Pilot *Plant* Adsorber *Mercury Removal* dalam gas bumi ini, dilakukan dengan maksud menghasilkan sebuah penelitian yang inovatif sehingga dapat memberikan kontribusi langsung terhadap peningkatan mutu produksi gas bumi di Indonesia. Penelitian itu mencakup pembuatan adsorben yang dapat menyerap merkuri dalam gas bumi, mendapatkan parameter spesifikasi dari adsorben dan uji kinerjanya dalam skala pilot. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pilot *plant* hasil rancang bangun kegiatan DIPA 2012 terkait dengan komposisi gas bumi dan kondisi operasi di lapangan (Lisna-Yayun 2012).

Data yang diperoleh dalam Pengujian Optimalisasi Kinerja Adsorber *mercury removal* bertujuan untuk menghitung seberapa besar penurunan tekanan dalam sistem (*pressure drop*), mengukur besarnya efisiensi penyerapan dari adsorben dan menghitung masa pakai (*life time*) nya. Efisiensi penyerapan tergantung pada jenis adsorben (karbon aktif) dan akan mempengaruhi waktu tinggal merkuri serta



Gambar 1  
Adsorber reaktor skala pilot

besarnya penurunan tekanan sistem (M. Prisciandaru 2011). *Impregnant* ( $ZnCl_2$ ) berpengaruh pada masa pakai (*life time*) dan waktu tinggal (Zeng 2003). Hasil perhitungan kapasitas penyerapan adsorben karbon aktif tempurung kelapa diketahui adalah 0,124 Kg-Hg/Kg-Carbon. Jadi untuk 1 kg adsorben karbon aktif tempurung kelapa yang telah diaktifasi, mampu menyerap merkuri dalam gas bumi sebesar 0,124 kg Hg. Untuk efisiensi penyerapan rata-rata, karbon aktif tempurung kelapa terhadap merkuri dalam gas bumi di titik *inlet* dan *outlet* adsorber adalah 95,74 % dan masa pakainya (*lifetime*) adsorben adalah 28 tahun.

## II. METODOLOGI

### A. Peralatan

Adsorber reaktor mercury removal (*mercury removal*) dalam penelitian ini digambarkan pada gambar 1. Adsorber terbuat dari *stainless steel* dengan dimensi : tinggi 1,2 m; diameter 0,60 m; tebal dinding 5 mm. Adsorber dibuat dari Plat SUS 304 5mm diroll menggunakan mesin *roll plat* untuk ukuran plat jenis tebal, lalu di las menggunakan las *type Circum welding*, dengan las dasar menggunakan Argon tungsten 2.6. Sistem adsorber *mercury removal* terdiri atas rangka struktur plat penutup, separator merkuri, adsorber merkuri I dan adsorber merkuri II.

Bagian dari sistem adsorber *mercury removal* terdiri atas :

#### 1. Separator

Merkuri separator akan memisahkan cairan dan kondensat. Cairan hasil pemisahan akan di alirkan ke saluran pembuangan, sedangkan gas dilewatkan *metering* untuk melewati adsorber. Gas yang masuk separator ini tekanan Maksimumnya adalah 500 psig.

#### 2. Adsorber

Adsorber adalah *vessel* untuk menurunkan kandungan merkuri sampai batas minimum dan memenuhi standar keamanan serta keselamatan untuk peralatan pengolahan gas. Proses Penyerapan merkuri terjadi disini dan media adsorben dimasukkan dengan jumlah berat tertentu di dalam *tray* dalam adsorber. Bagian dalam adsorber terdiri atas komponen-komponen sebagai berikut:

- Bagian atas adsorber dengan *shocket* pada *flange* yang terpasang pada bagian atas.
- *Frame alumdumball* 1/1 (SUS 304 2 mm) pada dasar adsorber
- *Screen alumdumball* 1/1 (SUS 304) dengan jaring berukuran 0.5 cm x 0.5 cm diatas *frame*.
- *Alumdumball* (diameter 1 cm) sampai menutup luas permukaan *screen* pada bagian bawah adsorber.
- *Handle frame alumdumball* sebagai penutup untuk lapisan *alumdumball*
- *Frame adsorben container* dengan *screen* adsorben pada bagian atasnya
- *Frame alumdumball* 1/2 (SUS 304 2mm) dengan *screen alumdumball* 1/2 (SUS 304) dan jaring berukuran 0.2 cm x 0.2 cm.
- *Handle hook frame alumdumball* 1/2 sebagai penutup lapisan *alumdumball*.
- Setiap adsorber memiliki wadah adsorben karbon aktif dengan tinggi *tray* 60 cm.
- Penutup adsorben yang dilengkapi dengan *flange shocket* pada tiap bagian atas penutup.

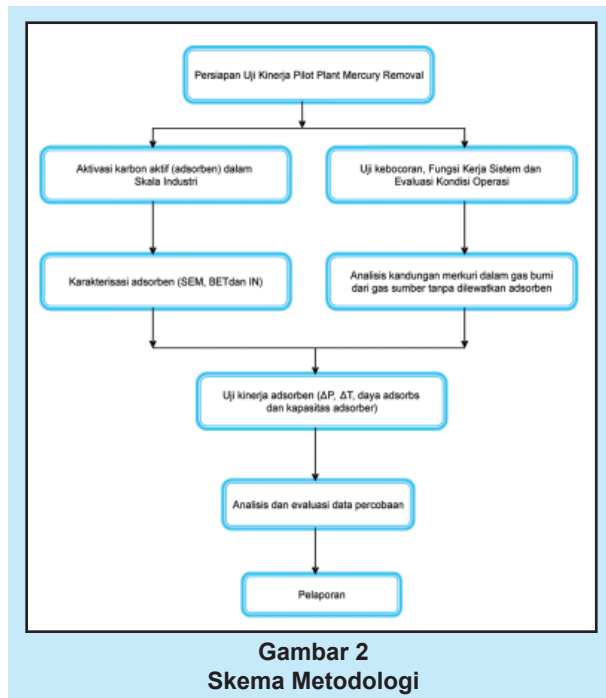
### 3. Metering

*Metering* berfungsi mengukur volume gas yang masuk ke adsorber. Volume gas tersebut merupakan salah satu faktor untuk perhitungan konsentrasi merkuri yang terserap pada *mercury removal*. Jenis metering yang digunakan pada adsorber ini adalah jenis orifice karena jenis tersebut termasuk salah satu jenis *metering* gas yang akurat (Mokhatab, 2009).

### B. Bahan

- Karbon Aktif
- Gas Nitrogen
- $ZnCl_2$
- HCl
- Gemuk lumas suhu tinggi
- Standar merkuri (Hg)
- $KMnO_4$
- $H_2SO_4$
- $Na_2S_2O_7$
- Larutan Iodin

### C. Metodologi



Gambar 2  
Skema Metodologi

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben dilakukan untuk mengetahui gambaran potensi adsorben dalam mengikat atau menyerap merkuri. Ada tiga jenis karakterisasi yang dilakukan, yaitu bilangan iodin untuk mengetahui kemampuan adsorben dalam penyerapan merkuri, karakterisasi pengukuran luas permukaan dan pori dari adsorben (BET) (AWWA, 1974) dan karakterisasi analisis SEM/EDX. Hasil analisis SEM dan EDX tersebut menjelaskan bahwa besarnya jumlah prosentasi Cl yang terbentuk atau terikat pada rantai C dari adsorben turut mempengaruhi besarnya kemampuan adsorben dalam menurunkan konsentrasi merkuri (Hg) dalam gas bumi (Brady & G. McKay, 1996). Hasil dari analisis karakterisasi terdapat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Dalam pelaksanaan pengujian *pressure drop*, digunakan gas bumi (*natural gas*) dengan tekanan 100 psig dan temperatur 30°C. Gas bumi yang digunakan pada uji optimalisasi tergolong bersih (*dry gas*) yang dialirkan ke dalam sistem Adsorber.

Komposisi gas bumi yang digunakan dalam pengujian memiliki komponen utama gas hidrokarbon metana sebesar 89,62%, mengandung kontaminan gas merkuri 0,80 µg/m<sup>3</sup>, H<sub>2</sub>S 3,70 ppm dan kadar airnya 5,62 Lb/MMSCF, sesuai yang terlihat pada Tabel 3. Gas bumi yang dialirkan ke dalam sistim adsorber di atur dengan menggunakan regulator yang dipasang di titik *inlet* dan *outlet* adsorber.

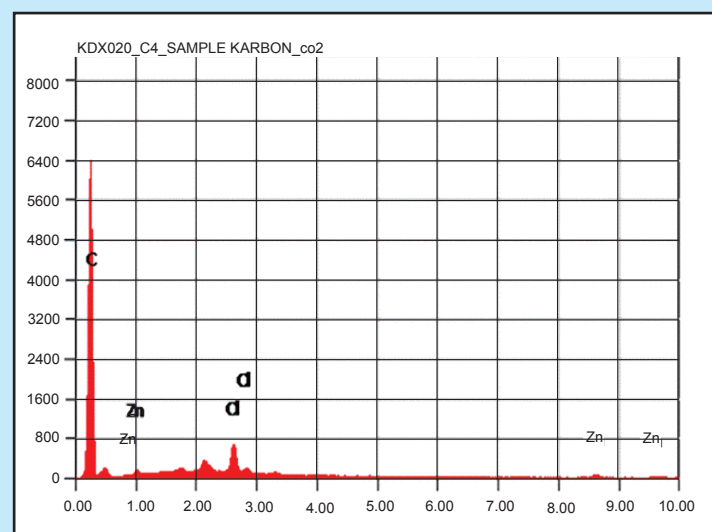
### B. Pressure Drop

Pengujian *pressure drop* pertama kali dilakukan tanpa menempatkan adsorben karbon aktif dalam *vessel*. Hasil pengujian *pressure drop* kedua dilakukan dengan menempatkan adsorben 40 kg ke dalam *tray* adsorber, dan hasil pengamatan tercantum pada Tabel 4.

*Pressure drop* merupakan perbedaan tekanan pada dua titik di sepanjang aliran yang dinyatakan dalam  $\frac{\Delta P}{l}$

*Pressure drop* dihitung berdasarkan tinggi silinder karbon aktif. Persamaan yang biasa digunakan untuk menghitung *pressure drop* sepanjang tinggi adsorben berpori adalah persamaan Ergun. Perhitungan diasumsikan tidak terdapat hilang tekan akibat adanya *vessel* atau *support allumdumball*. *Pressure drop* di sepanjang tinggi silinder karbon aktif adalah :

$$\left(\frac{\Delta P}{l}\right) = \left(\frac{P_i - P_o}{l}\right) = \left(\frac{\Delta P_{avr}}{h_{adsorbent}}\right)$$



Gambar 3  
Hasil Analisis ADX adsorben setelah aktivasi

### C. Kapasitas Penyerapan Adsorben terhadap Merkuri

Salah satu parameter uji dalam Optimalisasi Kinerja Adsorber Pilot plant *Mercury removal* adalah mencari nilai kapasitas penyerapan dan efisiensi penyerapan dari karbon aktif yang digunakan dalam menyerap merkuri. Teknik pengujian untuk mendapatkan nilai kapasitas dan efisiensi penyerapan dilakukan dengan skala laboratorium karena dalam skala pilot terkendala pada lamanya waktu pengujian. Teknik uji kinerja mencari nilai kapasitas dan efisiensi adsorben dilakukan dengan sistem yang terdiri atas dua bagian, yaitu saturator dan penyerapan. Saturator berfungsi untuk menghasilkan gas dengan kadar merkuri tertentu. Pada saturator, udara bertekanan masuk kedalam tabung yang berisi logam merkuri. Udara ini akan kontak dengan logam merkuri. Pada saat terjadi kontak, logam merkuri akan menguap hingga tercapai tekanan kesetimbangan uap merkuri. Pada keadaan ini, udara yang kontak dengan merkuri akan jenuh dengan merkuri. Campuran udara-merkuri ini kemudian dialirkan menuju bagian penyerapan. Bagian penyerapan merupakan silinder berisi adsorben yang diuji. Merkuri yang ada dalam campuran merkuri-udara diserap dalam bagian penyerapan ini.

Gambar 4 di atas merupakan silinder reaktor tempat adsorben karbon aktif ditempatkan, Silinder tersebut memiliki tinggi 120 cm, sedangkan tinggi dari karbon aktif yang dimasukkan ke dalam tray silinder berkisar 40 cm. Gambar 4 di atas merupakan silinder adsorben yang memiliki fungsi yang sama dengan silinder adsorben pada gambar 5. Sistem pada gambar 5 merupakan rangkaian alat dalam skala laboratorium untuk mengukur kapasitas penyerapan dari adsorben tersebut,

Data hasil pengujian adalah sebagai berikut:

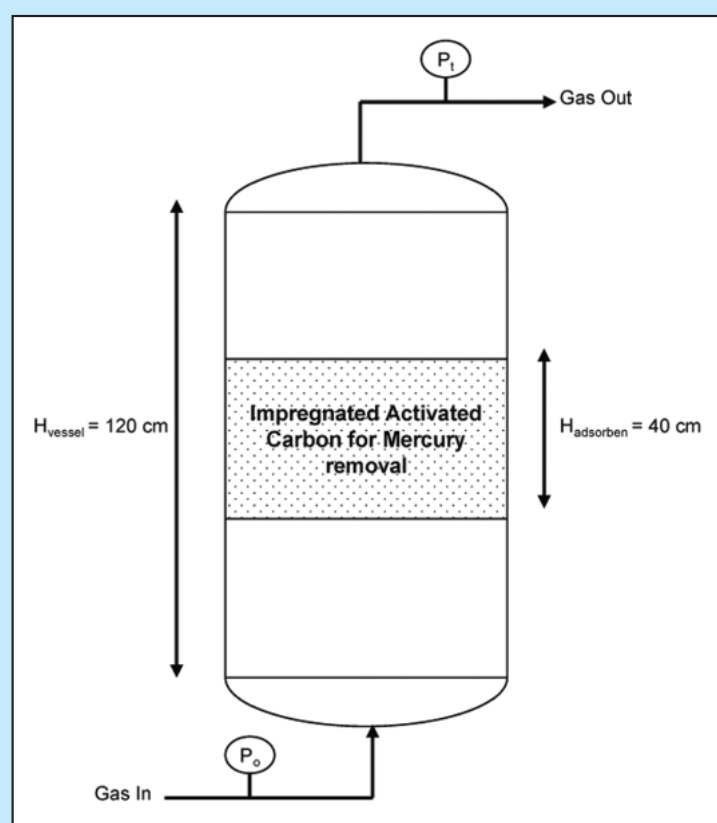
Kegiatan penelitian Optimalisasi Kinerja Pilot Plant Adsorber *Mercury Removal* merupakan suatu

**Tabel 1**  
Bilangan Iodin karbon aktif tempurung kelapa

Adsorben Karbon Tempurung Kelapa	Bilangan Iodin (mg/gr)		
	Simplo	Duplo	Rata-rata
Sebelum Aktifasi	571	564	568
Sesudah Aktifasi	890	887	889

**Tabel 2**  
Hasil analisis BET

Adsorben	Luas Permukaan (BET)	Total Volume Pori	Radius Pori Rata-rata (mm)
	(m <sup>2</sup> /g)	(cc/g)	
Sebelum Aktifasi	1052	0,57	10,85
Sesudah Aktifasi	724,05	0,39	10,69



**Gambar 4**  
Tinggi adsorben dan tinggi adsorben dalam silinder adsorber

usaha tim peneliti dalam menguji kemampuan adsorben karbon tempurung kelapa yang telah dimodifikasi dengan aktifasi fisika dan kimia dalam skala industri serta menguji kinerja adsorber hasil rancang bangun skala pilot yang telah dibuat pada tahun 2012.

Pengujian kinerja adsorber *mercury removal* dilakukan di GDS (*Gas Demonstration System*) plant di PPPTMGB “LEMIGAS” dengan kondisi pengujian tekanan aliran gas bumi 100 psi, temperatur udara 32°C dan laju alir gas bumi berkisar pada 4,6 liter/menit. Data yang diperoleh dalam Pengujian Optimalisasi Kinerja Adsorber *Mercury Removal* bertujuan untuk menghitung seberapa besar penurunan tekanan dalam sistem (*pressure drop*), menghitung besarnya efisiensi penyerapan dari adsorben dan menghitung masa pakai (*life time*) adsorben. Untuk mengetahui faktor koreksi dari *pressure drop*, dapat dialirkan gas bumi pada adsorber tanpa karbon aktif, selanjutnya dialirkan gas bumi bertekanan dan dihitung  $\Delta P$  (*pressure drop* pada *alum dum ball*).

Hasil perhitungan *pressure drop* tanpa adsorben :

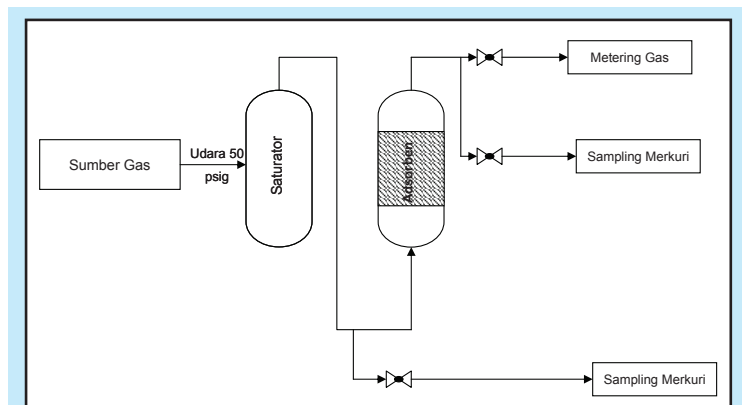
$$Pressure\ drop = \frac{\Delta P}{l} = \frac{1,05\ psig}{40\ cm} = 0,0263\ psig / cm = 0,8001\ psig / ft$$

Hasil perhitungan *pressure drop* dengan adsorben :

$$Pressure\ drop = \frac{\Delta P}{l} = \frac{2,30\ psig}{40\ cm} = 0,0575\ psig / cm = 1,7526\ psig / ft$$

Karakteristik adsorben di dalam silinder (adsorber) harus memiliki *Pressure Drop* maksimal 10psig (Branan,C., 2002). Jika *pressure drop* hasil pengujian yang diperoleh lebih besar dari 10psig, maka adsorber tersebut tidak dapat berfungsi dengan baik dan harus dievaluasi ulang baik terhadap sistem adsorbernya maupun adsorben karbon aktif yang digunakan.

Dari hasil perhitungan *pressure drop* di atas, terdapat selisih yang cukup berarti antara nilai *pressure drop* pada adsorber tanpa adsorben terhadap nilai *pressure drop* dengan adanya adsorben karbon aktif. Selisih besaran nilainya hampir 2 kalinya, dimana  $\Delta P$  tanpa karbon aktif 0,8001 psig/ft dan  $\Delta P$  dengan karbon aktif 1,7526 psig/ft. Adanya selisih nilai tersebut dikarenakan karbon aktif yang ditempatkan di dalam *tray* adsorber menahan laju alir gas bumi yang masuk ke dalam silinder adsorber. Besarnya



**Gambar 5**  
Skema peralatan pengujian kapasitas penyerapan adsorben

**Tabel 3**  
Komposisi Gas Bumi

No.	Parameter Analisis	Metode	Satuan	Nilai
1.	Komposisi			
	Nitrogen			0,4847
	Karbondioksida			4,7678
	Metana			89,6198
	Etana			3,2877
	Propana			1,0117
	iso-Butana	GPA 2261-2000	% mol	0,2496
	N-Butana			0,2771
	iso-Pentana			0,1245
	N-Pentana			0,0075
	Heksana plus			0,1014
2	Hydrogen Sulfida (H2S)	ASTM D 2385-1990	ppmv	3,70
3	Kandungan Merkuri	ISO 6978-1992	µg/m3	3,80
4	Kandungan uap air	ISO 1442-2006	Lb/Mmscf	5,62
5	Gross Heating Value (GHV)			1019,1731
6	Net Heating Value (NHV)	GPA 2172-2009	Btu/ft3	919,6884
7	Relative density	GPA 2172-2009	-	0,6419

daya menahan dari karbon aktif terhadap laju alir gas bumi sepanjang tinggi karbon aktif menyebabkan terjadinya selisih nilai *pressure drop* dalam adsorber. Nilai *pressure drop* dalam adsorber yang diperoleh masih jauh lebih kecil dari batas maksimum yang dipersyaratkan untuk suatu silinder adsorber yaitu 10 psig/ft (Davidson & Horison, 1963). Hal ini berarti bahwa pengoperasian adsorber skala pilot *mercury removal* untuk gas bumi dapat berlangsung dengan baik. Gambaran penurunan tekanan selama pengujian dapat dilihat pada Gambar 6.

Besar kecilnya nilai *pressure drop* juga

dipengaruhi oleh ukuran partikel karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben. Ukuran partikel adsorben memiliki efek terhadap kinerja (*performance*) dan *pressure drop*. Untuk berat yang sama, semakin kecil ukuran partikel, semakin luas permukaannya, sehingga semakin baik kinerjanya (Yan, R. 2004). Sebaliknya untuk *pressure drop*, untuk berat yang sama, semakin kecil ukuran partikel, semakin banyak jumlah adsorben (semakin luas permukaan adsorbent), semakin banyak friksi gas dengan adsorben, sehingga semakin besar nilai *pressure drop*-nya.

Parameter selanjutnya adalah Kapasitas dan Efisiensi Penyerapan. Berikut adalah perhitungan untuk mengetahui kapasitas adsorben terhadap penyerapan merkuri.

a. Perhitungan massa klorida dalam karbon

$$m_c = m_k \times [Cl^-]$$

$$m_c = 0,0439 \text{ gram}[Cl^-] / \text{gram karbon} \\ = 43,9 \text{ gram}[Cl^-] / \text{kg karbon}$$

b. Perhitungan kapasitas penyerapan teoritis



$$= \frac{M_c}{(Mr)_c}$$

$$= 1,2366 \text{ mol klorida} / \text{kg} - \text{karbon}$$

$$\text{Mol mercury(Hg) yang terserap karbon, Hg} = \frac{1}{2} \times \text{mol } Cl^- \\ = 0,6183 \text{ mol} - \text{Hg} / \text{Kg} - \text{karbon}$$

$$Mr \text{ Hg} = 200.592 \text{ gram} - \text{Hg} / \text{Mol Hg}$$

$$\text{Massa mercury(Hg) yang dapat diserap karbon, Hg} :$$

$$= 124 \text{ gram} - \text{Hg} / \text{Kg} - \text{karbon}$$

$$= 0,124 \text{ Kg} - \text{Hg} / \text{Kg} - \text{carbon}$$

- Kapasitas Penyerapan mercury dalam karbon = 0,124 Kg-Hg/Kg-Carbon

Jadi untuk 1 kg adsorben karbon aktif tempurung kelapa yang telah diaktifasi, mampu menyerap merkuri dalam gas bumi sebesar 0,124 kg Hg.

Kapasitas penyerapan suatu adsorber sangat bergantung pada ukuran dimensi adsorbennya seperti

**Tabel 4**  
Data tekanan di *Inlet* dan *Outlet* adsorber tanpa dan dengan adsorben karbon aktif

Tanpa Adsorben					
Time	P Awal (psig)	V Gas (L)	P Akhir (psig)	P Drop (psig)	Laju Gas (L/menit)
10.53	100	49	99	1	4.9
11.03	100	95	99	1	4.6
11.13	100	152	99	1	5.7
11.23	100	200	99	1	4.8
11.33	100	246	98	2	4.6
11.43	100	290	99.5	0.5	4.4
11.53	100	344	99	1	5.4
12.03	100	391	99	1	4.7
12.13	100	445	99	1	5.4
12.23	100	488	99	1	4.3
		270	98.95	1.05	4.88
Menggunakan Adsorben					
Time	P Awal (psig)	V Gas (L)	P Akhir (psig)	P Drop (psig)	Laju Gas (L/menit)
13.36	100	52	98	2	5.2
13.46	100	102	98	2	5
13.56	100	150	97	3	4.8
14.06	100	199	98	2	4.9
14.16	100	244	98	2	4.5
14.26	100	290	98	2	4.6
14.36	100	340	97	3	5
14.46	100	383	98	2	4.3
14.56	100	429	97	3	4.6
15.06	100	472	98	2	4.3
		2661	97.70	2.30	4.72

**Tabel 5**  
Konsentrasi merkuri di *Inlet* dan Laju Alir Gas Bumi

Inlet	Waktu	Konsentrasi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Flow (Liter/menit)
1	23.3	6419	108
2	60	4916	107
3	94	3501	107
4	131	3912	108
5	152	3201	109
6	182	3199	106

**Tabel 6**  
Konsentrasi merkuri di *Outlet* Adsorber dan laju alir gas bumi

Inlet	Waktu	Konsentrasi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Flow (Liter/menit)
1	30	407	109
2	64	373	108
3	99	99	104
4	135	76	107
5	156	117	106
6	185	160	107

tinggi, diameter adsorber dan laju alir gas bumi yang diuji (Spirc, Z, 2001). Untuk efisiensi penyerapan,

dari data hasil pengujian pada tabel 7 di atas diperoleh rata-rata efisiensi penyerapan karbon aktif tempurung kelapa terhadap merkuri dalam gas bumi di titik *inlet* dan *outlet* adsorber adalah :

$$\text{Efisiensi penyerapan rata-rata} = \frac{(93,66+92,41+97,17+98,45+97,75+95,00)\%}{6} = 95,74\%$$

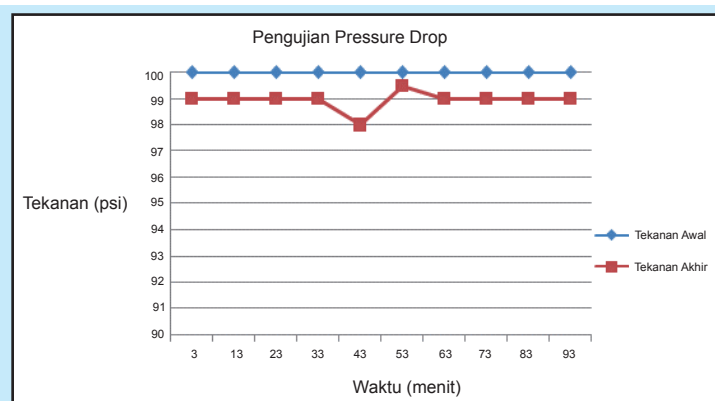
Konsentrasi merkuri dalam gas bumi di titik inlet adsorber dalam 30 menit pertama pengujian, terukur oleh *Mercury Analyzer* sekitar  $6400\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Setelah 30 menit, jumlah konsentrasi merkuri yang terukur mengalami penurunan hingga menit ke 94, yaitu sekitar  $3500\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Setelah menit ke 94, konsentrasi merkuri di inlet naik sedikit dan menurun kembali pada menit 130. Sedangkan konsentrasi merkuri dalam gas bumi di titik *outlet* adsorber dalam 30 menit pertama terukur sekitar  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ , dan mengalami penurunan hingga menit 135. Pada menit 150, konsentrasi merkuri di *outlet* naik kembali dengan konsentrasi merkuri terukur  $117\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan turun kembali di menit 180 an. Gambaran konsentrasi merkuri di *inlet* dan *outlet* adsorber selama pengujian kinerja berlangsung dapat dilihat pada grafik Gambar 7.

Untuk mengetahui jumlah konsentrasi merkuri dalam gas bumi yang terserap dalam adsorben karbon aktif tempurung kelapa, kita dapat menghitung selisih dari konsentrasi merkuri yang terukur di *inlet* dan *outlet* adsorber. Selanjutnya hasil selisihnya tersebut di gambarkan dalam grafik terhadap waktu pengujian. Berikut adalah gambaran konsentrasi merkuri dalam gas bumi yang terserap dalam adsorben selama waktu pengujian berlangsung (Gambar 8). Pada grafik menunjukkan bahwa regresi diperoleh sebesar 0,979, Hal ini menyatakan bahwa hasil penyerapan merkuri oleh adsorben yang cukup baik dan nilai regresi ini menunjukkan bahwa pengaruh dari variabel-variabel yang dapat mempengaruhi penyerapan merkuri oleh adsorben cukup kecil.

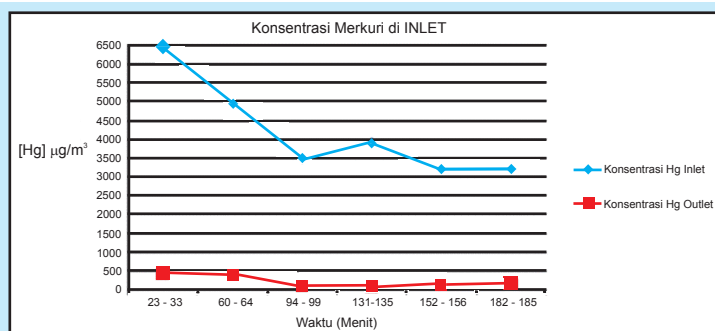
Kurva di atas dapat dianalogikan dengan kurva *breakthrough*, yaitu kurva yang menggambarkan

**Tabel 7**  
Efisiensi penyerapan merkuri oleh karbon aktif tempurung kelapa

No	Inlet		Outlet		Efisiensi Penyerapan
	Waktu Penyerapan (min)	Konsentrasi Hg ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Waktu Penyerapan (min)	Konsentrasi Hg ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
1	23.3	6419	30	407	93.66
2	26	4916	31	373	92.41
3	30	3501	33	99	97.17
4	36	4912	33	76	98.45
5	18	5201	18	117	97.75
6	27	3199	26	160	95.00



**Gambar 6**  
Gambaran *pressure drop* selama pengujian



**Gambar 7**  
Konsentrasi merkuri di *inlet* dan *outlet* adsorber

konsentrasi merkuri terhadap waktu, yang menunjukkan profil mekanisme perpindahan massa yang dapat diramalkan dan digunakan dalam perhitungan untuk fluida yang keluar. Biasanya kurva ini dipakai di dalam industri khususnya untuk menentukan kapan adsorben harus diganti untuk diregenerasi (Markovs, J, 2004).

Kapasitas dan efisiensi penyerapan adsorben terhadap merkuri tergantung pula pada lamanya waktu tinggal gas bumi dalam adsorben, semakin lama waktu tinggal gas di dalam adsorben, semakin



tinggi pula efisiensi penyisihan merkuri dari gas bumi. Semakin tinggi kecepatan gas bumi, semakin tinggi efisiensi penyisihan merkuri dari gas.

Masa pakai (*life time*) adsorben

Massa Hg dalam aliran gas inlet,  $M_{Hg-in} = (\text{konsentrasi Hg})_{avr} \times (\text{flow})_{avr} \times (\text{waktu})_{total}$

$$\begin{aligned} M_{Hg-in} &= 4.691 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \times 107,5 \frac{\text{L}}{\text{min}} \times 182 \text{min} \\ &= 91,785.9 \text{ mg} - \text{Hg} \\ &= 0.1 \text{ g} - \text{Hg} \\ &= 9.18 \text{ E} - 05 \text{ kg} - \text{Hg} \end{aligned}$$

Massa Hg dalam aliran gas outlet,  $M_{Hg-out} = (\text{konsentrasi Hg})_{avr} \times (\text{flow})_{avr} \times (\text{waktu})_{total}$

$$\begin{aligned} M_{Hg-out} &= 205 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \times 107,5 \frac{\text{L}}{\text{min}} \times 185 \text{min} \\ &= 4,083.6 \text{ mg} - \text{Hg} \\ &= 4.1 \text{ E} - 03 \text{ g} - \text{Hg} \\ &= 4.1 \text{ E} - 06 \text{ kg} - \text{Hg} \end{aligned}$$

$$M_{Hg} = M_{Hg-in} - M_{Hg-out}$$

Laju merkuri terserap dalam aliran gas bumi, F Hg = 8,8E-05 kg Hg/185 menit.

Laju merkuri terserap dalam aliran gas bumi, F Hg = 4.76E-07 kg Hg/menit.

Volume ruang karbon aktif dalam adsorber=

$$\frac{\pi}{4} \times (\phi_{vessel})^2 \times h_{adsorbent}$$

Volume ruang karbon dalam aktif dalam adsorber = 113,097 cm<sup>3</sup> = 0,11 m<sup>3</sup>.

$$\begin{aligned} \text{Massa karbon aktif} &= \text{volumex bulk density} \\ &= 0,11 \text{ m}^3 \times 510 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ &= 56,1 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kapasitas Penyerapan Merkuri (Hg) selama pengujian

$$\begin{aligned} &= \text{kapasitas Hg} / \text{kg adsorben} \times \text{massa adsorben} \\ &= 0,124 \text{ kg Hg} / \text{kg adsorben} \times 56,1 \text{ kg adsorben} \\ &= 6,96 \text{ kg Hg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Masa pakai (Life Time)} &= \frac{6,96 \text{ kg Hg}}{4.76 \text{ E} - 07 \text{ kg Hg} / \text{menit}} \\ &= 28 \text{ tahun} \end{aligned}$$

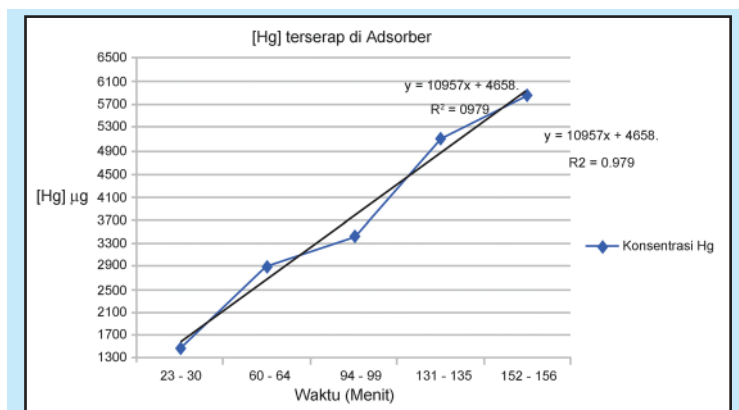
Hasil perhitungan di atas, menyatakan bahwa adsorben karbon aktif tempurung kelapa yang telah diaktifasi secara fisika

dan kimia dengan dimensi adsorber skala pilot memiliki masa pakai (*lifetime*) 28 tahun. Hal ini berarti bahwa adsorben karbon aktif tersebut akan mengalami jenuh setelah 28 tahun dan harus diregenerasi atau diganti kembali. Kegiatan penelitian ini tidak menjabarkan proses regenerasi adsorben karbon aktif yang telah jenuh, karena hal tersebut memerlukan pembahasan dan teknik tersendiri. Penanganan limbah adsorben dalam proses penyerapan merkuri dengan menggunakan adsorben karbon aktif memiliki 2 mekanisme, yaitu: pertama limbah adsorben tersebut diregenerasi untuk sehingga adsorben yang sudah jenuh dapat digunakan kembali. kedua limbah adsorben tersebut dibuang dengan melibatkan pihak K3 setempat. Limbah adsorben karbon aktif dalam kegiatan penelitian ini tidak diregenerasi dan tim peneliti bekerjasama dengan pihak K3 PPPTMGB "LEMIGAS" dalam penanganannya.

#### IV. KESIMPULAN

Adsorben merkuri dalam skala pilot telah berhasil dibuat sebanyak 95 kg karbon aktif yang siap pakai. Adsorben tersebut siap digunakan untuk menghilangkan merkuri dalam aliran gas bumi dan telah diaktifasi secara fisika dan kimia.

Adsorben merkuri yang digunakan oleh industri migas umumnya impor. Dengan adanya penelitian ini, dihasilkan adsorben hasil inovasi tim peneliti Lemigas untuk menghilangkan merkuri dalam gas bumi dengan bahan dasar tempurung kelapa yang mudah ditemukan di wilayah Indonesia. Karbon aktif tempurung kelapa dapat diaplikasikan di industri



**Gambar 8**  
Konsentrasi merkuri dalam gas bumi yang terserap di adsorber

migas khususnya untuk gas bumi, sehingga kualitas gas bumi Indonesia meningkat.

Hasil kegiatan penelitian optimalisasi kinerja adsorber pilot *plant mercury removal* gas bumi diperoleh karakteristik adsorben merkuri yang meliputi bilangan iodin rata-rata 889 mg/gram, luas permukaan adsorben setelah aktifasi fisika 1052 m<sup>2</sup>/g, setelah aktifasi kimia 724 m<sup>2</sup>/g, impregnasi klor 4,39 %. Parameter uji yang mewakili spesifikasi adsorber meliputi *pressure drop* 1,7526 psig/ft, kapasitas penyerapan 0,124 kg-Hg/kg-carbon, adsorben dan masa pakai (*lifetime*) adsorbennya adalah 28 tahun.

#### KEPUSTAKAAN

- Crippen, K., & Chao, S.**, 1997, Mercury in natural gas and current measurement technology: 1997 Gas Quality And Energy Measurement Symposium, February 3-5, Orlando Florida, p. 1-16.
- Branan, C.**, 2002, Rules of Thumb for Chemical Engineer, ISBN: 978-0-7506-7856-8, Edisi 4.
- Ismadji, S., 2011, Dasar-Dasar Aplikasi Karbon Aktif pada Industri Gas Bumi, Workshop kerjasama PPPTMGB "LEMIGAS" dan Universitas Kristen Widya Mandala Surabaya.
- Davidson, J.F. & Horrison,** 1963, Fluidized Particles, Cambridge University Press.
- Endang S.B., Sudradjat T.**, 1991. Teknologi Indonesia Jilid XIV, No.1 .
- Corvini, G.**, 2006, Mercury Removal from Natural Gas and Liquid Streams. UOP, LLC-Texas USA.
- Zeng, H., Jin, F.**, 2003, Removal of elemental mercury from coal combustion flue gas by chloride-impregnated activated carbon, ELSEVIER.
- Markovs, J.**, 2004, Optimized Mercury Removal in Gas Plants. UOP LLC, Texas USA.
- Jankowska, Swiatkowski, & Choma,** 1991, Active Carbon, Elis Horwood Ltd.
- Lisna, Yayun, Yusep,** 2012, Rancang Bangun Pilot Plant Adsorber Mercury Removal, Laporan Kegiatan DIPA PPPTMGB "LEMIGAS", hal 105-114.
- Prisciandaru, M., Karatza, D.**, 2011, A Pilot Scale Plant Application for The Removal of Elemental Mercury by Activated Carbon.
- Bardy, M., & McKay, G.**, 1996, Characterization of adsorbent, CRC Press, Inc Boca Raton, Florida, pp 39-58.
- Yan, R., Ling, Y.**, 2004, Bench-Scale Experimental Study on The Effect of Flue gas Composition on Mercury Removal by Activated carbon Adsorption". Institute of Environmental Science and Engineering. Nanyang Technological University.
- Mokhatab, S., Raymand, T.**, 2009, Fundamentals of Gas Pipeline Metering Stations, USA, Tulsa, Vol 236, No.1.
- American Water Works Association (AWWA)**, 1974, Standard for Granular Carbon AWWA B604-74, Colorado.
- ASTM D 1510-2003**, Standard Test Method for Determination of Carbon Black- Iodine Adsorption Number .
- Spiric, Z.**, 2001, Innovative Approach to the Mercury Control during Natural Gas Processing, Proceedings of ETCE, Engineering Technology Conference on Energy.