

Pembuatan Rancang Bangun Adsorber Penghilang Merkuri Berskala Pilot pada Industri Gas Bumi

Lisna Rosmayati, Nofrizal, Yayun Andriani dan Nanang Hermawan

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

nanangh@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 13 Maret 2013; Diterima setelah perbaikan tanggal 19 Agustus 2013

Disetujui terbit tanggal: 30 Agustus 2013

ABSTRAK

Penelitian pembuatan adsorber merkuri dalam skala pilot telah dilakukan melalui tiga tahap yaitu aktivasi adsorben karbon aktif tempurung kelapa dalam skala besar, pembuatan alat pilot adsorber merkuri berskala pilot dan uji kinerja alat untuk mengetahui kemampuan penyerapan adsorben terhadap merkuri. Aktivasi karbon aktif tempurung kelapa dilakukan pada temperatur tinggi menggunakan *activator* $ZnCl_2$. Adsorber merkuri berskala pilot dibuat dari bahan *stainlesssteel* yang terdiri dari separator dan dua adsorber. Uji kinerja alat dilakukan dengan mengukur konsentrasi merkuri dalam gas bumi sebelum dan sesudah melewati kolom adsorber. Hasil uji kinerja alat selama sekitar 9 jam menunjukkan adanya penurunan konsentrasi merkuri dengan efisiensi penyerapan adsorben hampir mencapai 100% pada tekanan gas 100 psia, temperatur 37°C dan laju alir gas 50 Cuft/jam.

Kata Kunci: adsorber, merkuri, gas bumi.

ABSTRACT

Research of pilot plan mercury adsorber has been done by three stages, firstly was activation of coconut shell as activated carbon on a large scale, secondly was designed a pilot plan of mercury adsorber and the last stage was performance test to determine the ability of the adsorbent to absorb mercury. Coconut shell activated carbon was activated at high temperature using $ZnCl_2$ as activator. However, the pilot plan mercury adsorber was designed with stainlesssteel material consisting separator and two adsorbers. The performance test of was done by measuring the concentration of mercury in gas before and after the adsorption column approximately 9 hours. The test condition as follows; gas pressure 100 psia, temperature of 37°C and the gas flow rate 50 CUFT/hour. The test result showed the mercury concentration was decrease significantly with the efficiency of mercury absorption almost 100%.

Keywords: adsorber, mercury, natural gas.

I. PENDAHULUAN

Gas bumi yang dihasilkan dari berbagai lapangan gas biasanya mengandung senyawa berbahaya seperti CO_2 , H_2S , RSH, COS termasuk pula merkuri (Hg) [Radisav]. Kontaminan yang terikut dalam gas bumi memiliki potensi menurunkan kualitas gas bumi dan dapat merusak peralatan yang digunakan pada saat proses produksi gas bumi. Merkuri (Hg) merupakan salah satu kontaminan dalam gas bumi yang harus dieliminasi karena sifatnya yang merugikan, yang dapat menginisiasi korosi, meracuni katalis,

merusak peralatan, membahayakan kesehatan dan lingkungan [Oil & Gas]. Untuk mengatasi dan meminimalkan bahaya dalam pemanfaatan gas bumi baik sebagai bahan bakar maupun bahan baku industri, maka permasalahan tersebut harus diatasi dengan pengembangan teknologi adsorpsi adsorben menggunakan alat penghilang merkuri. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh penelitian sebelumnya mengenai Rancang Bangun Adsorben *Mercury Removal*, hasilnya terbukti secara signifikan mampu menyerap merkuri cukup besar [Lisna].

Permasalahannya adalah penelitian yang telah dilakukan masih dalam skala laboratorium.

Dari hasil penelitian sebelumnya, data menunjukkan bahwa adsorben dengan kondisi ukuran 70 mesh, yang direndam dengan *activator* $ZnCl_2$ setelah pengaktifan pada suhu $700^\circ C$ menghasilkan prosentasi Cl yang lebih tinggi. Data ini menjelaskan pula bahwa selain pengaruh luas permukaan dan pori, jumlah Cl yang terbentuk dan terikat pada rantai C adsorben dari hasil perendaman $ZnCl_2$ turut mempengaruhi kemampuan adsorben karbon aktif tersebut dalam menurunkan konsentrasi merkuri (Hg) [Zeng].

Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah karbon (arang) komersial yang berasal dari material tempurung kelapa yang diaktifkan melalui suatu proses pengaktifan fisika dan kimia, sehingga menjadi karbon aktif yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben untuk mengeliminasi kandungan merkuri (Hg) dalam gas bumi [Kismurtono]. Karbon aktif adalah arang yang diproses sedemikian rupa sehingga mempunyai daya serap/adsorpsi yang tinggi [Jankowska, Kismurtono]. Karakterisasi dilakukan setelah pengaktifan karbon dilakukan, diantaranya adalah analisa bilangan iodine untuk mengetahui kemampuan adsorben dalam penyerapan merkuri. Selanjutnya karakterisasi pengukuran luas permukaan dan pori dari adsorben. Karakterisasi adsorben karbon aktif lainnya adalah analisa SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDX (*Energy Dispersive X-ray*). Hasil analisa 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.

Hingga saat ini industri gas bumi di Indonesia mengharapkan adanya rancang bangun adsorben penghilang merkuri dalam skala *pilot plant*. Untuk itu suatu kajian rancang bangun *pilot plant* adsorben penghilang merkuri untuk gas bumi, sangat penting dilakukan untuk mendapatkan alternatif adsorben Hg *removal* gas bumi yang dapat digunakan oleh industri migas. Kegiatan yang dilakukan ini sesuai dengan UU No. 22 tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi dan Peraturan Pemerintah No. 74 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun, yang mengamanatkan agar mendapatkan hasil produk yang aman dan tidak membahayakan

lingkungan terhadap produk yang dihasilkan oleh industri migas.

Penelitian pembuatan *pilot plant* adsorber penghilang merkuri dalam gas bumi ini, dilakukan dengan tujuan pertama mendapatkan suatu sistem peralatan adsorber merkuri (Hg) *removal* berskala *pilot* yang sesuai dengan kondisi lapangan gas bumi di Indonesia. Kedua adalah untuk mendapatkan karbon aktif yang optimum mengadsorpsi merkuri dalam gas bumi dan terakhir memperoleh nilai tambah dari peningkatan kualitas gas bumi melalui hasil rekayasa peralatan adsorben merkuri (Hg) *removal*.

Dari hasil kegiatan ini diharapkan dapat menunjang kinerja kegiatan industri migas dalam menghilangkan dan atau mengurangi kandungan merkuri (Hg) dalam gas bumi, dapat diaplikasikan untuk menghilangkan dan atau meminimalkan kandungan merkuri dalam gas bumi, khususnya aplikasi di KKKS Indonesia dan meningkatkan kualitas gas bumi di industri gas bumi Indonesia dengan biaya proses seefisien mungkin.

Dalam rangka peningkatan kualitas gas bumi Indonesia dan usaha untuk menghasilkan gas bumi dengan kandungan kontaminan seminimal mungkin, dibutuhkan teknologi dan alat yang mampu menangannya. Kualitas gas bumi yang dihasilkan oleh setiap industri gas bumi sangat mempengaruhi harga jual dan pemanfaatannya. Kualitas gas bumi sangat dipengaruhi oleh adanya kandungan kontaminan gas, salah satunya adalah merkuri. Merkuri merupakan salah satu kontaminan dalam gas bumi yang dapat membahayakan kesehatan lingkungan dan dapat merusak fasilitas serta peralatan proses di industri gas bumi [Spiric]. Untuk meminimalkan bahaya dari merkuri ini, terkait dengan penanganan gas bumi di lingkungan industri migas, maka aplikasi adsorber untuk eliminasi merkuri dalam skala *pilot* merupakan salah satu cara pemecahan masalah. Hasil kegiatan ini diharapkan dapat menunjang kinerja kegiatan industri migas dalam menghilangkan dan atau mengurangi kandungan merkuri (Hg) dalam gas bumi.

Peralatan *pilot plant* penghilang merkuri berskala *pilot* hasil rancangan tim peneliti sudah mempertimbangan faktor keamanan dan keselamatan kerja (*safety*), persyaratan material dan teknologi adsorpsi. Perancangan peralatan ini didasarkan kepada beberapa literatur yang sudah ada, hanya saja pada peralatan ini dilakukan beberapa modifikasi untuk lebih meningkatkan kinerja alatnya.

Desain peralatan penghilang merkuri *removal* secara umum dikelompokkan menjadi :

1. Peralatan pemisahan
2. Peralatan penyerapan/adsorben
3. Peralatan *Metering*
4. Peralatan kontrol

Pengujian kinerja alat rancang bangun adsorber merkuri *removal* dilakukan di GDS (*Gas Demonstration System*) *plant* di PPPTMGB “LEMIGAS” dengan kondisi pengujian sebagai berikut tekanan aliran gas bumi 100 psi, temperatur lingkungan 39°C. Percobaan diawali dengan pengaliran gas bumi yang mengandung konsentrasi merkuri tanpa melalui adsorber. Dengan *mercury analyzer* diketahui konsentrasi merkuri awal adalah 14.570,49 µg/m³. Pengujian dilanjutkan dengan mengalirkan gas bumi melalui adsorber yang telah diisi adsorben karbon aktif terpengaktifan. Di akhir pengujian, konsentrasi merkuri yang melewati adsorber terukur sebesar 3,99 µg/m³ dengan volume gas yang melewati adsorber sebesar 442 cuft. Dari data hasil kinerja alat yang dihasilkan, efisiensi penyerapan merkuri dalam aliran gas bumi yang melewati alat *pilot plant* adsorber adalah sebesar 99,97%.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Peralatan Pengaktifan

- Karbon Aktif 30 mesh
- Gas Nitrogen
- ZnCl₂
- desikan
- HCl
- Gemuk lumas suhu tinggi
- *Hot Plate + stirer* (Pemanas)
- Oven pengering
- Wadah perendam kapasitas 5 dan 10 kg
- *Desicator*
- *Furnace* 1000°C
- Reaktor pengaktifan fisika

B. Metode

1. Pengaktifan Fisika dan Kimia

a. Pengaktifan Fisika

Bahan baku Arang di timbang sebanyak 10 kg dan

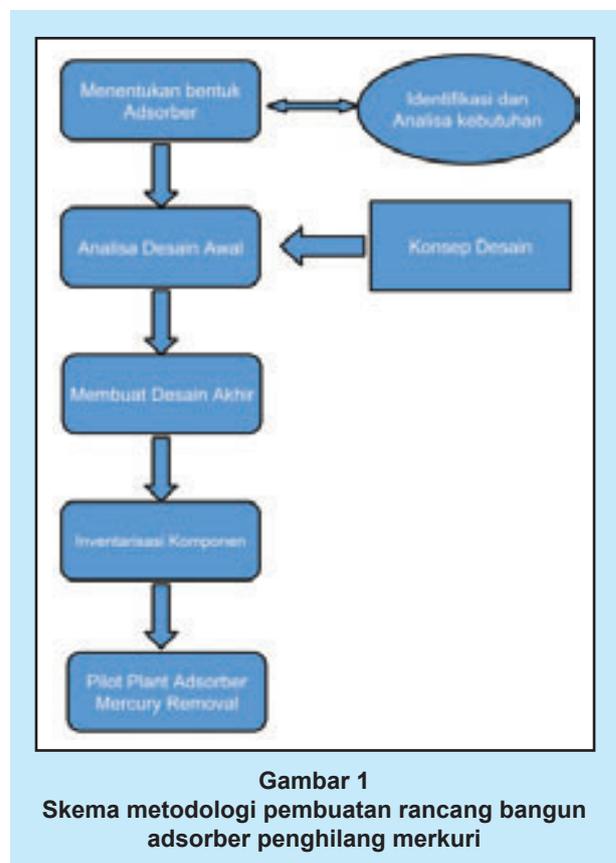
dimasukkan ke dalam Tungku Pengaktifan (*Furnace*) lalu di panaskan dengan kenaikan temperature 5°C permenit sampai pada suhu 600°C ditahan selama 1 jam. selama pemanasan, di alirkan gas Nitrogen yang berfungsi sebagai gas pengaktif.

b. Pengaktifan Kimia

- Proses awal dari pengaktifan kimia yaitu melakukan penyaringan terhadap karbon aktif yang telah di pengaktifan fisika dengan membilasnya dengan air hangat.
- Pada saat pH karbon aktif telah netral maka tahap perendaman dapat dilakukan, lamanya waktu perendaman adalah 24 jam. Setelah tahap perendaman selesai, tahap berikutnya yaitu penyaringan karbon aktif. Selanjutnya karbon aktif yang sudah terpisah dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur 70-80°C. Karbon aktif yang telah di oven dimasukkan ke dalam desikator guna mengurangi proses pengembunan.

2. Pembuatan pilot plant adsorber penghilang merkuri berskala pilot

Secara skematis metode pembuatan adsorber adalah sebagai berikut:



Gambar 1
Skema metodologi pembuatan rancang bangun adsorber penghilang merkuri

3. Prosedur Pengujian

Gas bumi dialirkan melalui *vessel* yang mengandung merkuri standar dengan tekanan yang diatur *pressure gauge* masuk ke *vessel* separator. Dari separator aliran gas bumi tersebut masuk ke dalam reaktor adsorber yang sudah terisi media adsorben karbon aktif hasil pengaktifan. Gas bumi yang keluar dari reaktor adsorber selanjutnya akan melewati rangkaian tabung yang berisi larutan penangkap logam merkuri, yaitu campuran kalium permanganate dan asam sulfat. Selanjutnya cairan penangkap akan langsung dianalisa dengan alat *mercury analyzer* untuk mengetahui konsentrasi merkuri yang terkandung dalam gas bumi pada *outlet* alat adsorber. Dari hasil analisa *mercury analyzer* tersebut, maka dapat diketahui konsentrasi merkuri yang terserap di dalam adsorben.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari kegiatan penelitian *pilot plant* adsorber penghilang merkuri dalam gas bumi salah satunya adalah sistem peralatan adsorber penghilang merkuri (Gambar 2) sebagai berikut:



Gambar 2
Pilot plant adsorber penghilang merkuri

A. Media Adsorben

Pelaksanaan penelitian rancang bangun *pilot plant* adsorber penghilang merkuri pada dasarnya meliputi 3 kegiatan, yaitu pengaktifan adsorben

karbon aktif tempurung kelapa dalam skala besar, pembuatan alat adsorber penghilang merkuri serta pengujian alat. Berikut adalah hasil karakterisasi adsorben setelah dilakukan pengaktifan.

Hasil karakterisasi bilangan iodine menunjukkan bahwa adsorben setelah dipengaktifkan kimia memiliki bilangan iodine yang lebih tinggi dibandingkan dengan sebelum dipengaktifkan. Hal tersebut terlihat pada Gambar 3 grafik hasil analisis bilangan iodine sebelum dan sesudah perendaman dengan *activator* $ZnCl_2$ yang dilakukan selama 6 kali [ASTM D-1510]. Adanya kenaikan bilangan iodine ini menunjukkan bahwa potensi penyerapan adsorben yang telah dipengaktifkan terhadap analit lebih besar.

Karakterisasi selanjutnya adalah pengukuran luas permukaan dan pori dari adsorben. Hasil karakterisasi *Bett Elmer Teller* (BET) ini menghasilkan data yang menunjukkan bahwa adsorben hasil pengaktifan kimia memiliki luas permukaan yang lebih kecil dari sebelumnya, karena sebagian permukaan dari adsorben telah ditutupi oleh gugus Cl dari *activator* $ZnCl_2$ yang terikat pada atom karbon adsorben. Hal tersebut mengakibatkan berkurangnya luas permukaan dari adsorben, akan tetapi sekaligus menjelaskan bahwa sebagian permukaan adsorben telah ditempati oleh gugus Cl yang siap mengikat gugus merkuri.

Analisis luas permukaan BET memberikan evaluasi yang tepat spesifik dari bahan dengan adsorpsi nitrogen *multilayer* diukur sebagai fungsi dari tekanan relatif dengan menggunakan analisa sepenuhnya otomatis. Teknik ini meliputi wilayah eksternal dan evaluasi daerah pori-pori untuk menentukan total luas permukaan spesifik dalam m^2/g menghasilkan informasi penting dalam mempelajari efek dari permukaan porositas dan ukuran partikel dalam banyak aplikasi [Bloom]. Hasil analisa BET dari sampel adsorben karbon aktif tempurung kelapa yang telah dipengaktifkan secara fisika dan kimia dapat dilihat pada Gambar 4.

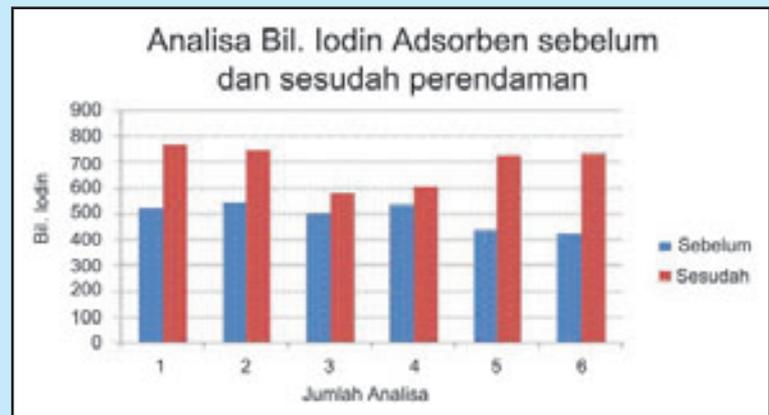
Karakterisasi terakhir adalah analisa SEM dan EDX. Hasil analisa SEM dan EDX tersebut (Gambar 5 dan 6) menjelaskan tentang bentuk morfologi permukaan adsorben karbon aktif saat sebelum dan sesudah perendaman dengan *activator* kimia. Pada Gambar 5 ditampilkan bahwa bentuk permukaan adsorben saat sebelum dan sesudah perendaman jelas berbeda, di mana permukaan adsorben saat sebelum

perendaman lebih kasar dengan celah pori yang lebih sempit. Setelah perendaman dengan bahan kimia, permukaan adsorben tersebut lebih halus dengan celah pori yang lebih lebar. Hal tersebut disebabkan oleh efek dari perendaman dengan bahan kimia (*activator*) $ZnCl_2$ yang dapat membentuk pori baru dan memperlebar pori yang sudah ada. Demikian pula dengan 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. Peranan $ZnCl_2$ sebagai aktifator kimia sangatlah penting karena selain dapat menghasilkan pori-pori baru yang mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi merkuri, perendaman $ZnCl_2$ juga dapat menghasilkan terbentuknya ikatan C-Cl di mana gugus Cl tersebut dapat mengikat merkuri (Hg) secara ikatan kimia menjadi $HgCl$ atau $HgCl_2$ [Zeng].

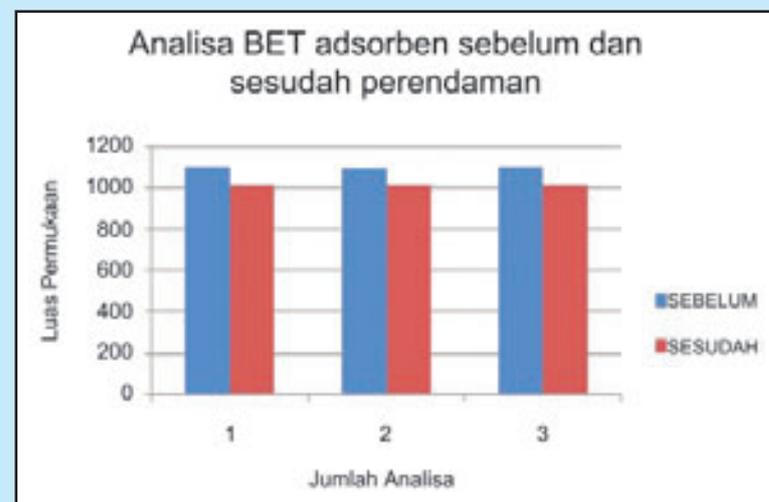
Karakterisasi terakhir dilakukan dengan mikroskop pemindai elektron (SEM), yaitu mikroskop yang menggunakan hamburan elektron dalam bentuk bayangan elektron berinteraksi dengan atom-atom yang membentuk sample menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang topografi permukaan sample, komposisi dan sifat-sifat lain seperti konduktivitas listrik. SEM merupakan pencitraan material dengan menggunakan prinsip mikroskopi.

Mirip dengan mikroskop optik, namun SEM menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik sebagai lensanya. Elektron diemisikan dari katoda (*elektron gun*) melalui efek foto listrik dan dipercepat menuju anoda. Filamen yang digunakan biasanya adalah tungsten atau lanthanum hexaboride (LaB_6). *Scanning coil*, akan mendefleksikan berkas *electron* menjadi sekumpulan *array* (berkas yang lebih kecil), disebut *scanning beam* dan lensa obyektif (magnetik) akan memfokuskannya pada permukaan sampel.

SEM dipakai untuk mengetahui struktur mikro suatu material meliputi tekstur, morfologi, komposisi dan informasi kristalografi permukaan partikel. Morfologi yang diamati oleh SEM berupa bentuk,



Gambar 3
Grafik hasil analisa bilangan iodine



Gambar 4
Grafik hasil analisa BET (*Bett Elmer Teller*)

ukuran dan susunan partikel. SEM menghasilkan bayangan dengan resolusi yang tinggi, yang maksudnya adalah pada jarak yang sangat dekat tetap dapat menghasilkan perbesaran yang maksimal tanpa memecahkan gambar.

Persiapan sampel *relative* mudah. Kombinasi dari perbesaran kedalaman jarak focus, resolusi yang bagus dan persiapan yang mudah, membuat SEM merupakan satu dari alat-alat yang sangat penting untuk digunakan dalam penelitian saat ini. Hasil karakterisasi morfologi SEM (*Scanning Electron Microscope*) - ADX menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dengan pembesaran 200x dan atom Cl muncul pada *peak* kromatogram karbon aktif setelah direndam sebesar 73%.

EDX (*Energy Dispersive X-ray*), merupakan karakterisasi material menggunakan sinar-x yang diemisikan ketika material mengalami tumbukan dengan elektron. Sinar-x di emisikan dari transisi elektron dari lapisan kulit atom, karena itu tingkat energinya tergantung dari tingkatan energi kulit atom. Setiap elemen di dalam tabel periodik atom memiliki susunan elektronik yang unik, sehingga akan memancarkan sinar-x yang unik pula. Dengan mendeteksi tingkat energi yang dipancarkan dari sinar-x dan intensitasnya, maka dapat diketahui atom-atom penyusun material dan persentase masanya.

B. Sistem Peralatan Adsorber Penghilang Merkuri berskala Pilot

Peralatan *pilot plant* penghilang merkuri berskala *pilot* dirancang oleh Tim Peneliti dengan mempertimbangan faktor keamanan dan keselamatan kerja (*safety*), persyaratan material dan teknologi adsorpsi. Dasar perancangan peralatan ini didasarkan kepada beberapa literatur yang sudah ada, hanya saja pada peralatan ini dilakukan beberapa modifikasi untuk lebih meningkatkan kinerja alat. Alat ini terdiri dari 2 silinder adsorber dan 1 separator.

1. Peralatan Pemisahan (merkuri separator)

- *Merkuri separator* digunakan untuk memisahkan kandungan *liquid* yaitu berupa air dan kondensat.
- *Liquid* hasil pemisahan akan di alirkan kesaluran pembuangan sedangkan gas dilewatkan *metering (flow meter)* untuk di proses penyerapan merkuri/ adsorber.
- Gas yang masuk separator ini tekanan maksimumnya sebesar 500 psig.
- Material terbuat dari Plat SUS 316 di-*roll* 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.

2. Peralatan Penyerapan/adsorber

Fungsi dari peralatan merkuri adsorber adalah untuk menurunkan kandungan merkuri. Proses penyerapan

ini menggunakan adsorben karbon tempurung kelapa yang telah dipengaktifkan fisika dan kimia menggunakan $ZnCl_2$.

3. Adsorber Merkuri I dan II

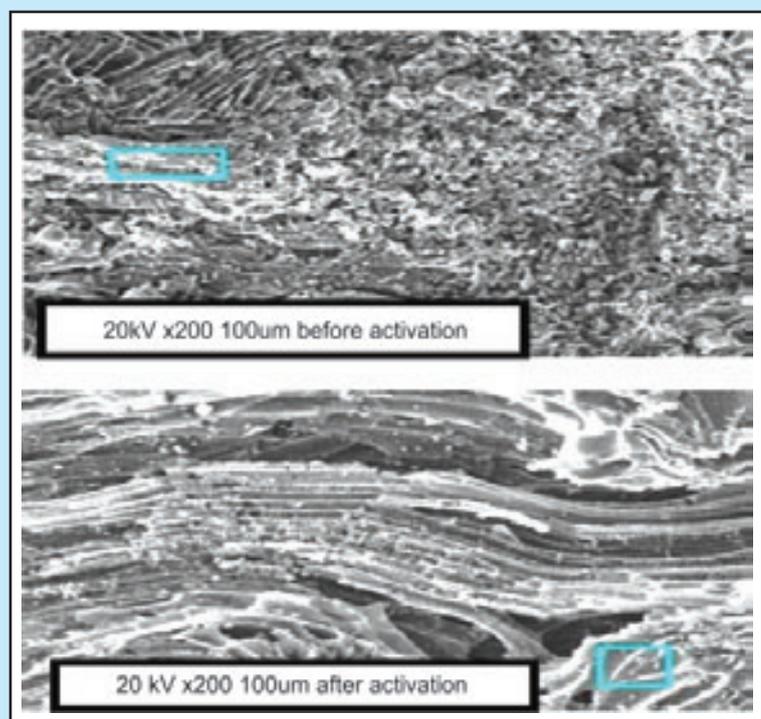
Adsorber (Reaktor) Penyerapan dibuat dari Plat SUS 304 5mm di-*roll* menggunakan mesin *roll plat* untuk ukuran plat jenis tebal, lalu di las menggunakan las *type Circum welding*. Dengan las dasar menggunakan Argon tungsten 2.6.

4. Metering

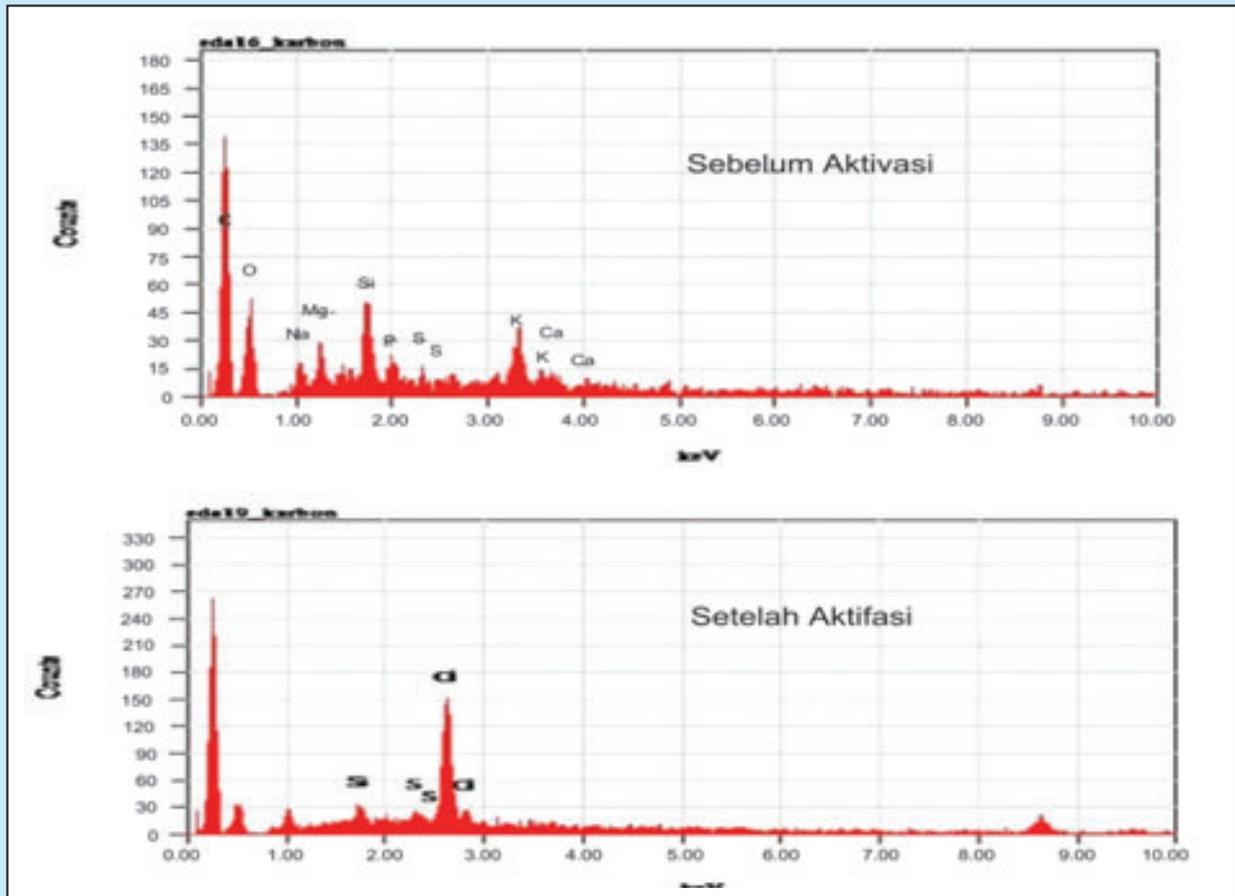
Metering digunakan untuk mengukur volume gas yang masuk ke peralatan merkuri *removal*, dimana volume gas tersebut merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam perhitungan konsentrasi merkuri yang terserap pada merkuri *removal*. Jenis *metering* yang digunakan pada peralatan ini adalah *type orifice* karena tipe tersebut termasuk salah satu jenis *metering* gas yang cukup akurat dan relatif murah.

C. Hasil Uji Coba

Dalam pelaksanaan pengujian alat, digunakan gas bumi (*natural gas*) dengan tekanan 100 psig.



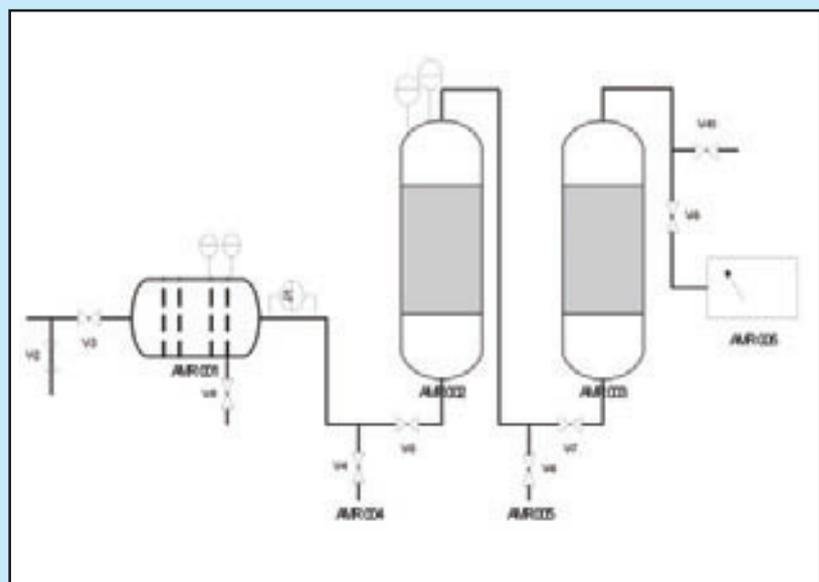
Gambar 5
Hasil karakterisasi SEM permukaan adsorben karbon aktif tempurung kelapa sebelum dan sesudah pengaktifan kimia



Gambar 6
Hasil karakterisasi ADX adsorben karbon aktif tempurung kelapa

Gas bumi yang digunakan pada uji kinerja alat tergolong bersih (*dry gas*) yang dialirkan ke sistem melalui silinder yang mengandung merkuri standar. Komposisi Gas Bumi yang digunakan dalam pengujian kinerja alat dapat dilihat pada Tabel 1 dan hasil uji kinerja ada pada Tabel 2 di bawah ini.

Komposisi gas bumi di atas diperoleh dari hasil analisa sampel gas bumi dengan instrumentasi kromatografi gas dengan tipe GC-NGAHP 6890 menggunakan detektor TCD. Analisa komposisi dilakukan dengan menggunakan metode GPA 2261-2000 dan untuk perhitungan nilai kalornya menggunakan metode GPA 2172-2009. Kandungan kontaminan gas bumi, seperti Hidrogen Sulfida



Gambar 7
Skema sistem adsorber penghilang merkuri

Tabel 1
Komposisi Gas Bumi

No	Parameter Analisa Gas Bumi	Satuan	Nilai	Metoda
	Nitrogen		0.6577	
	Karbon dioksida		4.3393	
	Metana		89.3271	
	Etana		3.3558	
I	Propana	%Mol	1.3399	GPA 2261:2000
	Iso Butana		0.2963	
	N-Butana		0.3388	
	Iso Pentana		0.1312	
	N-Pentana		0.082	
	Heksana Plus		0.2218	
	Relative Density		0.647	
II	Gross Heating Value (GHV)	Btu/Ft ³	1034.9986	GPA 2172
	Nett Heating Value (NHV)	Btu/Ft ⁴	934.3538	
	Compressibility Factor (Z)		0.9975	
	Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	ppmv	2.27	ASTM D2385
III	Merkuri (Hg)	µg/m ³	0.37	ISO 6978
	Kandungan Air	Lb/MMscf	7.72	ASTM D1142

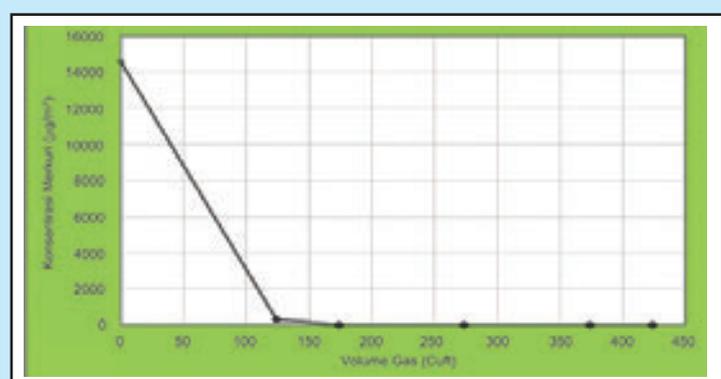
Tabel 2
Data hasil uji kinerja alat

No	Pengujian tanpa adsorber	Kons. Merkuri (µg/m ³)	Volume gas bumi (Cuft)
1	Merkuri awal	14570,9	74

No	Pengujian melalui adsorber	Kons. Merkuri (µg/m ³)	Volume gas bumi (Cuft)
1	Pengamatan 1	14571	0
2	Pengamatan 2	312,3	124
3	Pengamatan 3	13,36	174
4	Pengamatan 4	8,07	274
5	Pengamatan 5	5,91	374
6	Pengamatan 6	3,99	424

dilakukan dengan metode ASTM D-2385, merkuri menggunakan metode standar ISO 6978 dan kadar air menggunakan metode ASTM D-1142.

Konsentrasi merkuri (Hg) yang terukur adalah konsentrasi merkuri yang keluar dari adsorber dan ditangkap oleh cairan kimia KMnO₄ + H₂SO₄ yang kemudian langsung diukur dengan instrumen *Lumex Analyzer*. Hasil uji kinerja alat selama 8 jam, menunjukkan efisiensi penyerapan adsorben sebesar 99,97% dengan tekanan gas 100 psia, temperatur 37°C dan laju alir gas 50 Cuft/jam.



Gambar 8
Grafik hasil uji kinerja alat

Konsentrasi merkuri pada awal percobaan adalah 14.570,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dialirkan dengan media gas bumi dan ketika volume gas bumi mencapai 424 Cuft, konsentrasi merkurnya terukur 3.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal tersebut membuktikan bahwa sebagian besar uap merkuri telah terserap oleh adsorben karbon aktif yang terdapat di dalam adsorber.

IV. KESIMPULAN

Sistem peralatan adsorber merkuri (Hg) *removal* berskala pilot ini telah disesuaikan dengan kondisi operasi di lapangan gas bumi baik temperatur, tekanan dan kapasitasnya. Adsorben karbon hasil aktifasi fisika dan kimia dalam skala industri telah mampu menyerap merkuri dalam aliran gas bumi secara optimal. Peralatan penghilang merkuri ini mampu mengadsorpsi merkuri dalam aliran gas bumi sebanyak 99,97% dalam waktu 8 jam 50 menit dengan volume aliran gas bumi 442 Cuft, tekanan gas sumber 100 psi dan laju alir gas 50 Cuft/jam. Peneliti berharap aplikasinya di lapangan dapat menunjang kinerja kegiatan industri migas dalam menghilangkan dan atau mengurangi kandungan merkuri (Hg) dalam gas bumi serta meningkatkan kualitas gas bumi di Indonesia dengan biaya proses seefisien mungkin.

V. SARAN

Untuk aplikasi di lapangan gas bumi, masih banyak faktor lingkungan dan kondisi operasi yang lebih kompleks yang harus diantisipasi, sehingga masih diperlukan pengujian terkait dengan parameter *pressure drop*, kapasitas adsorben, *lifetime* adsorben dll.

KEPUSTAKAAN

1. **AWWA**.1974.Standard for Granular Carbon. AWWA B604-74. Colorado.

2. **ASTM D 1510-03**. Standard Test Method for Determination of Carbon Black-Iodine Adsorption Number.
3. **Anonim**, "Mercury in Natural Gas Production and Processing, Industry": Petroleum (Oil & Gas) WS 2012-01.
4. **Bloom, N. S.**, "Analysis and Stability of Mercury Speciation in Petroleum Hydrocarbons", Fresenius' J. Anal. Chem., 366:438 (2000).
5. **Hancai Zeng**, Removal of Elemental Mercury from Coal Combustion Flue Gas by Chloride-Impregnated Activated Carbon, ELSEVIER Science Direct, May 2003.
6. **Jankowska H, Swiatkowski and Choma J.** (1991). Active Carbon. Elis Horwood Ltd.
7. **Lisna, Yayun** dkk "Rancang Bangun Adsorben Penghilang Merkuri" Nomor 04.06.02.8191.00047.F Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, PPPTMGB "LEMIGAS". Desember 2010.
8. **Lisna, Yayun** dkk, "Rancang Bangun Pilot Plant Adsorber Penghilang merkuri" Nomor: 04.1913.005.019.521213 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, PPPTMGB "LEMIGAS". Desember 2012.
9. **M. Kismurtono; Sumarsono**, 1999 "Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa" Prosiding Seminar Nasional III Kimia dalam Pembangunan ISSN : 0854-4778.
10. **Mitariten, M.** "Adsorption Advances" World Coal, September (2002).
11. **Radisav D.Vidic**, Control of Mercury Emissions in Flue gases by Activated Carbon Adsorption, University of Pittsburgh, PA 15261.
12. **Zdravko Spiric**, Innovative Approach to the Mercury Control during Natural Gas Processing, Proceedings of ETCE 2001.

INDEKS SUBYEK

A

Akselerasi biodegradasi crude oil 97

Acceleration biodegradation hydrocarbon 97

Adsorber 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113

Adsorben 105, 106, 107, 108, 109, 11, 112, 113

Alkali surfaktan *polymer injection* 87

B

Biodiesel 79, 80, 81, 82, 83, 84

Biosurfactant production 59

Biosurfaktan bakteri laut hidrokarbonoklastik 97

Biosurfactant 97, 103, 104

C

Cloud point 79, 81, 84

Citra ikonos 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76, 77

H

Hydrogenasi parsial 79, 80, 82, 84

G

Gas bumi 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113

I

Ikonos imagery 69

Injeksi alkali surfaktan polimer 87, 88

K

Katalis nikel 79, 80

L

Land use 69

M

Microbe screening 59

Marine bacteria hidrokarbonoklastik 97

Merkuri 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113

Mercury 105, 107, 108, 113, 114

N

Nickel catalyst 79

Nutrition screening 59

Natural gas 105, 110, 113, 114

O

Oxidation stability 79

Old well 69

Oil recovery 87, 88, 96

P

Partial hydrogenation 79

Pour point 79, 81, 84

Produksi biosurfaktan 67

Permasalahan sosial 69, 70, 71, 72, 73

Penggunaan lahan 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76

Perolehan minyak 87, 88, 89, 92, 94, 95, 96

S

Stabilitas oksidasi 79, 80, 81, 82, 83, 84

Seleksi mikroba 59, 60, 61, 62, 63, 67

Seleksi nutrisi 67

Sumur tua 69, 70, 71, 72, 73

Social problem 69

T

Titik kabut 79, 80, 81, 82, 84

Titik tuang 79, 80, 81, 82, 84
