

# Rancang Bangun Adsorben *Mercury Removal*

Oleh : Lisna Rosmayati<sup>1)</sup> dan Yayun Andriani<sup>1)</sup>, Yusep K. Caryana<sup>2)</sup>

Pengkaji Teknologi<sup>1)</sup>, Peneliti Muda<sup>2)</sup> pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"  
Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230, Indonesia

Tromol Pos : 6022/KBYB-Jakarta 12120, Telepon : 62-21-7394422, 62-21-7222978, Faksimile : 62-21-7246150, 62-21-7222978

Teregistrasi I Tanggal 9 Desember 2010; Diterima setelah perbaikan tanggal 13 Januari 2011

Disetujui terbit tanggal: 29 April 2011

## S A R I

Sebagian besar gas bumi (*natural gas*) mempunyai kandungan merkuri dengan jumlah kecil (*trace*). Kehadiran merkuri dalam gas bumi sekalipun dalam jumlah yang kecil dinilai merugikan karena dapat menyebabkan korosi pada peralatan dan fasilitas proses di industri migas. Proses adsorpsi merupakan proses yang paling sesuai untuk memisahkan merkuri dalam gas bumi dan rancang bangun alat adsorpsi merkuri merupakan salah satu solusi untuk meminimalkan kandungan merkuri dalam gas bumi. Kinerja alat rancang bangun adsorben *mercury removal* dengan kondisi percobaan menggunakan data optimum dari hasil aktivasi adsorben karbon yang telah dikarakterisasi. Kondisi optimum percobaan yaitu menggunakan adsorben karbon yang berukuran 70 mesh, diaktivasi pada temperature 700°C, direndam setelah aktivasi selama 12 jam dan posisi tabung adsorben vertikal. Hasil pengukuran merkuri (Hg) menunjukkan bahwa adsorben karbon aktif pada kondisi percobaan tersebut mampu menyerap merkuri (Hg) sebesar 27.629,94 µg/m<sup>3</sup>.

**Kata kunci** : rancang bangun, adsorben, merkuri

## ABSTRACT

*Most of natural gas contain a trace mercury, However, although its content in natural gas is very small, mercury can cause corrosion in process facilities and equipment plant in petroleum industries. The adsorption process is the best technique and mostly used for mercury separating in natural gas. The engineering equipment of mercury removal by activated charcoal adsorbent is one of few solution to minimize mercury content in natural gas. To obtain the best result of adsorbent activation, it is very important to run the process under optimum condition. There are several optimum conditions which is obtained from the experiment e.g.: The size of the activated carbon particles is 70 mesh, temperature activation is 700°C approximately, time of immersed in ZnCl<sub>2</sub> after activation is 12 hours and use a vertical position of adsorbent tube. The result of mercury (Hg) measurement shows that the ability of activated carbon adsorbent to adsorb mercury is 27.629,94 µg/m<sup>3</sup>.*

**Keywords**: engineering, adsorbent, mercury

## I. PENDAHULUAN

Sebagian besar gas bumi (*natural gas*) mempunyai kandungan merkuri dengan jumlah kecil (*trace*). Kehadiran merkuri dalam gas bumi sekalipun dalam jumlah yang kecil dinilai merugikan karena dapat menyebabkan korosi pada peralatan dan fasilitas proses di industri migas. Khusus di industri migas,

karbon aktif berpotensi dijadikan adsorben dalam meningkatkan kualitas produksi migas sehingga dapat menaikkan harga dan nilai jual produk migas tersebut.

Penelitian dan pemanfaatan adsorben gas bumi untuk menghilangkan Hg dari gas bumi sudah dilakukan di beberapa negara termasuk Indonesia, akan tetapi masih banyak kendala dalam keefektifan

penyerapan merkuri dan regenerasinya dari adsorben yang digunakan. Untuk itu suatu kajian rancang bangun adsorben *Hg removal* untuk gas bumi, perlu 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 memperoleh hasil produk yang aman dan tidak membahayakan lingkungan terhadap produk yang dihasilkan oleh industri migas.

Ruang lingkup rancang bangun adsorpsi *mercury removal* meliputi usaha dan konsep untuk menghasilkan sistem rancangan alat yang berfungsi untuk mengeliminasi kandungan merkuri dalam gas bumi, merekayasa karakteristik material/ bahan ke dalam bentuk, ukuran, dan fungsi yang diinginkan. Oleh karenanya, penguasaan teknologi rancang bangun alat dalam skala laboratorium membutuhkan suatu pemahaman yang terintegrasi yang dimulai dari pemahaman dasar, teknik desain dan analisis laboratorium untuk mencapai tujuan yang diinginkan.

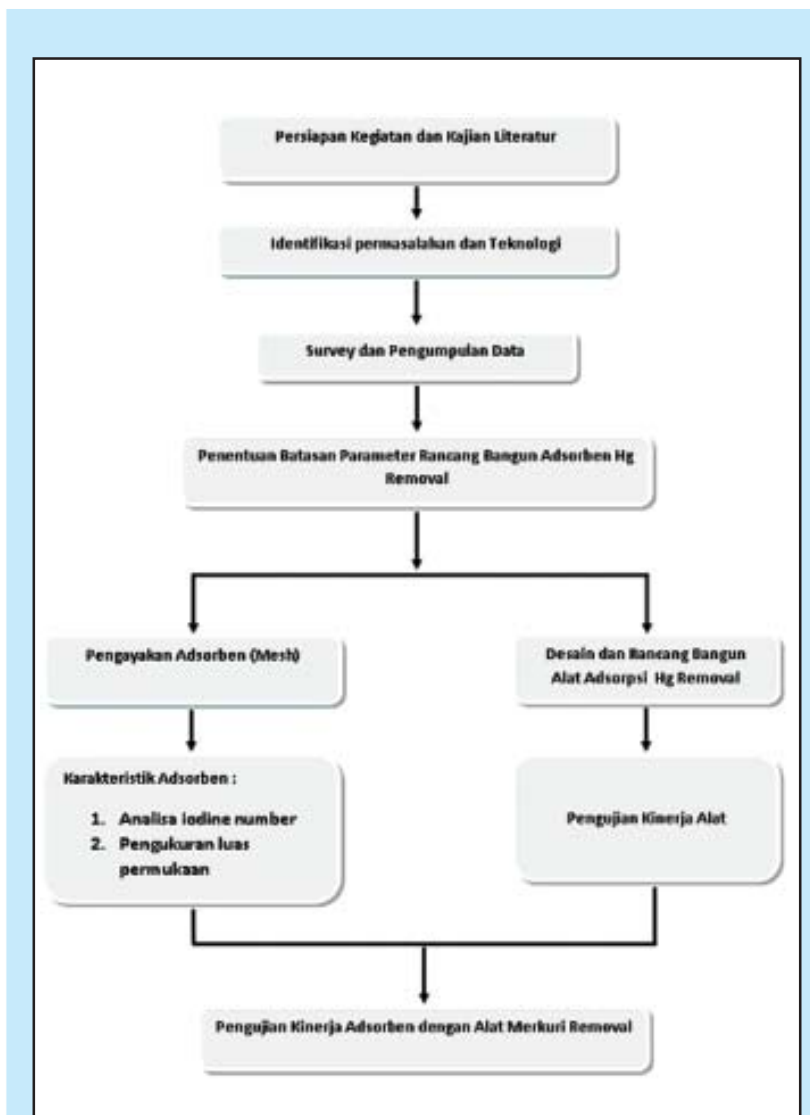
Kinerja alat adsorpsi merkuri dilakukan untuk melihat sejauh mana kemampuan adsorben yang terpasang pada alat *mercury removal* mampu mengadsorpsi kandungan merkuri dalam gas. Sebelum percobaan adsorpsi merkuri tersebut dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan percobaan pendahuluan untuk melihat apakah alat tersebut telah siap uji dengan mengalirkan *compressed air* pada laju alir tertentu. Setelah itu dilakukan pengujian tanpa ada adsorben dengan mengalirkan merkuri standar untuk mengetahui konsentrasi merkuri awal.

Kemampuan dari adsorben yang terpasang pada alat *mercury removal* dapat diketahui dengan melakukan analisis pada konsentrasi Hg yang terukur dalam media cairan penangkap Hg. Kondisi percobaan yang optimum

diperoleh dengan menggunakan adsorben karbon yang berukuran 70 mesh, diaktivasi pada temperature 700°C dan direndam selama 12 jam setelah aktivasi dilakukan. Posisi tabung adsorben pada saat percobaan *mercury removal* dalam posisi vertikal. Hasil pengujian pengukuran merkuri (Hg) menunjukkan bahwa adsorben karbon aktif pada kondisi percobaan tersebut mampu menyerap merkuri (Hg) sebesar 27.629,94 µg/m<sup>3</sup>.

## II. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam melakukan kajian ini adalah melalui tahapan sebagai terlihat pada gambar 1:



Gambar 1  
Metodologi tahapan kegiatan penelitian

### III. SIFAT DAN BAHAYA MERKURI SERTA POTENSI ADSORBEN KARBON AKTIF

#### A. Sifat dan Bahaya Merkuri (Hg) dalam Gas Bumi di Lingkungan Industri Migas

Pada umumnya gas bumi mengandung merkuri dengan konsentrasi yang sangat rendah namun beberapa lapangan gas di Indonesia diketahui mempunyai kandungan yang cukup tinggi, salah satunya sumur-sumur gas di wilayah laut Natuna, sehingga dikhawatirkan dapat merusak fasilitas, terutama fasilitas yang berkaitan dengan proses refrigerasi/pendinginan gas. Senyawa merkuri dapat menyebabkan terjadinya korosi dengan aluminium atau *aluminium alloy* dengan membentuk amalgam. Selain menyebabkan terjadinya korosi, merkuri berbahaya bagi kesehatan terutama bila berbentuk senyawa alkil merkuri rantai pendek yang stabil dan bersifat racun serta dapat mengakibatkan kerusakan syaraf.

Unsur merkuri dan spesies senyawa merkuri lainnya ditemukan dalam senyawa hidrokarbon yang terdapat di dalam batu bara, gas bumi, gas kondensat dan minyak bumi di hampir semua lapangan minyak dan gas di seluruh dunia. Kebanyakan merkuri dalam gas bumi berada dalam bentuk unsur bebas atau logam murni, namun di dalam kondensat dan petroleum yang ditemukan dalam jumlah yang cukup signifikan adalah senyawa organomerkuri sedangkan unsur merkuri dalam bentuk bebas hanya sedikit.

Merkuri di dalam gas bumi, kondensat dan minyak bumi dapat mengganggu proses produksi dan bersifat korosif terhadap fasilitas pengolahan hidrokarbon melalui beberapa mekanisme, antara lain membentuk Hg 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 dalam peralatan, menghasilkan korosi pada peralatan. Bentuk amalgam ini lebih lemah daripada bentuk logam bebas merkuri (Leeper, 1980; Bingham 1990), atau dalam pembentukan logam amalgam aluminium, reaksi amalgam menghasilkan bentuk logam ditambah merkuri bebas, yang menyebabkan proses korosi terjadi secara berkelanjutan, (Crippen dan Chao 1997). Korosi aluminium sering terjadi pada alat pertukaran panas (*heat exchanger*) *cryogenic*, pintu dan aliran katup kepala sumur.

Hg bersifat racun yang mengakibatkan penurunan aktivitas katalis dalam masa pakai katalis itu (Hennico, 1991). Formasi amalgam Hg pada dinding pipa baja mengakibatkan proses dan produksi menggunakan alat itu menjadi berbahaya. Pengolahan gas dan cairan menyebabkan perubahan salah satu bentuk merkuri menjadi bentuk lainnya. Contohnya adalah reaksi merkuri murni dengan komponen sulfur. Teori menyebutkan, proses dengan tekanan tinggi *hydrotreating* pada penyaringan dapat mengkonversi dialkilmerkuri dan merkuri kompleks menjadi unsur murninya.

#### 1. Sifat dan Karakterisasi Merkuri (Hg)

Beberapa lapangan gas di Indonesia diketahui mempunyai kandungan merkuri yang cukup tinggi salah satunya sumur-sumur gas di wilayah laut Natuna, sehingga dikhawatirkan dapat merusak fasilitas, terutama fasilitas yang berkaitan dengan proses refrigerasi/pendinginan gas, Senyawa merkuri dapat menyebabkan terjadinya korosi dengan aluminium atau aluminium alloy dengan membentuk amalgam. Selain menyebabkan terjadinya korosi, merkuri berbahaya bagi kesehatan terutama bila berbentuk senyawa alkilmerkuri rantai pendek yang stabil dan bersifat racun serta dapat mengakibatkan kerusakan syaraf.

Unsur merkuri dan spesies senyawa merkuri lainnya ditemukan dalam senyawa hidrokarbon yang terdapat di dalam batu bara, gas bumi, gas kondensat dan minyak bumi di hampir semua lapangan minyak dan gas di seluruh dunia. Kebanyakan merkuri dalam gas bumi berada dalam bentuk unsur bebas atau logam murni, namun di dalam kondensat dan petroleum yang ditemukan dalam jumlah yang cukup signifikan adalah senyawa organomerkuri sedangkan unsur merkuri dalam bentuk bebas hanya sedikit.

#### 2. Spesifikasi dan Jenis-Jenis Senyawa Merkuri

Berdasarkan EPA -600/R-01-066, *Mercury in Petroleum And Natural Gas*, USA, 2001, didalam minyak bumi dan gas, kondensat dikenal beberapa bentuk kimia merkuri, yang memiliki perbedaan sifat kimia dan fisik masing-masing, dapat dilihat sebagai berikut.

##### a. Merkuri (HgO)

Merkuri murni dan dapat larut dalam minyak bumi dan cairan hidrokarbon dalam bentuk atomnya sampai

beberapa ppm saja. Merkuri murni dapat berikatan dengan komponen logam (pipa, vessel dll), lilin tersuspensi, pasir, dan bahan padatan tersuspensi pada cairan.

**b. Senyawa organik merkuri (R-HgR dan R-HdX), dimana R = -CH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, dan X = -Cl atau ion organik lainnya)**

Komponen organik merkuri sangat mudah larut pada minyak bumi dan kondensat. Komponen organik merkuri hampir sama dengan merkuri murni dalam sifat adsorptivitasnya tetapi mempunyai titik didih, kelarutan, fraksi pemisahan menjadi bentuk yang berbeda dengan HgO. Dialkil merkuri termasuk kedalam kategori ini (misalnya dimetil merkuri, dietil merkuri) dan monometilmerkuri halida (ion organik lainnya).

**c. Garam merkuri anorganik (ionik) (Hg<sub>2+</sub>X atau Hg<sub>2+</sub>X<sub>2</sub>), di mana X adalah ion anorganik)**

Garam merkuri (kebanyakan halida) larut dalam minyak dan kondensat. Tetapi lebih banyak dalam fase cair. Klorida merkuri memiliki kelarutan yang tinggi dalam cairan organik (10 kali lipat dari merkuri murni). Garam organik kemungkinan juga memiliki sifat fisik tersuspensi dalam minyak atau terikat menjadi partikel tersuspensi.

**d. Merkuri kompleks (HgK atau HgK<sub>2</sub>),**

Merkuri dapat berikatan dengan hidrokarbon sebagai kompleks, di mana K adalah ligand seperti asam organik, forfirin, atau tiol.

**e. Komponen merkuri tersuspensi**

Beberapa contoh yang bisa tergolong kelompok ini adalah merkuri sulfida (HgS) dan selenida (HgSe), di mana keduanya tidak dapat larut di dalam air dan minyak tetapi keberadaannya berupa partikel padat yang tersuspensi dan berukuran sangat kecil (koloid).

**f. Merkuri yang terikat dan tersuspensi**

Kategori ini termasuk merkuri murni dan merkuri organik yang tidak larut tetapi terikat pada partikel inert seperti pasir dan lilin. Merkuri tersuspensi dan komponen merkuri tersuspensi dapat dipisahkan dari cairannya dengan teknik pemisahan secara fisik seperti filtrasi dan sentrifugasi.

**3. Bahaya Merkuri (Hg)**

**a. Bahaya terhadap kesehatan manusia**

Senyawa merkuri organik dianggap lebih

berbahaya dan dapat larut dalam lapisan lemak pada kulit yang menyelimuti korda saraf (Volkovic, 1977). Metil merkuri merupakan merkuri organik yang selalu menjadi perhatian serius dalam toksikologi. Karena metil merkuri ini dapat diserap secara langsung melalui pernapasan dengan kadar penyerapan 80%. Uapnya dapat menembus membran paru-paru dan apabila terserap ke dalam tubuh, akan terikat dengan protein sulfurhidril seperti sistein dan glutamin. Di dalam darah, 90% dari metil merkuri diserap ke dalam sel darah merah dan metil merkuri juga dijumpai dalam rambut. Menurut Irving *et al.* (1975), jumlah merkuri yang dimasukkan ke dalam akar rambut adalah berbanding dengan kepekatan metil merkuri di dalam darah.

**b. Efek korosi yang ditimbulkan senyawa merkuri (Hg)**

Merkuri di dalam gas bumi, kondensat dan minyak bumi dapat mengganggu proses produksi dan bersifat korosif terhadap fasilitas pengolahan hidrokarbon melalui beberapa mekanisme, antara lain membentuk Hg 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 dalam peralatan, menghasilkan korosi pada peralatan, bentuk amalgam ini lebih lemah daripada bentuk logam bebas merkuri (Leeper, 1980 ; Bingham 1990), atau dalam pembentukan logam amalgam aluminium, reaksi amalgam menghasilkan bentuk logam ditambah merkuri bebas, yang menyebabkan proses korosi terjadi secara berkelanjutan, (Crippen dan Chao 1997). Korosi aluminium sering terjadi pada alat pertukaran panas (*heat exchanger*) kryogenik, pintu dan aliran katup kepala sumur.

Hg bersifat racun yang mengakibatkan penurunan aktivitas katalis dalam masa pakai katalis itu (Hennico, 1991). Formasi amalgam Hg dalam dinding pipa baja mengakibatkan proses dan produksi menggunakan alat itu menjadi berbahaya. Pengolahan gas dan cairan menyebabkan perubahan salah satu bentuk merkuri menjadi bentuk lainnya. Contohnya adalah reaksi merkuri murni dengan komponen sulfur. Teori menyebutkan, proses dengan tekanan tinggi *hydrotreating* pada penyaringan dapat mengkonversi dialkil merkuri dan merkuri kompleks menjadi unsur murninya.

Kemampuan memisahkan senyawa merkuri dari dalam produk dan aliran pada proses pengolahan

minyak dan gas bumi sangat ditentukan oleh sifat kelarutannya. Tabel 2.4 menyajikan hubungan kelarutan beberapa spesies dalam larutan. Dalam cairan hidrokarbon senyawa merkuri tersuspensi yang biasa ditemukan adalah HgS. Senyawa merkuri tersuspensi ini biasanya ditemukan paling besar konsentrasinya dibanding dengan kandungan total merkuri dalam sampel cairan hidrokarbon yang diproduksi, sehingga harus dipisahkan terlebih dahulu.

## B. Adsorptivitas Karbon (Arang) dari Tempurung Kelapa

### 1. Sifat Fisika-Kimia Karbon Tempurung Kelapa

Arang aktif adalah karbon yang berbentuk amorf, berwarna hitam, tidak berbau, tidak berasa, serta mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan arang yang belum menjalani proses aktivasi. Unsur karbon adalah suatu zat inert, tidak larut dalam air, basa, asam encer, dan pelarut organik. Arang yang baik mutunya adalah arang yang mempunyai kadar karbon tinggi dan kadar abu serta kadar air rendah.

Arang adalah suatu bahan padat yang berpori-pori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung unsur C. Sebagian besar dari pori-porinya masih tertutup dengan hidrokarbon dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri atas *fixed carbon*, abu, air, nitrogen dan sulfur. Arang tempurung adalah arang yang dibuat dengan cara karbonisasi dari tempurung/batok kelapa.

Arang aktif merupakan senyawa karbon amorf, yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Luas permukaan arang aktif berkisar antara 300-3500 m<sup>2</sup>/gram dan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan arang aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Arang aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar pori-pori dan luas permukaan. Daya serap arang aktif sangat besar, yaitu 25-1000% terhadap berat arang aktif.

Arang aktif terdiri atas pelat-pelat datar, disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal. Pelat-pelat itu bertumpuk satu sama lain membentuk kristal-kristal dengan sisa-sisa

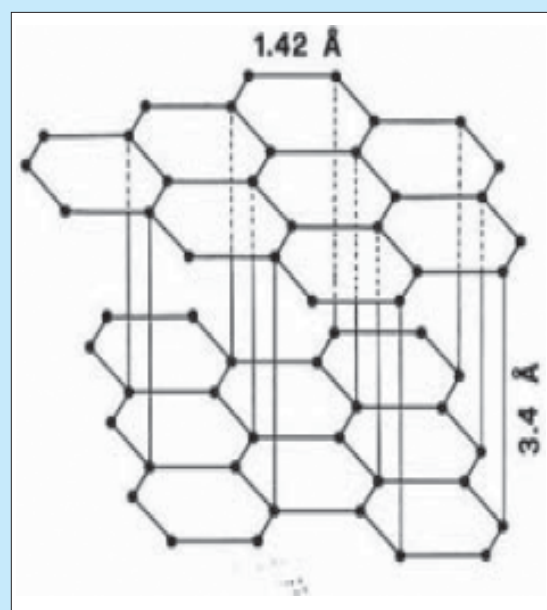
hidrokarbon yang tertinggal pada permukaannya. Kristal-kristal tersebut biasanya tersusun dari 3 hingga 4 lapisan atom karbon yang terdiri atas 20 sampai 40 atom karbon di setiap lapisannya. Dengan menghilangkan hidrokarbon pada permukaan tersebut, permukaan akan menjadi lebih luas sehingga daya serap lebih besar.

Arang aktif merupakan suatu bahan yang berupa karbon amorf yang sebagian besar terdiri atas karbon bebas serta memiliki permukaan dalam sehingga mempunyai kemampuan daya serap yang baik. Keaktifan untuk menyerap dari arang aktif ini tergantung dari jumlah senyawaan karbonnya.

### 2. Sifat Adsorpsi Arang Aktif

Adsorpsi adalah suatu peristiwa fisik penyerapan suatu zat pada permukaan bahan penyerap. Efisiensi adsorpsi oleh arang tergantung dari perbedaan muatan listrik antara arang dengan zat yang diserap (Ketaren, 1986). Bahan yang mempunyai muatan listrik positif akan diserap lebih efektif oleh arang dalam larutan yang bersifat basa dan sebaliknya.

Peristiwa adsorpsi ini terjadi karena pada arang terdapat pori-pori dalam molekul karbon tersebut. Bila pori-pori ini tertutup, maka daya serap arang akan berkurang atau hilang. Tertutupnya pori-pori tersebut



Gambar 2  
Struktur Grafit dari Arang Aktif  
Sumber : JANKOWSKA, 1991

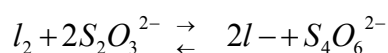
disebabkan terisi oleh tar, hidrokarbon dan zat organik lainnya. Suatu zat terlarut cenderung bermigrasi ke adsorben karena empat hal, yaitu :

1. Sifat alamiah hidrofobik dari zat terlarut
2. Adanya gaya Van der Waals
3. Atraksi listrik antar permukaan dengan adsorben
4. Terjadinya penyerapan secara kimia.

Dari keempat hal ini, yang paling mungkin terjadi adalah karena adanya gaya Van der Waals, karena adsorpsi dan desorpsi terjadi secara berkelanjutan dan molekul yang terserap bebas bergerak di sekitar permukaan.

### 3. Penetapan Bilangan Iodin

Penetapan bilangan iodium merupakan suatu pengujian kemampuan dari arang yang sudah diaktivasi (AWWA B604-74, 1974). Penetapan tersebut berdasarkan pada metode titrasi iodometri. Arang yang telah diaktivasi Akan mengadsorbsi iod yang ditambahkan, sisa iod yang tidak teradsorbsi oleh arang akan dititrasi dengan larutan tio 0, 1 N yang telah distandardisasi. Titik akhir titrasi ditandai dengan lenyapnya warna  $I_2$  setelah ditambahkan dengan indikator, yaitu dari coklat tua menjadi kuning lalu menjadi tak berwarna. Dari volume tio yang digunakan maka dapat ditentukan kemampuan arang aktif tersebut dalam menyerap iodium. Reaksi yang terjadi dalam proses titrasi tersebut yaitu :



Nilai bilangan iod tersebut dapat diketahui dengan tahapan perhitungan menggunakan rumus :

$$C = \frac{\text{volume tio} \times N_2}{\text{volume sampel}}$$

$$\frac{x}{m} \frac{x}{m} = \frac{A - (2,2 B \times \text{volume tio})}{\text{bobot sampel}}$$

$$\text{nilai iodin} = \frac{x}{m} \frac{x}{m} D$$

Keterangan :

X/m = miligram iodin yang teradsorb per gram karbon

$N_1$  = normalitas iodin

$N_2$  = normalitas natrium tiosulfat

$$A = N_1 \times 12693$$

$$B = N_2 \times 126,93$$

D = faktor koreksi

Dan untuk mengetahui kemampuan daya serap iodium dapat menggunakan rumus :

$$\text{Daya serap} = \frac{(b - a) \times N \times 126,9}{\text{miligram contoh}} \times 100\%$$

Keterangan :

b = volume blanko

a = volume contoh

N = Normalitas natrium tiosulfat

126,9 = bobot atom iodium

### 4. Luas Permukaan dan Pori

Arang aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon. Dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Ketika pemanasan berlangsung, diusahakan agar tidak terjadi kebocoran udara di dalam ruangan pemanasan sehingga bahan yang mengandung karbon tersebut hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi. Arang selain digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai adsorben (penyerap). Daya serap ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi jika terhadap arang tersebut dilakukan aktivitas dengan aktif faktor bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi. Dengan demikian, arang akan mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia. Arang yang demikian disebut sebagai arang aktif.

Luas permukaan arang aktif berkisar antara 300-3500 m<sup>2</sup>/g dan ini berhubungan dengan sktruktur pori internal yang menyebabkan arang aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Arang aktif dapat mengadsorbsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorbs selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap arang aktif sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat arang aktif.

Arang aktif dibagi atas 2 tipe, yaitu arang aktif sebagai pemucat dan sebagai penyerap uap. Arang aktif sebagai pemucat, biasanya terbentuk powder yang sangat halus, diameter pori mencapai 1000 Å, digunakan dalam fase cair, berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu yang

menyebabkan warna dan bau yang tidak diharapkan, membebaskan pelarut dari zat-zat pengganggu dan kegunaan lain yaitu pada industri kimia dan industri baju. Diperoleh dari serbuk-serbuk gergaji, ampas pembuatan kertas atau dari bahan baku yang mempunyai densitas kecil dan mempunyai struktur yang lemah. Arang aktif sebagai penyerap uap, biasanya berbentuk granular atau pellet yang sangat keras diameter pori berkisar antara 10-200A , tipe pori lebih halus, digunakan dalam fase gas, berfungsi untuk memperoleh kembali pelarut, katalis, pemisahan dan pemurnian gas. Diperoleh dari tempurung kelapa, tulang, batu bata atau bahan baku yang mempunyai struktur keras.

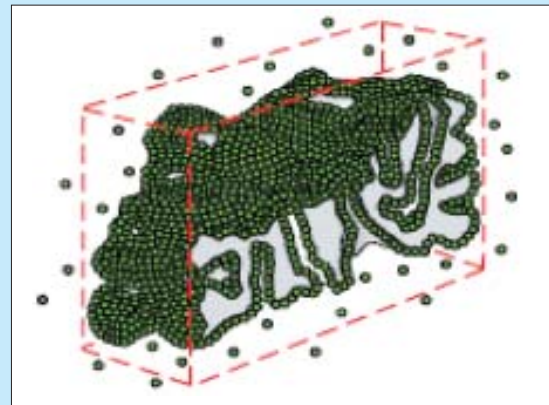
Berdasarkan teori Brunauer, Emmett, dan Teller (BET), yaitu bahwa seseorang dapat memperkirakan jumlah molekul yang diperlukan untuk menutupi permukaan adsorben dengan sebuah monolayer molekul teradsorpsi seperti yang terdapat pada Gambar 3. Gambar tersebut menunjukkan sekitar 30 % dari padatan telah mengalami kejenuhan. Dengan melakukan pengukuran BET maka kita dapat mengetahui perilaku material sebagai bahan yang bereaksi dengan lingkungannya melalui permukaan. Bahan yang luas permukaannya lebih tinggi, memiliki kemampuan untuk bereaksi lebih cepat, lebih cepat larut, dan mampu menyerap gas lebih banyak dibandingkan dengan bahan yang sama dan memiliki luas permukaan yang lebih rendah (Quantachrome Corporation, 2007).

Dengan penambahan molekul gas pada bagian luar monolayer secara terus-menerus maka akan menyebabkan pembentukan multilayer seperti pada Gambar 4. Pada gambar tersebut terlihat bahwa padatan sekitar 70% telah mengalami kejenuhan.

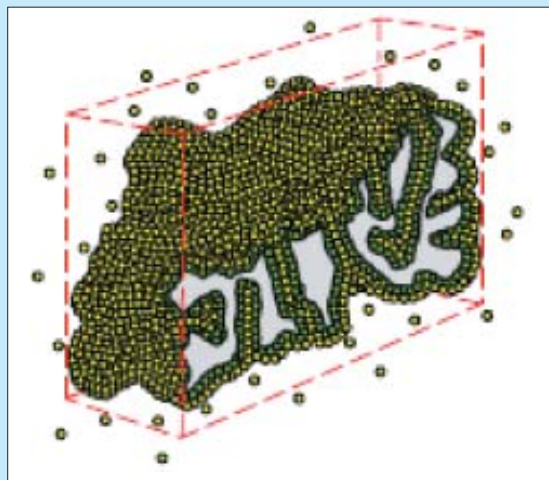
Kemudian pada akhirnya, maka pori-pori adsorben akan terisi penuh oleh adsorbat seperti pada Gambar 5. Maka dari banyaknya adsorbat yang terisi dalam pori, kita dapat mengetahui luas permukaan serta ukuran dari pori tersebut.

### 5. Aktivasi Kimia dengan $ZnCl_2$

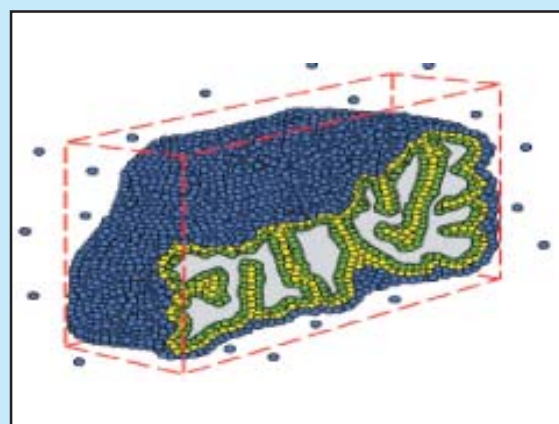
Untuk aktivasi kimia, activator yang digunakan adalah bahan-bahan kimia seperti: hidroksida logam alkali garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan  $ZnCl_2$ . Zink klorida merupakan salah satu bahan kimia yang dapat digunakan sebagai aktivator bagi karbon aktif. Selain  $ZnCl_2$ ,  $CaCl_2$  dapat pula digunakan sebagai aktivator



Gambar 3  
Monolayer pada Molekul Teradsorpsi



Gambar 4  
Multilayer Tahap Kondensasi



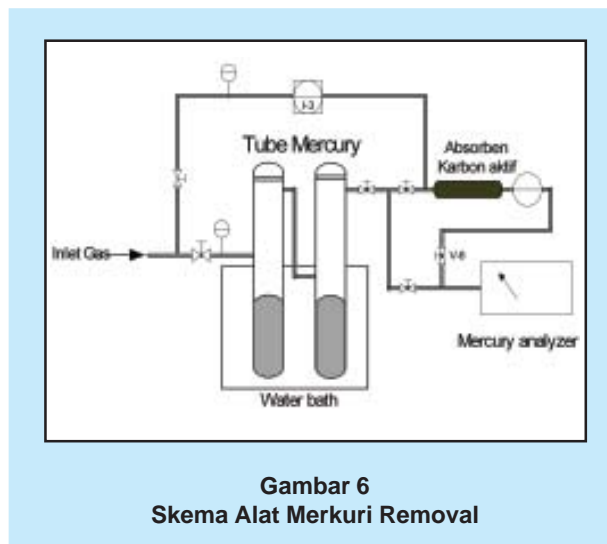
Gambar 5  
Pori Telah Terisi Sepenuhnya

arang. Namun, menurut Prawirakusuma dan Utomo (1970), arang yang diaktifkan dengan bahan pengaktif  $ZnCl_2$  mempunyai rendemen lebih dibandingkan dengan  $CaCl_2$ . Perbedaan ini dapat disebabkan oleh senyawa  $ZnO$  yang melekat pada kisi-kisi heksagon pada pelat-pelat datar arang terikat lebih kuat dibandingkan dengan  $CaO$ . Karena sifat kristal  $ZnO$  lebih tajam dibandingkan dengan  $CaO$ , sehingga pada proses pencucian arang, senyawa-senyawa  $CaO$  banyak yang terikat bersama air pencuci. Suhu  $600^\circ C$  sampai  $700^\circ C$  merupakan suhu optimum untuk aktifasi dengan bahan pengaktif  $ZnCl_2$  (Smisek, 1970). Berbagai zat aktivasi lainnya seperti kalium hidroksida dan zink khlorida telah digunakan, tetapi fakta membuktikan bahwa aktivasi kimia dengan  $ZnCl_2$  menghasilkan luas permukaan dan volume pori yang lebih baik bila dibandingkan dengan zat aktivasi yang lain.

#### IV. TEKNIK RANCANG BANGUN ADSORPSI MERKURI DALAM GAS BUMI

##### A. Skema dan Lay Out Alat

Lihat gambar 6.



Gambar 6  
Skema Alat Merkuri Removal

##### B. Spesifikasi dan Prinsip Kerja Alat

1. *Water bath* ukuran 40 x 30 x 40 cm
2. 2 buah *Tube mercury* ukuran diameter 2,5 cm, tinggi 30 cm
3. *Absorben karbon aktif* diameter 2 cm, panjang 25 cm



Gambar 4.2.  
Rancang Bangun Adsorben *Mercury Removal*

4. *Pressure gauge* 2 buah max 100 psig
5. *Valve* 6 buah
6. *Tee Connection*  $\frac{1}{4}$  " 4 buah
7. *Tubing*  $\frac{1}{4}$  "
8. *Flow meter* 2 buah

Prinsip kerja alat ini adalah gas yang dialirkan akan mendorong uap merkuri masuk ke dalam media adsorben. Merkuri yang teradsorpsi akan tertahan, sedangkan yang lewat media adsorben akan ditangkap oleh cairan penangkap merkuri yang selanjutnya akan diukur konsentrasinya dengan menggunakan *Mercury Analyzer* (WA4). Gas yang dialirkan akan diketahui volumenya dengan melihat putaran alat dari *wet test meter*. Setiap kali pengujian, volume gas yang dialirkan diusahakan tetap atau tidak jauh berbeda.

##### C. Uji Kemampuan Adsorpsi Adsorben dengan Analisis Bilangan Iod

Untuk mengetahui kemampuan adsorpsi dari adsorben (karbon aktif) dilakukan pengujian dengan menggunakan ASTM D-510 sehingga dapat diketahui nilai iod dari masing-masing sampel. Hasil analisis untuk sampel arang I dengan suhu aktifasi  $500^\circ C$  dapat dilihat pada Tabel 1.

##### D. Teknik Percobaan Adsorpsi Merkuri dalam Gas Bumi

###### 1. Pengukuran Merkuri Standar

- a. Gas dari sumber masuk ke dalam tube merkuri yang ada dalam *water bath* pada kondisi temperature  $37^\circ C$ .



- b. Aliran gas yang keluar dari tube merkuri langsung menuju cairan penangkap merkuri ( $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ) .
- c. Cairan penangkap merkuri dianalisis dengan menggunakan *Mercury Analyzer* (Lumex 91)
- d. Konsentrasi merkuri di dalam cairan penangkap terukur dalam satuan  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 2. Pengukuran Merkuri setelah melalui Adsorben Karbon Aktif

- a. Gas dari sumber masuk ke dalam tube merkuri yang ada dalam water bath pada kondisi temperatur  $37^\circ\text{C}$ .
- b. Aliran gas yang keluar dari tube merkuri dilewatkan melalui adsorben karbon aktif, kemudian langsung menuju cairan penangkap merkuri ( $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ )
- c. Cairan penangkap merkuri dianalisis dengan menggunakan *Mercury Analyzer* (Lumex 91)
- d. Konsentrasi merkuri di dalam cairan penangkap terukur dalam satuan  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 3. Pengukuran Konsentrasi Merkuri dengan *Mercury Analyzer* (WA-4)

### Persiapan

Persiapan peralatan (alat dan PC harus dalam keadaan mati dan tidak terhubung ke sumber tegangan)

- Tempatkan lumex dengan *display unit* berada di atas.
- Jika analisa menggunakan PC, hubungkan RA-915 ke PC dengan menggunakan kabel RS-232 atau koneksi lain yang sesuai.
- Hubungkan *output adapter* ke RA-915.
- Rangkai RP-91 dengan *single path* seperti gambar di bawah ini.

Tabel 1  
Hasil Analisis Bilangan Iodium

No	Ukuran Sampel (mesh)	Bobot Sampel (gram)	Volume Tio (mL)	Bilangan Iodium (mg/g)
1	50	2,0024	15,4	79
		2	15,1	83
2	70	2,0021	13,92	101
		2	13,5	108
3	80	2,0015	16,4	64
		2,0014	15,66	75
4	100	2,001	14,31	95
		2	14,63	88

Tabel 2  
Kemampuan Daya Serap Karbon Aktif

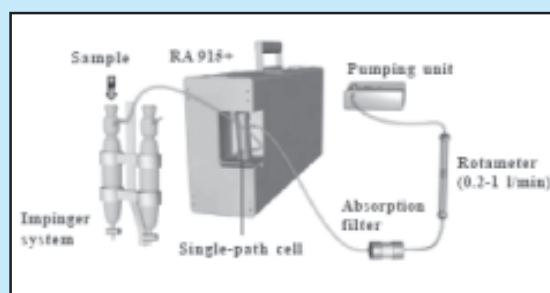
Pemanasan ( $^\circ\text{C}$ )	Bobot Sampel (gram)	Volume Titrasi Sampel (ml)	Vol. Titrasi blanko (ml)	Daya Serap (%)	Rata-rata (%)
	1,2125	13,33	56,23	48,58	
	1,2125	13,32	56,16	48,51	48,54
700	1,2127	13,3	56,23	48,61	
	1,2127	13,31	56,18	48,54	48,58
	1,807	12,2	62,33	38,09	
	1,807	12,21	62,28	37,8	37,94
900	1,8072	12,17	62,33	38,11	
	1,8072	12,17	62,27	38,06	38,08

### Pembuatan kurva kalibrasi

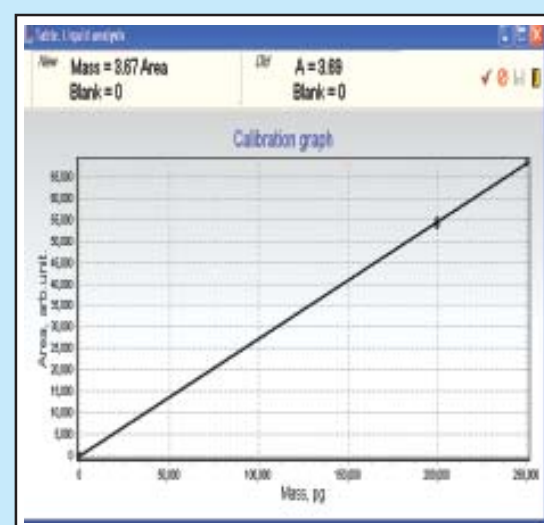
- Masukkan 2 ml pereduksi ke dalam *scrubber*.
- Tekan *run* pada *tool bar*. (akan muncul display start).
- Jika tombol *start* telah aktif, tekan *start* dan dengan segera masukkan 5 ml blank sample ( $K_2Cr_2O_7$ , 4%) ke dalam *scrubber*.
- Setelah 60 detik atau peak mencapai/mendekati 0, klik *end*.
- Hasil dari sample yang dianalisa akan secara otomatis masuk ke dalam tabel.
- Lepas penjepit, buang cairan dalam *scrubber*, dan bilas dengan menggunakan air suling. Pasang kembali penjepitnya.
- Masukkan volume blanko yang digunakan pada langkah 7.3.3. pada kolom V di tabel (mL).
- Isikan "BLANK" pada kolom kedua. Untuk Standar, isikan "Std\_xxx" (xxx= konsentrasi merkuri dalam ng/L).
- Untuk standar, ulangi langkah 8.5.1 - 8.5.8. gunakan 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1 mL standar 0.01 ppm sebanyak 3 kali untuk tiap standar.
- Untuk sampel, ulangi langkah 8.5.1 - 8.5.8. gunakan volume di mana didapatkan hasil merkuri yang areanya berada dalam kurva kalibrasi. Ulangi pengukuran sampel sebanyak 3 kali.
- Pada *menu bar*, pilih *table, select*.
- Pilih semua deret kalibrasi yang digunakan dengan menekan tombol *ctrl*.
- Pada *menu bar* pilih *calculation, calibration graph*.
- Pilih *check list* disebelah kanan atas *window* untuk mengapply kurva kalibrasi. Tutup *window*.
- Pilih semua sampel yang digunakan. Klik *calculate*.
- Rata-rata hasil pengukuran dapat diketahui dengan memilih ulangan sampel yang dilakukan. Kemudian pada *toolbar calculation* klik *spread*.
- Buka *single path cell* dengan melepas *single path cell* dari RA-915, membuka (memutar) bagian kaca, membersihkan *cell* dan kaca dengan menggunakan wol yang dibasahi pelarut. Rangkaian kembali.
- Catat hasil analisis berupa area dan berat sampel/standarnya.

No	Description	Vol	Concl	Area	Measur	Time
1	Std_S000 RL = 0%	5	5000	8000	027018:58:27 AM	
2	Std_S000 RL = 0%	5	5000	8040	027018:59:48 AM	
3	Std_S000 RL = 0%	5	5000	8080	027019:01:08 AM	
4	Std_S000 RL = 0%	4	5000	8470	027019:02:28 AM	
5	Std_S000 RL = 0.7%	4	4900	8380	027019:03:48 AM	
6	Std_S000 RL = 0%	4	4900	8480	027019:05:08 AM	
7	Std_S000 RL = 0%	4	5000	8480	027019:06:28 AM	
8	Std_S000 RL = -2%	4	4900	8240	027019:07:48 AM	
9	Std_S000 RL = -2%	3	4900	8070	027019:09:08 AM	
10	Std_S000 RL = -4%	3	4700	8010	027019:10:28 AM	
11	Std_S000 RL = -2%	3	4900	8080	027019:11:48 AM	
12	BLANK	5	-44.3	0	027019:13:08 AM	
13	BLANK	5	-30.3	0	027019:14:28 AM	
14	BLANK	5	-1.223	-1.10	027019:15:48 AM	
15	BLANK	5	0.3	80	027019:17:08 AM	
16	Sample Condensate	5	3000	4000	027019:18:28 AM	
17	Sample Condensate	5	3000	4100	027019:19:48 AM	

Gambar 8  
Volume dan Konsentrasi Standar,  
Sampel dan Blanko



Gambar 9  
Rangkaian *Single Patch Cell*  
untuk Analisa Hg dalam Liquid

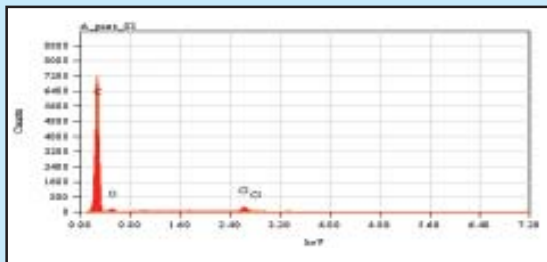


Gambar 10  
Grafik Kalibrasi Pengukuran  
Konsentrasi Merkuri

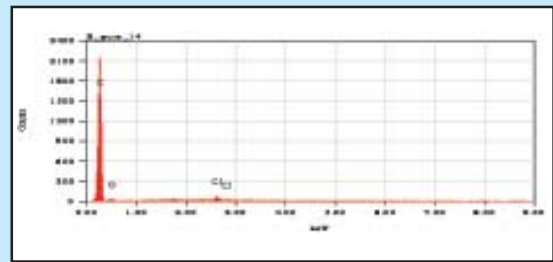
#### 4. Analisis SEM dan EDX

Peralatan yang digunakan adalah model SEM JEOL JSM-6390LA yang dilengkapi dengan JEOL-EDAX dan program untuk melihat sampel. Sampel dilapisi dengan menggunakan alat *carbon coater* JEOL JEC-560 dan *fine gold/palladium coater* JEOL JFC - 1600

#### V. HASIL DATA SEM DAN EDX



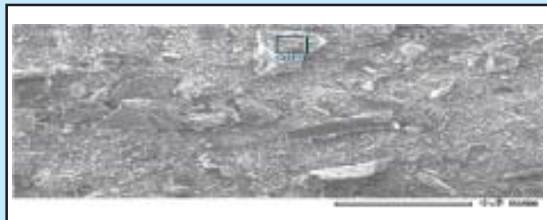
**Gambar 11**  
Prosentasi Cl pada Sampel Adsorben T = 700°C  
Sebelum Aktivasi



**Gambar 14**  
Prosentasi Cl Sampel Adsorben T = 700°C,  
Perendaman Setelah Aktivasi



**Gambar 15**  
Hasil Foto SEM Sampel Adsorben T = 700°C,  
Perendaman Setelah Aktivasi



**Gambar 12**  
Hasil Foto SEM Sampel Adsorben T = 700°C  
sebelum Aktivasi

**Tabel 3**  
Konsentrasi Hg yang Terukur dalam Media  
Cairan Penangkap

Pengujian	Jenis Sampel	Hasil pengukuran merkuri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	Tanpa adsorben	27.633,04
2	Adsorben tanpa $\text{ZnCl}_2$	2.653
	Posisi horizontal	
3	Adsorben tanpa $\text{ZnCl}_2$	2.564
	Posisi horizontal	

```
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.6965
Element      (keV)  mass%  Error%  At%  Compound  mass%  Cation
K
C K          0.277  91.68   0.38   94.30
94.6114
O K          0.525  6.60    4.51   5.10
2.4235
Cl K         2.621  1.72    0.65   0.60
2.9651
Total                100.00  100.00
```

**Gambar 13**  
Hasil Analisis Kuantitatif

**Tabel 4**  
**Konsentrasi Hg yang Terukur dalam Media Cairan Penangkap dengan Perendaman ZnCl<sub>2</sub> Sebelum dan Setelah Aktivasi**

Waktu Perendaman	Konsentrasi merkuri yang tidak terserap adsorben (µg/m <sup>3</sup> )	Konsentrasi merkuri yang tidak terserap adsorben (µg/m <sup>3</sup> )
	Horrizontal	Vertikal
12 jam sebelum aktivasi	8,27	tidak diuji
12 jam setelah aktivasi	3,87	3,1

```

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.5564
Element      (keV)    mass%    Error%    At%    Compound    mass%    Cation
K
C K          0.277     81.99     0.36     91.31
67.0698
O K          0.525     5.87     1.86     4.91
3.9677
Al K         1.486     1.32     0.35     0.65
2.4618
Si K         1.739     0.23     0.34     0.11
0.5082
Cl K         2.621     4.94     0.30     1.86
13.8813
Zn K         8.630     5.65     3.11     1.16
12.1111
Total                100.00    100.00
    
```

**Gambar 16**  
**Hasil Analisis Kuantitatif**

**KESIMPULAN**

1. Kinerja dari alat adsorpsi *mercury removal* (rancang bangun alat *mercury removal*) mampu mengeliminasi kontaminan merkuri dalam gas secara signifikan.
2. Rancangan alat adsorpsi *mercury removal* dibuat dalam skala laboratorium untuk mengkaji sejauh mana kemampuan adsorben karbon aktif terhadap merkuri.
3. Peranan ZnCl<sub>2</sub> sebagai aktifator kimia sangatlah penting karena selain dapat menghasilkan pori-pori baru yang mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi merkuri, perendaman ZnCl<sub>2</sub> juga dapat menghasilkan terbentuknya ikatan C-Cl di mana gugus Cl tersebut dapat mengikat merkuri (Hg) secara ikatan kimia menjadi HgCl atau HgCl<sub>2</sub>.

4. Kondisi percobaan yang optimum diperoleh dengan menggunakan adsorben karbon yang berukuran 70 mesh, diaktivasi pada temperatur 700°C, direndam setelah aktivasi selama 12 jam dan posisi tabung adsorben pada saat percobaan merkuri removal dalam posisi vertikal.

**KEPUSTAKAAN**

1. AWWA.1974.Standard for Granular Carbon. AWWA B604-74. Colorado.
2. ASTM D 4607-94. Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon.
3. ASTM D 1510-03. Standard Test Method for Determination of Carbon Black-Iodine Adsorption Number

4. Radisav D. Vidic, Control of Mercury Emissions in Flue gases by Activated Carbon Adsorption, University of Pittsburgh, PA 15261.
5. Rong Yan; Yuen Ling Ng, Bench-Scale Experimental Study on The Effect of Flue gas Composition on Mercury Removal by Activated carbon Adsorption.
6. Hessler, J.W. 1951. Active Carbon. Chemical Publishing Co Inc. Brooklyn.
7. Jankowska, H., Swiatkowski, And Choma, J. (1991). Active Carbon. Elis Horwood Ltd.
8. Kirk-Othmer. 1964. Encyclopedia of Chemical Technology. Vol-4. Second Edition. USA.
9. Dasar-Dasar Aplikasi Karbon Aktif pada Industri Gas Bumi, Workshop kerjasama PPPTMGB “LEMIGAS” dan Universitas Kristen Widya Mandala Surabaya.
10. Sudrajat, Endang. S. B. 1991. Aktivasi Arang Tempurung Kelapa Dengan Menggunakan Seng Klorida. Teknologi Indonesia Jilid XIV, No 1 : 39-45.
11. Quantachrome Corporation. 2007. Nova®e Series High-Speed Surface Area & Pore Size Analyzers. Boynton Beach, USA.