

# PEMAKAIAN REAKTOR ADSORPSI MENGGUNAKAN ADSORBEN LIMBAH LAS KARBID UNTUK MENGOLAH CO<sub>2</sub>

## UTILIZATION OF ADSORBER USING CARBIDE WELDING WASTE'S ADSORBENT TO REMOVE CO<sub>2</sub>

Ulfi Perdanawati<sup>1</sup> and Kania Dewi<sup>2</sup>

Environmental Engineering Departement, Faculty of Civil and Environmental  
Engineering

Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10, Bandung, 40132

ulfi.perdanawati@gmail.com and [2kanci\\_dewi@yahoo.com](mailto:2kanci_dewi@yahoo.com)

**Abstrak:** Adsorpsi merupakan proses penyerapan fluida tertentu pada permukaan solid. Aplikasi adsorpsi banyak digunakan dalam pengendalian pencemaran udara. Pemilihan adsorben merupakan faktor yang penting dalam desain unit adsorpsi. Adsorben yang digunakan selain mampu mereduksi zat pencemar, diharapkan juga memiliki nilai ekonomi rendah dan pada kondisi jenuh tidak berbahaya bagi lingkungan. Limbah las karbid merupakan produk samping dari pengelasan menggunakan gas asetilen. Dalam United States Patent nomor 5997833, disebutkan bahwa slurry limbah las karbid mengandung Ca(OH)<sub>2</sub>, senyawa alkali hidroksida yang dapat dimanfaatkan untuk mengolah CO<sub>2</sub> melalui proses karbonatasi mineral. Pada penelitian ini digunakan reaktor adsorpsi dengan adsorben limbah las karbid dalam dua variasi bentuk dan empat variasi massa digunakan untuk mereduksi CO<sub>2</sub>. Penentuan kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> dilihat menggunakan persamaan isotherm Linear, Freundlich, dan Langmuir. Selain itu juga ditentukan kesetimbangan massa antara adsorbat dan adsorben, sehingga dapat diketahui, penyisihan CO<sub>2</sub> yang terjadi merupakan hasil reaksi adsorpsi. Dari hasil penelitian diketahui bahwa efisiensi penyisihan CO<sub>2</sub> berbeda pada kedua bentuk adsorben, di mana adsorben serbuk memiliki efisiensi penyisihan terbesar. Hasil analisis isotherm membuktikan proses adsorpsi terjadi mengikuti isotherm Langmuir. Analisis kesetimbangan massa menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi merupakan reaksi antara Ca(OH)<sub>2</sub> dengan CO<sub>2</sub> menghasilkan CaCO<sub>3</sub>.

**Kata kunci:** adsorpsi, Isotherm Linear, Isotherm Freundlich, Isotherm Langmuir, limbah las karbid

### 1. PENDAHULUAN

Adsorpsi adalah proses pengumpulan suatu material pada permukaan adsorben solid (Reynolds, 1982). Reaksi ini merupakan reaksi permukaan yang dipengaruhi oleh gaya-gaya fisik dan ikatan kimia antara material yang diserap (adsorbat) dengan material penyerap (adsorben). Jika gaya-gaya fisik lebih dominan, maka yang terjadi adalah adsorpsi fisik, sedangkan jika yang terjadi adalah ikatan kimia antara adsorbat dan adsorben, maka akan terjadi adsorpsi kimia. Aplikasi adsorpsi banyak digunakan dalam pengendalian pencemaran udara.

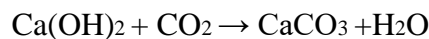
Dalam desain unit adsorpsi, pemilihan adsorben merupakan faktor yang penting. Selain diharapkan dapat mereduksi polutan, adsorben yang digunakan hendaknya memiliki nilai ekonomi rendah, mudah didapatkan, dan tidak membahayakan lingkungan pada kondisi jenuh. *United States Patent number 5997833*, limbah las karbid sebagai produk samping pengelasan menggunakan gas asetilen, mengandung Ca(OH)<sub>2</sub> 80.5%, (Bunger, et al, 1999) yang dapat dimanfaatkan untuk mereduksi

Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) melalui proses karbonatasi mineral. Karbon-dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan gas rumah kaca yang diemisikan secara bebas ke atmosfer dari sektor industri dan transportasi. Dengan konsentrasi alami 360 ppm<sub>v</sub> di atmosfer (Brimblecombe, 1996), emisi ini mempengaruhi kesetimbangan gas alami di atmosfer. Emisi CO<sub>2</sub> mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Pada tahun 1971, total emisi

CO<sub>2</sub> 14.1 GtCO<sub>2</sub> per tahun, namun pada tahun 2007, jumlah ini meningkat dua kali lipat, dengan 94% dari total emisi tersebut berasal dari sektor energi (International Energy Agency, 2009). Terkait dengan dampaknya terhadap pemanasan global, pengendalian emisi CO<sub>2</sub> merupakan hal yang penting.

Banyak metode pengendalian CO<sub>2</sub> yang telah dikembangkan. Sebelum CO<sub>2</sub> dapat diolah, dibutuhkan teknologi untuk meningkatkan konsentrasi CO<sub>2</sub> (Chaffee, et al, 2007). Dua metode pengendalian CO<sub>2</sub> dari sumber emisi potensial seperti pembangkit listrik adalah adsorpsi kimia dan adsorpsi fisik (Zhijian Liang, et al, 2009). Teknologi pemisahan dan pemurnian gas dengan metode adsorpsi telah menjadi teknologi utama di industri minyak dan petrokimia (Cavenetti et al, 2004).

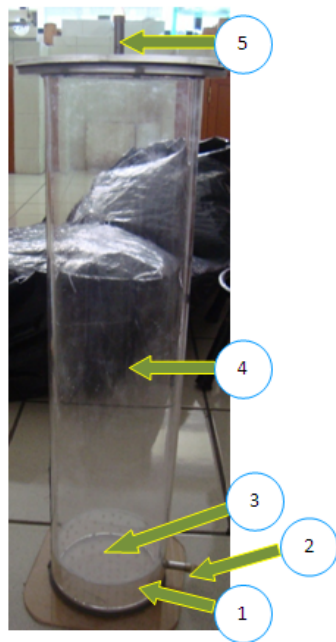
Namun, belum ada yang melakukan penelitian mengenai adsorpsi CO<sub>2</sub> memanfaatkan senyawa alkali dalam limbah las karbid. Reaksi yang terjadi dalam reaksi adsorpsi ini adalah:



Selain dapat mereduksi CO<sub>2</sub>, keuntungan lain dari proses ini adalah mengurangi pencemaran limbah alkali dari pengelasan menggunakan gas asetilen. CaCO<sub>3</sub> yang dihasilkan dari reaksi ini relatif lebih stabil dan dapat dimanfaatkan sebagai material konstruksi.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di laboratorium menggunakan reaktor *batch* semi kontiniu berbentuk bulat dari bahan *flexy glass* dengan diameter 12 cm dan tinggi 50 cm. Seperti terlihat pada **Gambar 1**, reaktor ini memiliki inlet pada bagian bawah, dan outlet pada bagian atas. Sebelum penelitian dijalankan, pertama kali dilakukan persiapan adsorben dan adsorbat yang akan digunakan. Sebelum digunakan, komposisi limbah las karbid ditentukan dengan analisis AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*). Variasi adsorben dilakukan pada bentuk dan massa, yaitu bentuk bulat dan serbuk, dengan masing-masing empat variasi massa, yaitu 20 gram, 40 gram, 60 gram, dan 80 gram. Setelah adsorben AP1-3 direaksikan dengan adsorben di dalam reaktor, komposisi akhir adsorben ditentukan lagi dengan analisis AAS dan XRD



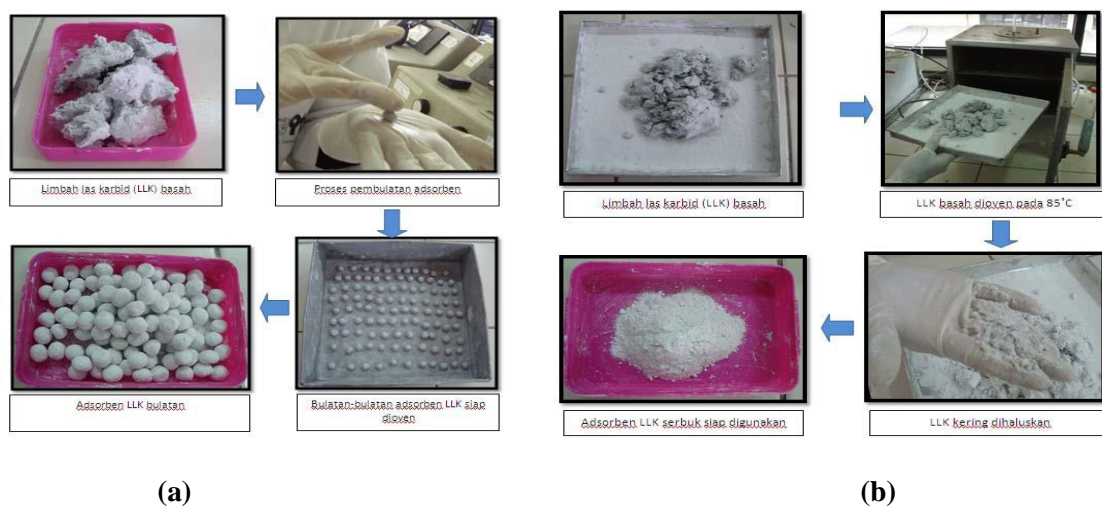
Keterangan:

1. Inlet reaktor, berfungsi sebagai tempat masuknya udara yang mengandung CO<sub>2</sub> dengan konsentrasi tertentu.
2. Kolom kosong, berfungsi sebagai wadah pencampuran udara sebelum berkontak dengan adsorben.
3. Lubang udara, tempat masuknya udara dari kolom kosong ke area adsorpsi.
4. Area adsorpsi, merupakan area tempat terjadinya adsorpsi.
5. Outlet reaktor, merupakan tempat keluarnya udara hasil adsorpsi.

Gambar 1. Reaktor Adsorpsi

## 2.1 Pembuatan Adsorben

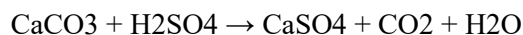
Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah las karbid dalam fasa solid kering. Limbah las karbid hasil pengelasan berbentuk *slurry*, sehingga sebelum digunakan sebagai adsorben harus dikeringkan dulu pada temperatur 80°C. Adsorben disiapkan dalam dua bentuk sebagai variasi luas permukaan, yaitu bentuk bulatan dengan diameter 0.8 cm dan bentuk serbuk. Proses pembuatan adsorben dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Proses Pembuatan Adsorben  
(a) Adsorben Bulatan (b) Adsorben Serbuk

## 2.2 Persiapan Adsorbat

Dalam penelitian ini, CO<sub>2</sub> merupakan adsorbat yang akan disisihkan melalui proses adsorpsi. CO<sub>2</sub> yang digunakan berasal dari reaksi eksotermis CaCO<sub>3</sub> dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dalam *Kipp Equipment* yang dapat dilihat pada **Gambar 3**. Reaksi yang terjadi adalah:



CO<sub>2</sub> yang dihasilkan memiliki konsentrasi mendekati 100%, sehingga perlu diencerkan hingga 19% agar sesuai dengan kapasitas pengukuran maksimum *Auto Emission Analyzer*.



(a)

(b)

**Gambar 3.** Kipp Equipment

(a) Kipp Equipment (b) Reaksi Eksotermis CaCO<sub>3</sub> dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

## 2.3 Running Reaktor

Penelitian dilakukan pada empat variasi massa adsorben terhadap dua bentuk, yaitu bulatan dan serbuk. Variasi massa yang digunakan adalah 10 gram, 20 gram, 30 gram, dan 40 gram. Reaktor adsorpsi dijalankan pada konsentrasi CO<sub>2</sub> sekitar 19% dan adsorben dengan massa tertentu ditempatkan di dalam reaktor. Konsentrasi CO<sub>2</sub> tiap 0.5 menit diukur secara kontiniu dengan *Auto- Emission Analyzer*. **Analisis AAS dan XRD**

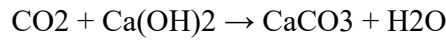
Analisis AAS dan XRD dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia limbah las karbid. Analisis ini dilakukan pada adsorben baru dan adsorben yang sudah direaksikan dengan CO<sub>2</sub> di dalam reaktor.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Komposisi Adsorben

Adsorben yang digunakan adalah limbah las karbid. Komposisi limbah las karbid ditentukan dari analisis AAS dan XRD, untuk mengetahui kandungan mineral kalsium (Ca)

dalam limbah las karbid. Komposisi kimia limbah las karbid yang digunakan sebagai adsorben dapat dilihat pada **Tabel 1**. Dari hasil analisis, diketahui bahwa proses adsorpsi CO<sub>2</sub> yang terjadi memanfaatkan Ca(OH)<sub>2</sub>, dan menghasilkan CaCO<sub>3</sub> melalui reaksi:



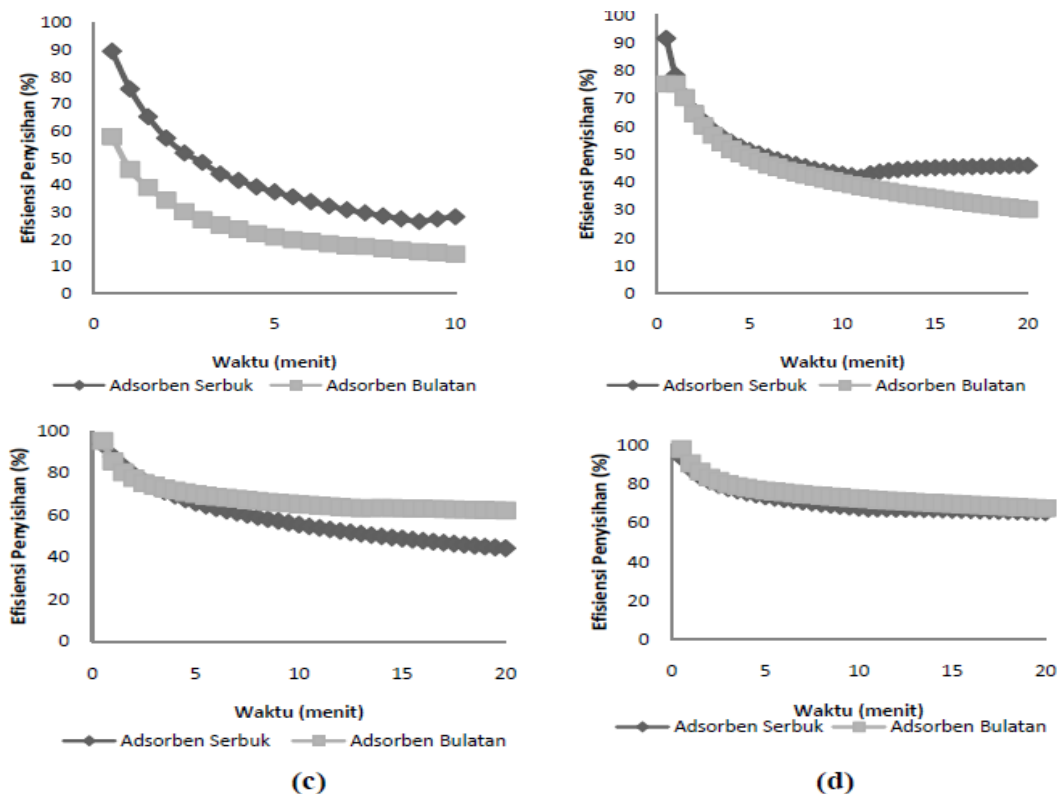
Sampel awal merupakan limbah las karbid baru yang belum dipakai. merupakan

**Tabel 1.** Hasil Analisis AAS dan XRD

Parameter	Sampel			Metode
	Adsorben Awal	Adsorben Serbuk	Adsorben Bulatam	
CaO Total (%)	57.50	64.20	62,5	Volumetri
LOI (%)	35.20	29.60	29,9	Gravimetri
CaCO <sub>3</sub> (%)	0.62	20.00	22,5	Hasil Perhitungan
Ca(OH) <sub>2</sub>	75.70	70.00	65,9	Hasil Perhitungan

### 3.2 Pengaruh Bentuk Adsorben

Bentuk adsorben mempengaruhi efisiensi penyerapan CO<sub>2</sub> dalam reaktor adsorpsi. Pada **Gambar 4** dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan CO<sub>2</sub> lebih besar terdapat pada adsorben serbuk.

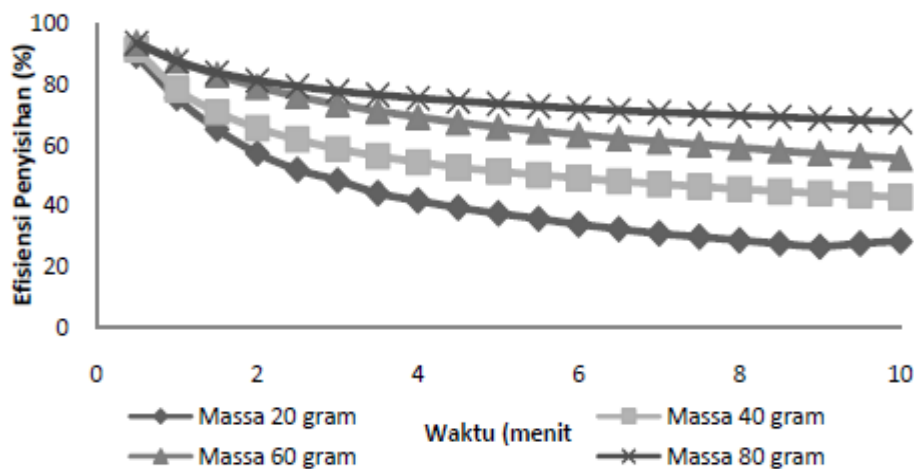


**Gambar 4.** Pengaruh Bentuk Adsorben terhadap Efisiensi Penyisihan (a) massa 10 gram (b) massa 20 gram (c) massa 30 gram (d) massa 40 gram

Perbedaan efisiensi penyisihan CO<sub>2</sub> pada adsorben serbuk dan bulatan terjadi karena perbedaan diameter adsorben mempengaruhi efisiensi penyisihan CO<sub>2</sub> melalui proses adsorpsi. Memperkecil diameter adsorben akan menghasilkan luas permukaan yang lebih besar. Adsorpsi adalah fenomena permukaan, sehingga semakin luas permukaan adsorben, efisiensi penyisihan CO<sub>2</sub> akan semakin besar. Namun, hasil ini tidak berlaku pada penelitian untuk massa adsorben lebih besar dari 40 gram. Seperti terlihat pada **Gambar 3**, efisiensi penyisihan pada adsorben bulatan jauh lebih besar dibanding adsorben serbuk. Hal ini dipengaruhi kondisi operasional reaktor, karena semakin besar massa adsorben, area kontak antara adsorben serbuk dengan adsorbat semakin kecil, karena terjadinya penumpukan. Pada adsorben bulatan, peningkatan massa tidak mempersempit area kontak, karena masih terdapat area kosong antar bulatan adsorben.

### 3.3 Pengaruh Massa Adsorben

Efisiensi penyisihan CO<sub>2</sub> ditentukan dari hasil running penelitian untuk tiap variasi bentuk dan massa adsorben. Dari **Gambar 5** dan **Gambar 6** dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan CO<sub>2</sub> berubah terhadap waktu dan massa adsorben. Penentuan efisiensi penyisihan pada keempat variasi massa dilakukan pada waktu running 10 menit, mengingat waktu running untuk adsorben dengan massa 20 gram yang hanya 10 menit. Dari hasil penelitian, untuk adsorben serbuk dan bulatan, dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan paling besar terdapat pada massa adsorben 80 gram, dan semakin menurun hingga pada massa 20 gram. Efisiensi penyisihan paling rendah terdapat pada adsorben dengan massa 20 gram.



**Gambar 5.** Efisiensi Penyisihan CO<sub>2</sub> pada Empat Variasi Massa Adsorben Serbuk

### 3.4 Isotherm Reaksi Adsorpsi

Isotherm reaksi digunakan untuk mengevaluasi kapasitas adsorpsi dan parameter termodinamik, seperti energi adsorpsi (Memon, et al, 2007). Pada penelitian ini, kapasitas adsorpsi dianalisis menggunakan Isotherm Linear, Freundlich, dan Langmuir. *Isotherm Linear*

Isotherm ini merupakan isotherm yang sederhana, dan umumnya berlaku untuk adsorpsi gas dalam larutan dan padatan. **Persamaan (1)** menggambarkan isotherm linear.

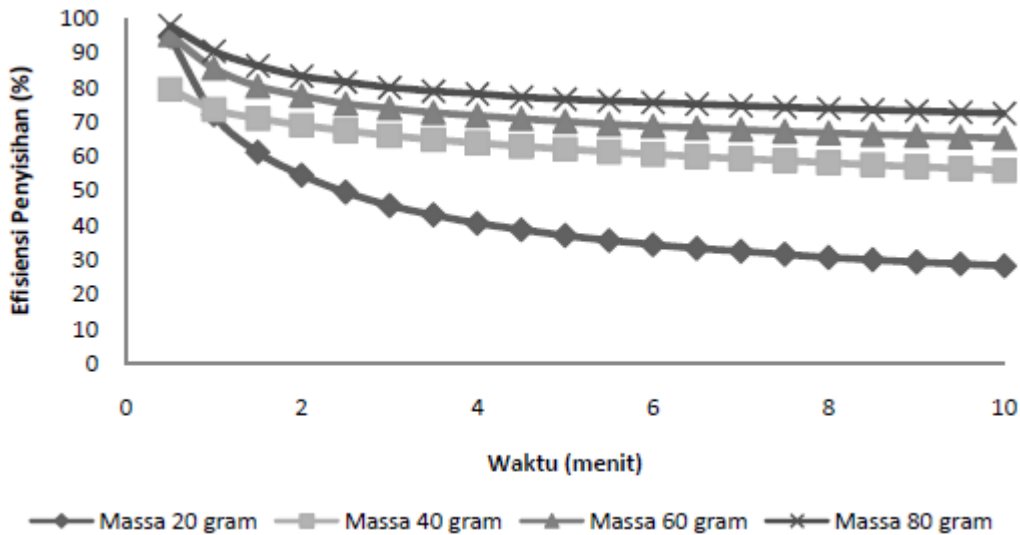
Di mana:

$$S = K^d C_e \quad (1)$$

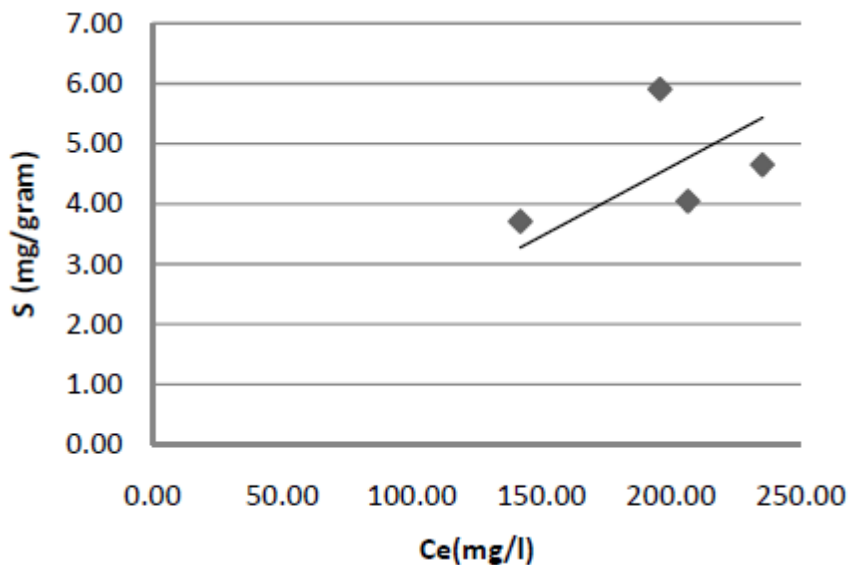
$S$  = Massa kontaminan yang teradsorpsi per satuan berat massa adsorben (mg/gram adsorben)

$C_e$  = Konsentrasi kontaminan dalam kondisi setimbang setelah kontak dengan adsorben (mg/l)

$K^d$  = Koefisien distribusi, yaitu koefisien yang menggambarkan banyaknya permukaan adsorben aktif dalam bentuk fraksi terhadap permukaan partikel



**Gambar 6.** Efisiensi Penyisihan CO2 pada Empat Variasi Massa Adsorben Bulatan

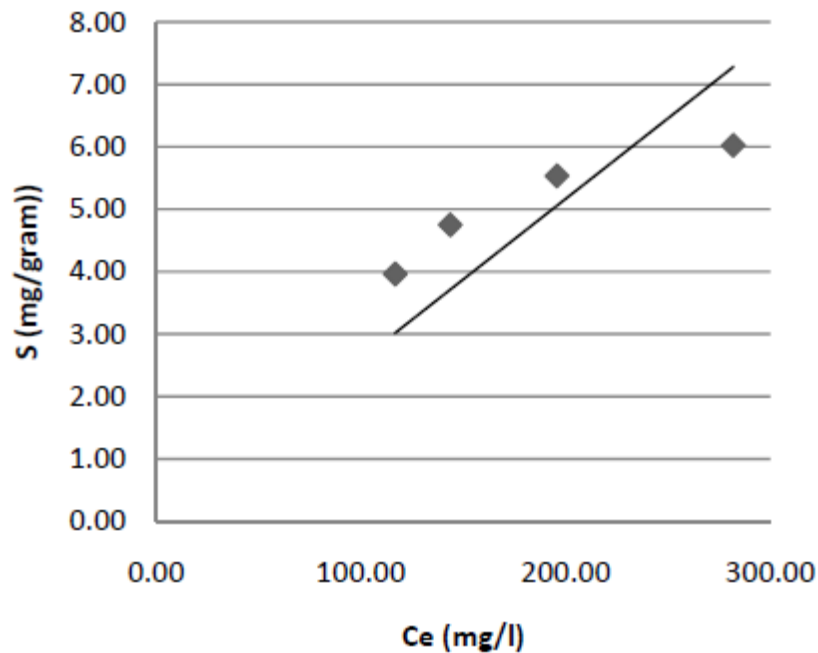


**Gambar 7.** Isotherm Linear untuk Adsorben Serbuk

Persamaan isotherm linear yang diperoleh adalah  $S = 0,023 C_e$ . Nilai  $K_d$  diperoleh dari kemiringan grafik, yaitu 0,023.  $K_d$  merupakan konstanta yang menggambarkan banyaknya permukaan aktif adsorben yang dapat mengikat adsorben. dengan nilai 0,023, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan isotherm linear, permukaan adsorben memiliki



permukaan aktif yang rendah sehingga penyerapan adsorben relatif rendah. Grafik isotherm linear untuk adsorben serbuk dapat dilihat pada **Gambar 7**.



**Gambar 8.** Isotherm Linear untuk Adsorben Bulatan

Grafik isotherm linear untuk adsorben bulatan dapat dilihat pada **Gambar 8**. pada adsorben bulatan, nilai koefisien korelasi  $R^2 = -0,54$ , sehingga grafik yang diperoleh tidak memenuhi persamaan linear. Oleh karena itu, asumsi-asumsi pada isotherm linear tidak dapat digunakan untuk menggambarkan adsorpsi antara adsorben limbah las karbid dengan CO<sub>2</sub>.

*Isotherm Freundlich* Isotherm Freundlich digunakan untuk adsorpsi fase cair dan gas dengan asumsi adsorpsi hanya terjadi pada lapisan permukaan pertama adsorbat (*monolayer*). Persamaan isotherm Freundlich dapat dilihat pada **Persamaan (2)**:

$$S = K_f C_e^n \quad (2)$$

Dengan

S = Massa kontaminan yang teradsorpsi per satuan berat massa adsorben (mg/gram adsorben)

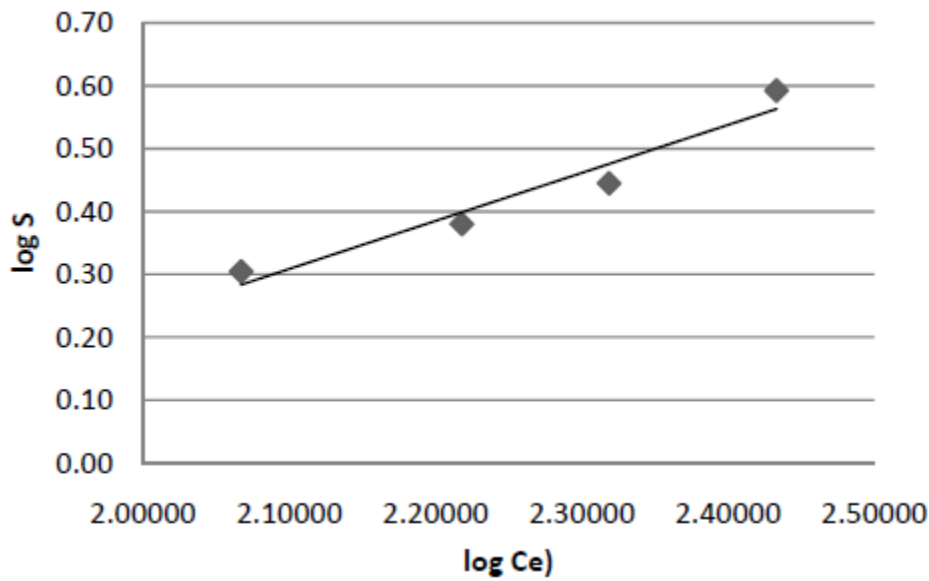
K<sub>f</sub> = Konstanta yang menyatakan kapasitas adsorpsi

n = Konstanta yang berhubungan dengan energi adsorpsi terhadap heterogenitas situs adsorben.

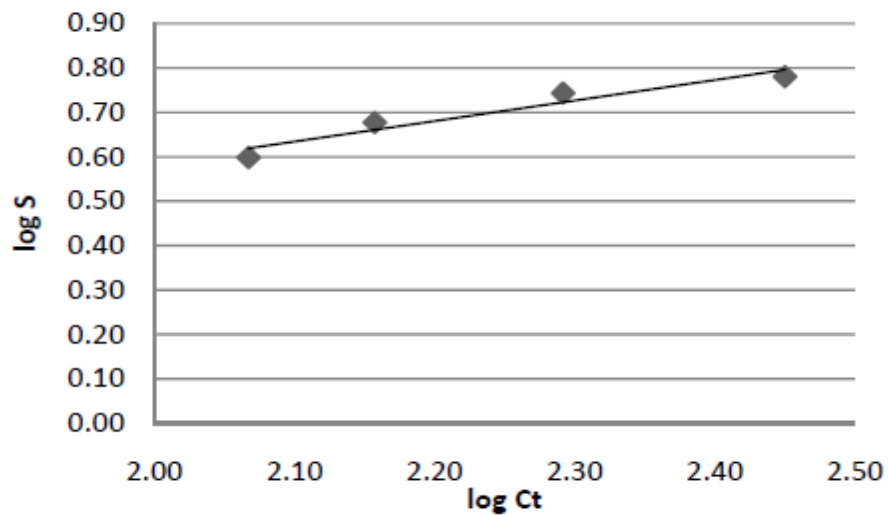
C<sub>e</sub>=Konsentrasi kontaminan dalam kondisi setimbang setelah kontak dengan adsorben (mg/l)

Pada **Gambar 9** dan **Gambar 10** dapat diketahui kesesuaian adsorpsi CO<sub>2</sub> dengan adsorben limbah las karbid. Nilai konstanta k dan n untuk masing-masing variasi bentuk adsorben dapat dilihat pada **Tabel 2**. Nilai n menandakan gaya yang bekerja selama proses adsorpsi pada permukaan adsorben (Bamgbose, et.al 2008).





**Gambar 3.** Isotherm Freundlich untuk Adsorben Serbuk



**Gambar 4.** Isotherm Freundlich untuk Adsorben Bulatan

### 3.5 Isotherm Langmuir

Langmuir menggambarkan hubungan antara situs aktif permukaan yang mengalami adsorpsi terhadap tekanan. **Persamaan (3)** merupakan persamaan Isotherm Langmuir.

$$S = \frac{a_1 b_1 C_e}{1 + a_1 C_e} \quad (3)$$

Dengan x = massa gas yang diadsorpsi (gram)

m = massa adsorben (gram)

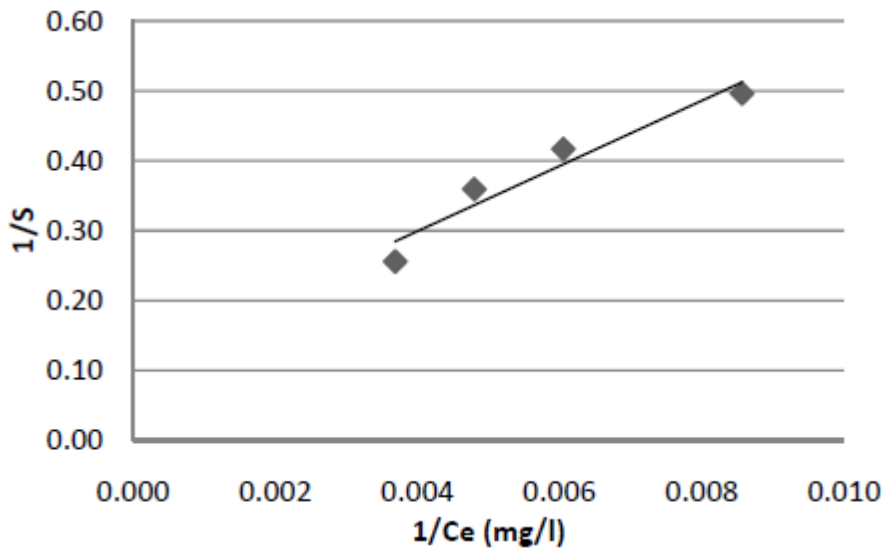
$a_1$  = konstanta yang menunjukkan energi ikatan antara adsorbat dan adsorben

$b_1$  = konstanta yang menunjukkan massa adsorbat yang teradsorpsi (g/g)

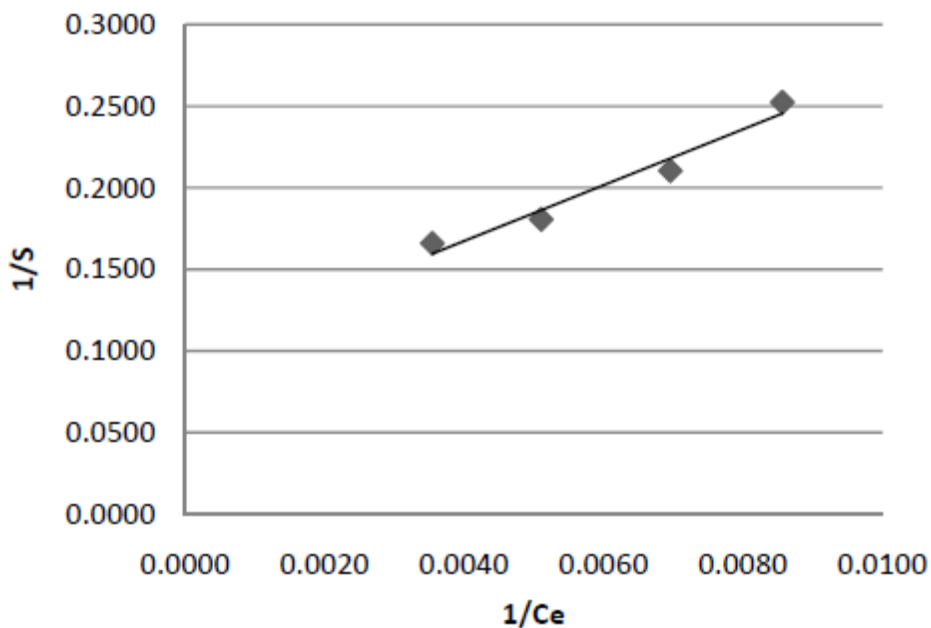
Dari **Persamaan (3)** dilakukan linearisasi, sehingga menghasilkan **Persamaan (4)** yang merupakan linearisasi dari persamaan Isotherm Langmuir.

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{b_1} + \frac{1}{a_1 b_1 C_e} \quad (4)$$

Pada **Gambar 11** dan **Gambar 12** dapat dilihat hubungan linear antara  $\frac{1}{S}$  dengan  $\frac{1}{C_e}$ . Dari grafik tersebut dapat ditentukan konstanta  $a_1$  dan  $b_1$ . Hasil perhitungan konstanta ini dapat dilihat pada **Tabel 2**.



**Gambar 5.** Isotherm Langmuir untuk Adsorben Serbuk



**Gambar 62.** Isotherm Langmuir untuk Adsorben Bulatan

**Tabel 2.** Rekapitulasi Nilai Konstanta Isotherm

Isotherm Linear		
Adsorben Serbuk	$K_d = 0,023$	$R^2 = -0,15$
Adsorben Bulatan	$K_d = 0,025$	$R^2 = -0,54$
Isotherm Freundlich		
Adsorben Serbuk	$n = 0,764 \text{ mg/gram}$	$R^2 = 0,942$
Adsorben Bulatan	$n = 0,462 \text{ mg/gram}$	$R^2 = 0,928$
Isotherm Langmuir		
Adsorben Serbuk	$b_1 = 89,29 \text{ mg/gram}$	$R^2 = 0,932$
	$a_1 = 2,4 \times 10^{-4}$	
Adsorben Bulatan	$b_1 = 10,204 \text{ mg/gram}$	$R^2 = 0,959$
	$a_1 = 5,73 \times 10^{-3}$	

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa adsorpsi CO<sub>2</sub> pada limbah las karbid sesuai dengan isotherm Langmuir. Isotherm Langmuir menggambarkan sistem adsorbat-adsorben, di mana perluasan jangkauan adsorbate terbatas pada lapisan pertama dari adsorben. Isotherm Langmuir menggambarkan bahwa adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi kimia (*chemisorption*), yaitu terbentuknya ikatan kimia antara adsorben dan adsorbat. Kapasitas adsorpsi pada adsorben serbuk (89,29 mg/gram) lebih besar dibanding adsorben bulatan (10,204

mg/gram). Hasil ini membuktikan bahwa pada adsorben serbuk, jumlah CO<sub>2</sub> yang terserap jauh lebih besar, pada jumlah adsorben yang sama. Dari persamaan isotherm Langmuir, selain diperoleh besaran kapasitas adsorpsi, juga dapat ditentukan energi ikatan antara adsorbat dan adsorben. Pada adsorben serbuk, energi ikatan adsorbatadsorben adalah  $2,4 \times 10^{-4}$ , sedangkan pada adsorben bulatan, energi ikatannya sebesar  $5,73 \times 10^{-3}$ .

Berdasarkan hasil perhitungan isotherm, isotherm Freundlich memiliki nilai R<sup>2</sup> mendekati 1. Namun, hasil perhitungan isotherm Freundlich tidak dapat digunakan untuk menggambarkan adsorpsi pada adsorben limbah las karbid. Dari persamaan isotherm yang diperoleh, nilai K<sub>f</sub> yang menyatakan kapasitas adsorpsi tidak dapat dihitung. Akibatnya, tidak dapat dibandingkan kapasitas adsorpsi dari hasil penelitian dengan perhitungan menggunakan isotherm Freundlich.

#### 4. KESIMPULAN

Adsorpsi CO<sub>2</sub> menggunakan limbah las karbid dalam suatu reaktor *batch* semi kontiniu mampu mereduksi CO<sub>2</sub> dengan efisiensi yang menurun terhadap waktu, dan waktu operasional yang meningkat berdasarkan penambahan massa adsorben.

Kapasitas penyerapan adsorben limbah las karbid ditentukan dengan menggunakan tiga isotherm; Isotherm Linear, Isotherm Freundlich, dan Isotherm Langmuir. Dari ketiga isotherm ini, yang mendekati isotherm adsorpsi CO<sub>2</sub> pada penelitian yang dilakukan adalah Isotherm Langmuir. Isotherm Langmuir menggambarkan sistem adsorbat-adsorben, di mana perluasan jangkauan adsorbate terbatas pada lapisan pertama dari adsorben. Isotherm Langmuir menggambarkan bahwa adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi kimia (*chemisorption*), yaitu terbentuknya ikatan kimia antara adsorben dan adsorbat. Bentuk dan variasi massa adsorben mempengaruhi efisiensi dan kapasitas penyerapan adsorben, di mana bentuk adsorben serbuk dan massa 80 gram memiliki efisiensi penyisihan yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brimblecombe, Peter.** 1996. *Air Composition and Chemistry*. Great Britain: Cambridge University Press.
- Bunger, James W., Don Cogswell, Jerald W. Wisler.** 1999. *Apparatus and process for purifying highly impure calcium hydroxide and for producing high-value AP1-12 precipitated calcium carbonate and other calcium products*. United States Patent nomor 5997833. Available from: <http://www.patentstorm.us>. [Diakses tanggal 11/12/2009].
- Chaffe, Alan L, Gregory P. Knowles, Zhijian Liang, Jun Zang, Penny Xiao and Paul A. Webley.** 2007. *CO<sub>2</sub> Capture by Adsorption: Materials and Process Development*. International Journal of Greenhouse Gas Control I (2007) 11-18.
- Caveneti, Simone, Carlos A. Grande, and Alirio E. Rodrigues.** 2004. *Adsorption Equilibrium of Methane, Carbon Dioxide, and Nitrogen on Zeolite 13X at high Pressure*. J. Chem. Eng. Data 2004, 49, 1095-1101.
- International Energy Agency.** 2009. *CO<sub>2</sub> Emission from Fuel Combustion* J. T, Bamgbose, Adewuyi S, and Adetoye A. A, 2008. *Adsorption Kinetics of Cadmium and Lead by Chitosan*. African Journal of Biotechnology Vol. 9 (17), pp. 2560-2565, 26 April, 2010.
- Liang, Zhijian, Bandar Fadhel, Caspar J. Schneider, Alan L. Chaffe.** 2009. *Adsorption of CO<sub>2</sub> on mesocellular siliceous foam iteratively functionalized with dendrimers*. Adsorption (2009) 15:429-437. Adsorption (2009) 15: 429-437, Springer Science.
- Menon, G. Zuhra, M. I Bhangar,** Mubeena Akhtar, Farah N. Talpur, Jamil R. Memon. 2007. *Adsorption of Methyl Parathion Pesticide from Water Using Watermelon Peels as a Low Cost Adsorbent*. Chemical Engineering Journal 138 (2008) 612-621.