

PENYERAPAN GAS CO HASIL PEMBAKARAN SAMPAH MENGUNAKAN MODIFIKASI SORBENT Ca(OH)_2 , TANAH DIATOMEAE (DE) DAN KOMPOS DALAM REACTOR *FIXED BED*

GAS ABSORPTION OF CO BY INCINERATOR USING MODIFIED SORBENT OF Ca(OH)_2 , DIATOMACEOUS EARTH (DE) AND COMPOST IN FIXED BED REACTOR

Mariana

**Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111,
Indonesia**

Email: Mariana_hasyim@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan reaktivitas sorbent Ca(OH)_2 dengan menggunakan tanah diatomeae sebagai sumber silika dan kompos sebagai sumber *biosorbent*. Tanah diatomea umumnya mengandung CaO , SiO_2 dan Al_2O_3 . Reaksi antara SiO_2 dengan Ca(OH)_2 membentuk kalsium silicate hidrat ($\text{CaO.SiO}_2.2\text{H}_2\text{O}$) yang mempunyai porositas dan reaktivitas yang tinggi. Kompos mengandung bakteri sebagai *biosorbent* yang dapat mengubah gas CO menjadi CO_2 dan CH_4 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktivitas sorbent Ca(OH)_2 meningkat dengan penambahan DE dan kompos. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penyerapan gas CO meningkat dengan meningkatnya tinggi unggun sorbent dan temperatur. Penyerapan gas CO tertinggi diperoleh pada penggunaan modifikasi sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE}/\text{kompos}$ (3:1:1), temperatur 150°C dan tinggi unggun sorbent 6 cm dari variabel yang dilakukan.

Kata kunci: *Fixed bed* reaktor, Penyerapan gas, Sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{tanah diatome}/\text{kompos}$

Abstract

This study aims to improve the reactivity of sorbent Ca(OH)_2 by using the land as a source of silica diatomeae and compost as a source of biosorbent. Diatomaceous earth generally contains CaO , SiO_2 and Al_2O_3 . The reaction between SiO_2 with Ca(OH)_2 to form calcium silicate hydrate ($\text{CaO.SiO}_2.2\text{H}_2\text{O}$) which has a high porosity and reactivity. Compost as biosorbent contains bacteria that can convert CO into CO_2 gas and CH_4 . The results showed that the reactivity of sorbent Ca(OH)_2 increased with the addition of DE and compost. The results also showed that the CO gas absorption increases with increasing height and temperature sorbent bed. Highest CO gas absorption obtained on the use of modified sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE}/\text{kompos}$ (3:1:1), temperature 150°C and sorbent bed height 6 cm from the variable which had been done.

Keywords: *Fixed bed reactors, gas absorption, Sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{diatomaceous soil}/\text{compost}$*

1. PENDAHULUAN

Jutaan sampah dibuang ke lingkungan setiap harinya. Sebagian besar sampah ditumpuk dalam bentuk *landfill* di permukaan tanah, dibuang ke sungai atau laut tanpa penanganan terlebih dahulu. Sampah merupakan masalah yang paling serius terutama untuk daerah perkotaan yang berpenduduk pesat. Salah satu penanganan sampah dapat dilakukan melalui proses pembakaran di dalam sebuah *incinerator* (alat pembakaran sampah).

Gas-gas hasil pembakaran sampah dalam *incinerator* umumnya mengandung: (1) debu; (2) gas-gas seperti sulfur dioksida (SO_2), nitrogen oksida (NO_x), carbon monoksida (CO), asam hidroklorik; (3) dan logam-logam. Semua gas-gas tersebut di atas sangat berbahaya karena dapat bereaksi dengan radikal bebas di udara membentuk asam yang dapat menyebabkan terjadinya hujan asam dan penipisan lapisan ozon sehingga menyebabkan terjadinya panas global bumi serta dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti iritasi pernapasan, batuk dan sebagainya yang dapat meningkatkan angka kematian.

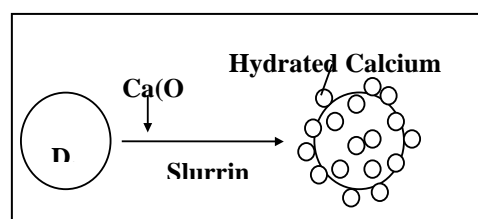
Berbagai teknologi proses penyisihan gas hasil pembakaran telah dilakukan. Proses yang umum digunakan adalah proses kering dan proses basah. Penggunaan proses kering mempunyai beberapa keunggulan dari proses basah antara lain: (1) murah; (2) mudah penanganan; dan (3) tidak menghasilkan limbah cair. Salah satu proses pemisahan gas secara kering yang efektif, sederhana, mudah penanganan dan murah adalah menggunakan reaktor bag filter dengan menggunakan absorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Namun demikian proses ini juga mempunyai beberapa kelemahan antara lain adalah rendahnya konversi sorbent dan efisiensi pemisahan gas (Mariana dkk., 2003; Seno dkk., 1996; Uchida dkk., 1979).

Untuk meningkatkan efisiensi pemisahan gas dan meningkatkan reaktivitas sorbent (konversi kalsium), berbagai variasi bahan tambahan

(*additive*) dapat ditambahkan ke dalam sorbent. Sorbent yang diperoleh dengan mencampur kalsium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) di dalam air dengan bahan mengandung silika dapat meningkatkan konversi kalsium dibandingkan dengan konversi kalsium yang diperoleh tanpa campuran *additive* (Garea dkk., 1996). Penambahan kompos ke dalam sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bisa meningkatkan pemisahan gas CO yang disebabkan oleh bakteri sebagai *biosorbent* akan mengubah gas CO menjadi gas CO_2 dan CH_4 (Suprpto, 2003). Penelitian tentang modifikasi sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan DE dan kompos sejauh ini belum ditemukan.

Penelitian ini difokuskan pada persiapan absorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang mempunyai reaktivitas yang tinggi dengan penambahan *additive* tanah diatome (DE) dan kompos.

Berbagai literature mengemukakan bahwa reaksi *pozzolanic* antara silika dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ di dalam larutan (*slurry*) membentuk kalsium silikat hidrat (*hydrated calcium silicates* (CSHs)) dan kalsium alumina (CAHs) yang tinggi yang dapat meningkatkan reaktivitas dari sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Liu dkk., 2002; Ho dan Shih, 1992; Ishizuka dkk., 2000). Gambar 1 menunjukkan model reaksi *pozzolanic* $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan silika yang mengandung DE.



Gambar 1. Model reaksi *pozzolanic* $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan silika yang mengandung DE (Mariana, 2003)

Beberapa literature juga menyebutkan bahwa reaktivitas sorbent sangat tergantung pada luas permukaan kontak sorbent (*specific surface area*) (Klinspor dkk., 1983; 1984). Secara jelas

pengaruh luas permukaan kontak terhadap laju reaksi dengan menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebagai sorbent padat telah direport oleh beberapa literatur (Irabien dkk., 1992; Ortiz dkk., 1993). Tsuchiai dkk. (1995) menyebutkan bahwa penghilangan gas maksimum diperoleh ketika pada waktu sebuah sorbent mencapai diameter pori rata-rata (*mean pore diameter*) maksimum, tetapi pada saat itu luas permukaan kontak spesifik (*specific surface area*) belum mencapai maksimum. Renado dkk. (1999) menunjukkan bahwa volume *mesopore* dan *macropore* merupakan komponen yang paling utama yang berhubungan dengan reaktifitas sorbent dan konversi penyisihan gas.

Lin dan Shih (2003) menyebutkan bahwa peningkatan luas permukaan kontak spesifik (*specific surface area*) sangat dipengaruhi oleh peningkatan volume total pori. Jozewicz dkk. (1987) menyebutkan bahwa peningkatan spesies hidrat (*hydrated species*) yang terdapat di dalam permukaan sorbent dapat meningkatkan reaktifitas padatan dan diharapkan untuk menghilangkan hidrasi air dengan pengontakan sorbent dan gas panas untuk menghasilkan pori baru yang mempunyai luas permukaan kontak baru. Peristiwa ini umumnya dikenal dengan proses kalsinasi.

Jika reaktifitas sorbent sangat tergantung pada luas permukaan kontak spesifik (*specific surface area*) dan volume total pori, maka sangatlah penting untuk meningkatkan luas permukaan kontak spesifik dan volume pori dari sebuah sorbent padat melalui proses kalsinasi.

Kompos adalah hasil penguraian parsial atau tidak lengkap dari campuran bahan-bahan organik yang dapat dipercepat secara artifisial oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, lembab, dan *aerobik* atau *anaerobik*. Pengomposan adalah proses dimana bahan organik mengalami penguraian secara biologis, khususnya oleh mikroba-mikroba yang memanfaatkan bahan

organik sebagai sumber energi. Membuat kompos adalah mengatur dan mengontrol proses alami tersebut agar kompos dapat terbentuk lebih cepat. Proses ini meliputi membuat campuran bahan yang seimbang, pemberian air yang cukup, pengaturan aerasi, dan penambahan aktivator pengomposan.

Kompos sangat bermanfaat untuk mengurangi tingkat cemaran udara yang berasal dari sumber-sumber zat pencemar berupa bahan organik mudah-menguap yang banyak digunakan sebagai pelarut pada industri kimia, industri polimer, dan laboratorium seperti gas CO dan senyawa hidrokarbon lainnya (Supriyono, 1999).

2. METODA

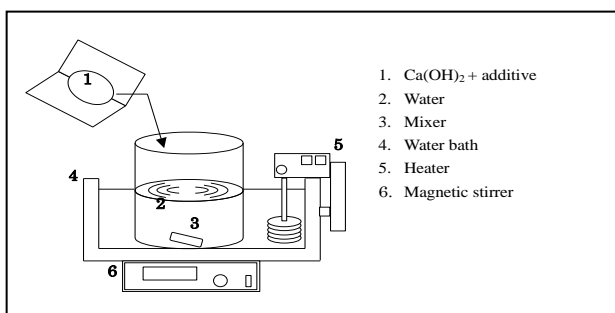
Persiapan bahan yang diperlukan meliputi pengadaan bahan-bahan berupa: (1) $\text{Ca}(\text{OH})_2$; (2) tanah diatome; (3) kompos; dan (4) aquades. Tanah diatome dan kompos dihaluskan dan diayak sesuai dengan variable proses yang dilakukan. Sedangkan peralatan yang dipersiapkan meliputi: (1) erlemeyer; (2) pipet volum; (3) aluminium foil; (4) corong pemisah; (5) gelas ukur; (6) magnetic stirrer/water bath; dan (6) termometer.

Kapur hidrat (*hydrated lime*) yang digunakan dalam percobaan ini adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ murni (99.9% - $\text{Ca}(\text{OH})_2$), sedangkan tanah diatome yang digunakan berasal dari NAD dengan komposisi: $\text{SiO}_2 = 33,94\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 4,89\%$ dan *innert* = 61,17% (Data primer, Baristan, 2009).

Persiapan sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE}$ ditunjukkan pada Gambar 2. Kapur hidrat dan additive DE, bersama-sama dengan 100 g air dimasukkan ke dalam beaker *polypropylene conical* pada berbagai variasi rasio $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{additives}$ dengan rasio berat air/padatan ($\text{Ca}(\text{OH})_2+\text{additives}$) adalah 10. Beaker kemudian ditutup dan dimasukkan ke dalam was water bath pada temperatur 65°C. Kemudian diaduk dengan magnetic stirrer selama 2 jam. Setelah diaduk, slurry dikeringkan selama 24 jam pada temperature

120°C dan solid kemudian dikalsinasi pada berbagai variasi temperature selama 2 jam. Cake hasil pengeringan dihaluskan dan kemudian setelah dilakukan analisa spesifik surface area (SBET). Cake sorbent Ca(OH)₂/DE dengan kehalusan 350 mesh dicampur dengan kompos 350 mesh dengan perbandingan 3:1:1. Kompos yang digunakan merupakan pupuk kompos olahan limbah sawit dengan komposisi: air = 45-50%, abu = 12,6%, N = 2-3%, C = 35,1%, P = 0,2-04%, K = 4-6%, Ca = 1-2%, Mg = 0,8-1,0%, C/N = 15,03% dan bahan organik > 50% (Supriyono, 1999). Sorbent Ca(OH)₂/DE/kompos kemudian dimasukkan ke dalam *fixed bed* reaktor pada ketinggian tertentu (2 cm, 4 cm, 6 cm) untuk test aktifitas. SEM, Hitachi S-3000N digunakan untuk melihat morfologi sorbent. Konsentrasi gas masuk dan keluar reaktor dianalisa dengan menggunakan Bacharach.Inc 450 Analyzer.

Adapun skema pengetesan aktifitas sorbent dan proses penyerapan gas masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



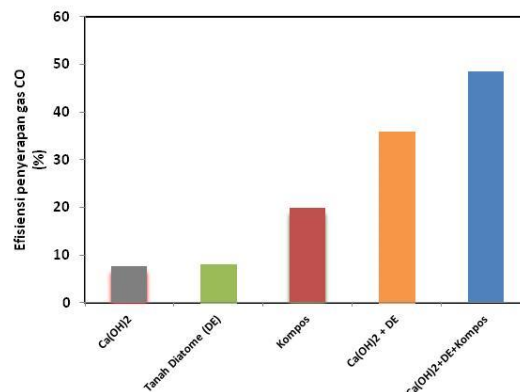
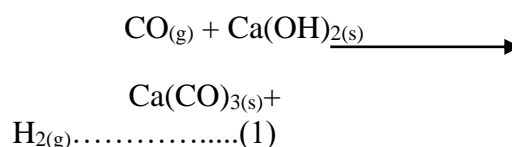
Gambar 2. Persiapan sorbent (Skema)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh jenis sorbent terhadap efisiensi penyerapan gas

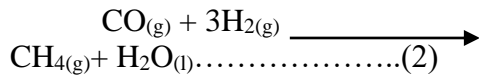
Gambar 5 menunjukkan bahwa efisiensi penyerapan gas CO untuk semua jenis sorbent berada diatas 10%. Efisiensi penyerapan gas CO yang paling tinggi adalah pada sorbent Ca(OH)₂+DE+kompos yaitu sebesar 48,761% dalam variabel percobaan yang dilakukan. Hal

ini dikarenakan sorbent memiliki kandungan gugus silika yang berfungsi sebagai peningkat reaktifitas sorbent serta adanya komponen kompos seperti bakteri yang dapat menguraikan gas CO menjadi gas metana dengan adanya Hidrogen dan gas CO₂ dengan adanya oksigen. Menurut Suprpto (2003), kehadiran kompos di dalam sorbent Ca(OH)₂ dapat meningkatkan penurunan konsentrasi CO di dalam gas hasil pembakaran. Penurunan konsentrasi CO ini dikarenakan terdapat beyono, berupa bakteri *anaerobic* seperti *Methanobacterium* dan *Methanocarcina* dapat mengubah gas CO menjadi metana dengan adanya *hydrogen*. Hidrogen terbentuk dari reaksi antara Ca(OH)₂ dengan gas CO hasil pembakaran (Alizar, 2005).

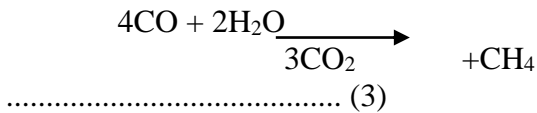


Gambar 5 Pengaruh jenis sorbent terhadap efisiensi penyerapan gas pada temperatur 150°C dan tinggi unggun 6 cm

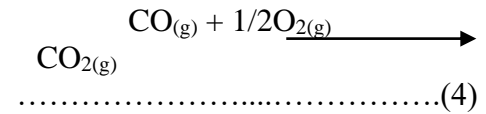
Karbonmonoksida dioksidasi dan berlaku sebagai donor electron selama pertumbuhan berbagai bakteri Clostridia. Beberapa bakteri aerobik yan lain dalam bentuk populasi campuran dapat mengubah gas CO menjadi metana dengan adanya hidrogen (Suprpto, 2003):



Beberapa bakteri anaerobik *Methanocarcina* dan *Methanobacterium* dengan adanya hidrogen dapat mengubah gas CO menjadi CH₄ dan tanpa menggunakan oksigen dapat mengoksidasi CO menjadi CO₂ (Kluyver dan Schellen, 1974).

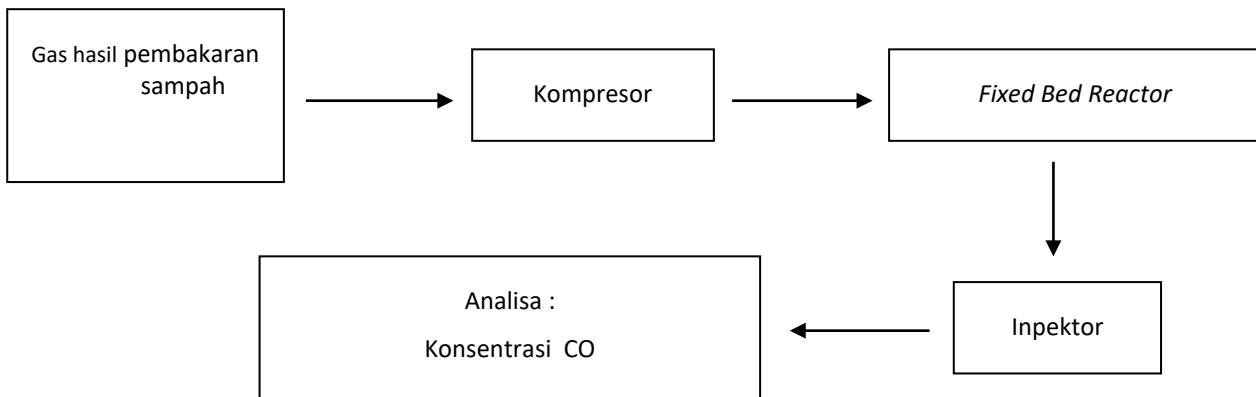


pengoksidasi tanah dapat mengoksidasi gas CO menjadi CO₂ (Hubley, 1974).

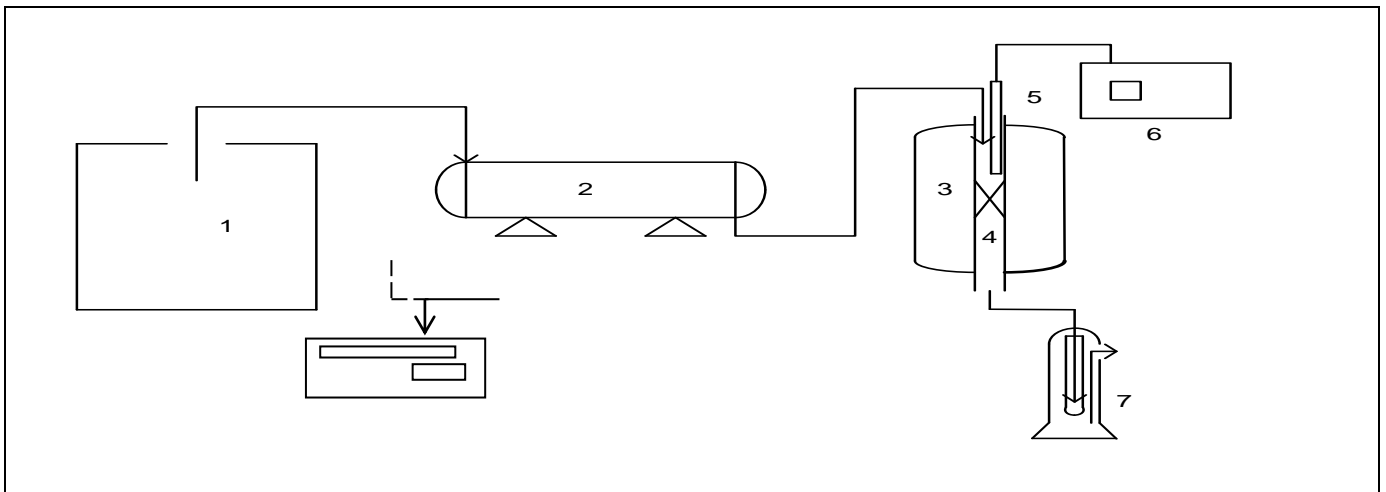


Disamping hal tersebut di atas penyerapan gas SO₂, CO dan HC lebih tinggi menggunakan modifikasi sorbent Ca(OH)₂/DE/kompos dikarenakan porositas *sorbent* Ca(OH)₂+DE lebih besar dibandingkan *sorbent* Ca(OH)₂ murni. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisa SEM yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Spesies seperti *Carboxydomonas*, *Hydrogennomonas*, *Bacillus* dan bakteri



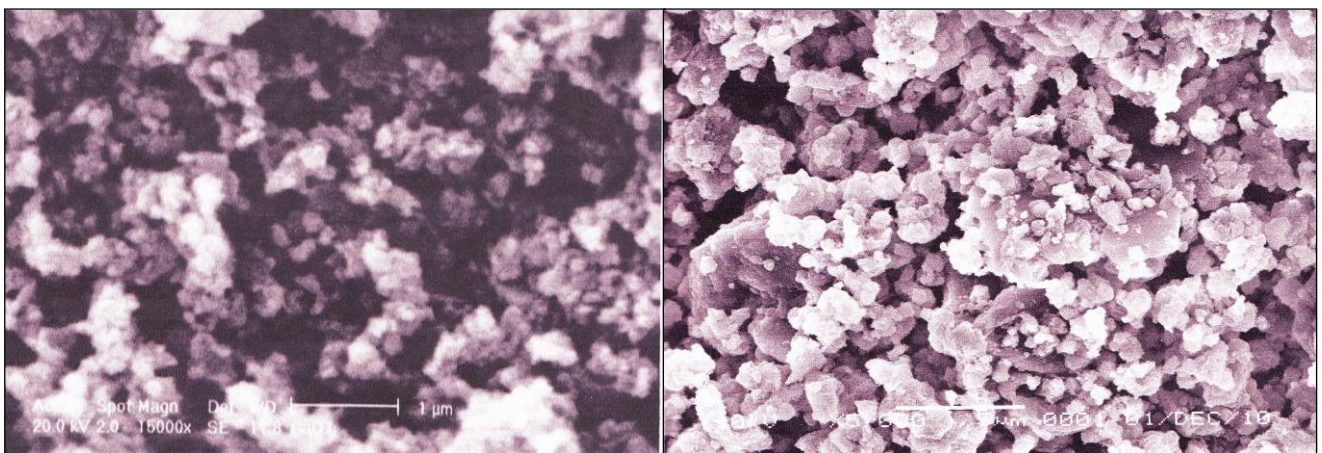
Gambar 3 Skema tes aktifitas sorbent



Keterangan

1. Alat pembakaran sampah
2. Kompresor
3. Furnace
4. Fixed Bed Reaktor
5. Thermocouple
6. Temperatur kontrol
7. Inspektor
8. Bacharach Inc. 450

Gambar 4 Skema rangkaian proses penyerapan gas

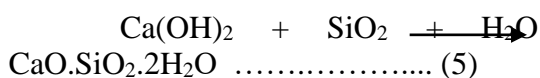


(a)

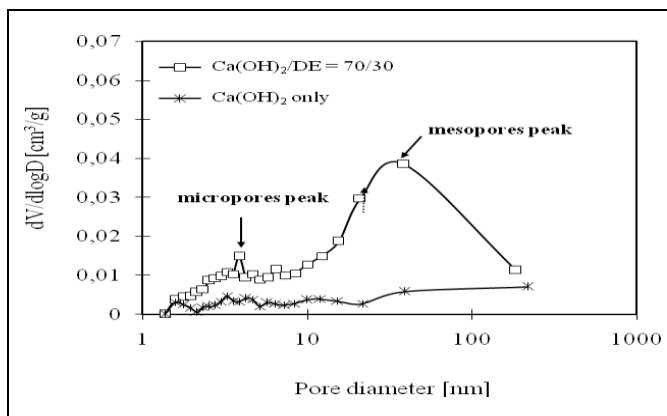
(b)

Gambar 6 Profil SEM untuk: (a) Ca(OH)_2 , (b) $\text{Ca(OH)}_2+\text{DE}$

Gambar 6 menunjukkan bahwa porositas *sorbent* Ca(OH)₂+DE lebih besar daripada porositas *sorbent* Ca(OH)₂ murni, sehingga efisiensi penyerapan gas lebih tinggi pada *sorbent* Ca(OH)₂+DE. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Mariana (2003) yang menyatakan bahwa *sorbent* Ca(OH)₂+DE mempunyai porous yang lebih besar dari *sorbent* Ca(OH)₂ murni seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Reaksi pozzolanic antara silika dengan Ca(OH)₂ di dalam larutan (*slurry*) membentuk kalsium silikat hidrat (*hydrated calcium silicates* (CSHs)) dan kalsium alumina (CAHs) yang tinggi yang dapat meningkatkan reaktivitas dari *sorbent* Ca(OH)₂ (Liu dkk., 2002), seperti yang ditunjukkan pada reaksi berikut:



Kalsium
silikat hidrat



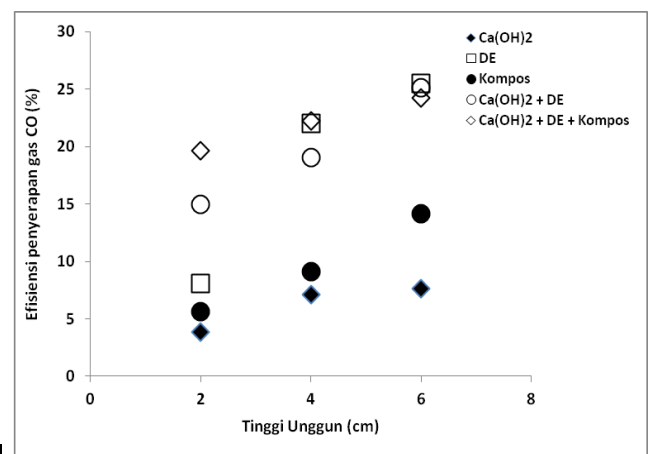
Gambar 7 Pengaruh jenis *sorbent* terhadap diameter pori (Mariana, 2003).

Pengaruh tinggi unggun terhadap efisiensi penyerapan gas

Pengaruh reaksi terhadap densitas

Tinggi unggun berpengaruh terhadap efisiensi penyerapan gas, semakin tinggi unggun maka efisiensi penyerapan gas akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena kontak antara *sorbent* dengan gas semakin lama, sehingga

gas yang terserap akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Suprpto (2003) yang menyatakan bahwa semakin tinggi unggun maka efisiensi penyerapan gas akan semakin besar, pada tinggi unggun 15 cm gas yang terserap adalah 45% sedangkan pada tinggi unggun 75 cm gas yang terserap adalah 91,06%. Gambar 8 memperlihatkan pengaruh ketinggian unggun terhadap efisiensi penyerapan gas untuk masing-masing *sorbent*.



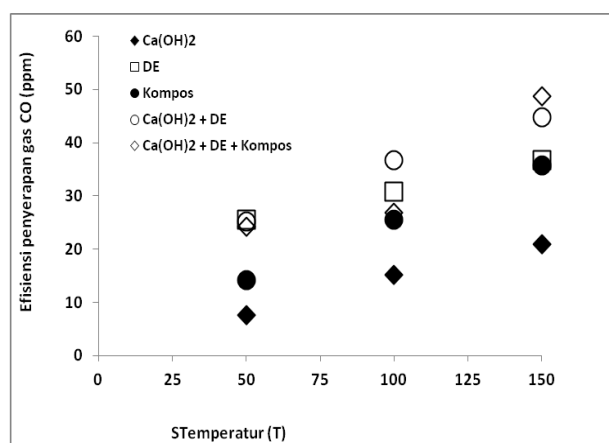
Gambar 8 Hubungan antara tinggi unggun terhadap efisiensi penyerapan gas pada temperatur operasi 50°C.

Unggun merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi penyisihan gas CO hasil pembakaran dengan menggunakan proses absorpsi. Unggun yang tinggi akan memperlama gas hasil pembakaran melewati *sorbent* sehingga akan memperbanyak kontak antara gas dan *sorbent*. Ketinggian unggun juga akan mempengaruhi *pressure drop* yang dihasilkan dimana dengan laju alir dan waktu reaksi yang sama.

Pengaruh temperatur terhadap konsentrasi gas yang terserap.

Gambar 9 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka efisiensi penyerapan gas semakin meningkat dalam range variabel penelitian yang dilakukan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Jozewicz (1987) yang menyatakan bahwa

semakin tinggi temperatur maka luas permukaan *sorbent* akan semakin luas, sehingga gas yang terserap semakin banyak. Jozewicz, 1987 juga menyebutkan bahwa peningkatan *hydrated species* yang terdapat di dalam permukaan *sorbent* dapat meningkatkan reaktifitas padatan dan diharapkan untuk menghilangkan hidrasi air dengan pengontakan *sorbent* dan gas panas untuk menghasilkan pori baru yang mempunyai luas permukaan kontak baru. Efisiensi penyerapan gas CO yang paling bagus adalah 48,761% menggunakan *sorbent* Ca(OH)₂+DE+kompos pada temperatur 150°C.



Gambar 9 Hubungan antara temperatur reaksi terhadap efisiensi penyerapan gas.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi unggun dan temperatur, maka efisiensi penyerapan gas semakin tinggi. *Sorbent* yang paling baik untuk menyerap gas CO adalah *sorbent* Ca(OH)₂/DE/kompos sebesar 48,761%, pada tinggi unggun 6 cm dan temperatur 150°C.

Ucapan Terimakasih

Penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional Nomor:

399/SP2H/PL/Dit.Litabmas/IV/2011, tanggal 14 April 2011.

DAFTAR PUSTAKA

- Alizar (2005), "Teknologi Bahan Konstruksi", Pusat Pengembangan Bahan Ajar, UMB.
- Garea, A., J.R. Viguri and A. Irabien (1996), "Kinetics of Flue Gas Desulfurization at Low Temperatures: Fly ash/Ca(OH)₂ (3/1) Sorbent Behavior," *Chem. Eng. Sci.*, 52, 5, 715-732.
- Ho, C.S, and S.M. Shih (1992), "Ca(OH)₂/Fly Ash Sorbents for SO₂ Removal," *Ind. Eng. Chem. Res.*, 31, 1130-1135.
- Irabien, A. F. Cortabitart and I. Ortiz (1992), "Kinetics of Flue Gas Desulfurization at Low Temperatures, Nonideal Surface Adsorption Model", *Chem. Eng. Sci.* 47, 1533-1543.
- Ishizuka, T., H. Tsuchiai, T. Murayama, T. Tanaka, and H. Hattori (2000), "Preparation of Active Absorbent for Dry-Type Flue Gas Desulfurization from Calcium Oxide, Coal Fly Ash, and Gypsum," *Ind. Eng. Chem. Res.*, 39, 1390-1396.
- Jozewicz, W. Chang, J. Brna, T. Sedman (1987), "Reactivation of Solids from Furnace Injection of Limestone for SO₂ Control", *Environ. Sci. Technol.* 21, 7, 664-670
- Klingspor, J., H.T. Karlsson and I. Bjerle (1983), "A Kinetic Study of the Dry SO₂-Limestone Reaction at Low Temperature," *Chem. Eng. Com.*, 22, 81.
- Klingspor, J., A. Stromberg, H.T. Karlsson and I. Bjerle (1974), "Similarities Between Lime and Limestone in Wet-dry Scrubbing," *Chem. Eng. Proc.*,

18, 239, 1984

- Kluyer, A.J and C.G.T.P. Schullen (1974), "Arch Biochemical".
- Lin, R.B and S.M. Shih (2003), "Characterization of Ca(OH)₂/fly ash sorbent for flue gas desulfurization", *Power Tech*, 131, 212-222.
- Liu, C.F, S.M. Shih and R.B. Lin (2002), "Kinetic of the Reaction of Ca(OH)₂/Fly Ash Sorbent with SO₂ at Low Temperatures", *Chem. Eng. Sci.*, 57, 93-104.
- Mariana, C. Chen, Y. Tsujimura, A. Maezawa and S. Uchida (2003), "Experiments on SO₂ Absorption in a Bag Filter Based on the Grain Model," *J. Chin. Inst. Chem. Engrs.*, 34, 2, 2009-2011.
- Renedo, M.J., J. Fernandez, A. Garea, A., A. Ayerbe, and J.A. Irabien (1999), "Microstructural Changes in the Desulfurization Reaction at Low Temperature", *Ind. Eng. Chem. Res.* 38, 1384-1390.
- Seno, T., A. Maezawa, T. Fujiwara and S. Uchida (1996), "Simultaneous Absorption of Acid Gases by Slaked Lime in Bag Filter System", *Proc. of 4th Joint Int. Conf. On Separation Technology (ISST02-JK)*, Tokyo, Japan, 263-266.
- Suprpto, J (1999), "Pengolahan Gas Karbon Monoksida dalam Gas Buang dengan Biofilter" Universitas Diponegoro, Semarang.
- Supriyono (1999), "Pencemaran udara bisa merusak ruku dan gangguan kesehatan staf perpustakaan". *Media pustakawan*, 4,3-9.
- Tsuchiai, H, T. Ishizuka, T. Ueno, H. Hattori and H. Kita (1995), "Highly Active Sorbent for SO₂ Removal prepared from Coal Fly Ash", *Ind. Eng. Chem. Res.* 34, 1404-1411.
- Uchida, S., S. Kageyama, M. Nogi and H. Karakida (1979), "Reaction Kinetics of HCl and Limestone," *J. Chin. Inst. Chem. Engrs.*, 10, 45-49.