

PENINGKATAN REAKTIVITAS SORBEN KALSIUM HIDROKSIDA DAN TANAH DIATOME (DE)

ENHANCEMENT OF CALCIUM HYDROXYDE REACTIVITY USING DIATOMACEOUS EARTH (DE) SORBENT

Mariana

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala,

Jl. T. Nyak Arief, Darussalam, Banda Aceh 23111

e-mail: mariana_hasyim@yahoo.com

Abstrak

Gas hasil pembakaran sampah terdiri dari gas-gas yang berbahaya seperti SO_2 , HCL , CO , dan sebagainya. Teknologi penghilangan gas-gas berbahaya dapat dilakukan dengan menggunakan proses kering dan proses basah. Proses kering lebih ekonomis bila dibandingkan dengan proses basah. Kelemahan proses kering adalah konversi absorpsi dan efisiensi penyisihan gas relatif rendah. Salah satu cara mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan sorbent yang mempunyai reaktivitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan reaktivitas sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan menggunakan tanah diatome (DE) sebagai sumber silika. Reaksi antara SiO_2 dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ membentuk kalsium silikat hidrat ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yang mempunyai porositas dan reaktivitas tinggi. Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap persiapan sorbent dan tahap uji reaktivitas sorbent. Persiapan sorbent dilakukan dalam reaktor batch dengan mereaksikan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan DE dengan 100 g air pada berbagai variasi rasio $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE}$ dengan rasio berat fasa air/padatan sebesar 10. Uji reaktivitas sorbent dilakukan dengan menentukan daya serap sorbent terhadap *methylene blue*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas *slurry* dan berat sampel padat meningkat setelah reaksi. Konversi reaksi meningkat dengan kenaikan temperatur reaksi, kecepatan pengaduk dan waktu reaksi. Konversi reaksi konstan setelah 20 menit. Temperatur reaksi 65°C menghasilkan konversi reaksi tertinggi dari variabel yang dilakukan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa reaktivitas sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE}$ lebih tinggi dari sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Kata kunci: sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$, tanah diatome, konversi, reaktivitas.

Abstract

Gas emission from solid waste incineration contains dangerous gases such as sulfur oxides, hydrochloric acid, carbon monoxide, and others. Acid gas removal technology can be done by using dry and wet processes. The dry process is more economical than the wet process. However, the dry process has low efficiency in gas removal and sorbent utilization. One way to overcome this problem is to use a sorbent which has high reactivity. The aim of this research was to increase the reactivity of calcium hydroxide sorbent by using diatomaceous earth as silica source. The reaction between sulfur dioxide with calcium hydroxide to form calcium silicate hydrates ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), which has high porosity and reactivity. The experiment was carried out in two work phases. The first was preparation of sorbent and sorbent reactivity test. The sorbent preparation was done in a batch reactor by reacting calcium hydroxide and DE together with 100 g of water at various ratios of calcium hydroxide /DE with a weight ratio of water phase/solids of 10. The sorbent reactivity test was performed by determining methylene blue absorption by the sorbent. The results showed that the solid density and the weight of solid sample increased after the reaction. The conversion reaction increased with the increasing reaction temperature, mixing rate, and reaction time. The conversion rate was constant after 20 minutes. The highest conversion rate was obtained at 65°C . The experimental results also showed that the reactivity of combined $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE}$ sorbent was higher than that of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ only.

Keywords: sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$, diatomaceous earth, conversion, reactivity.

1. PENDAHULUAN

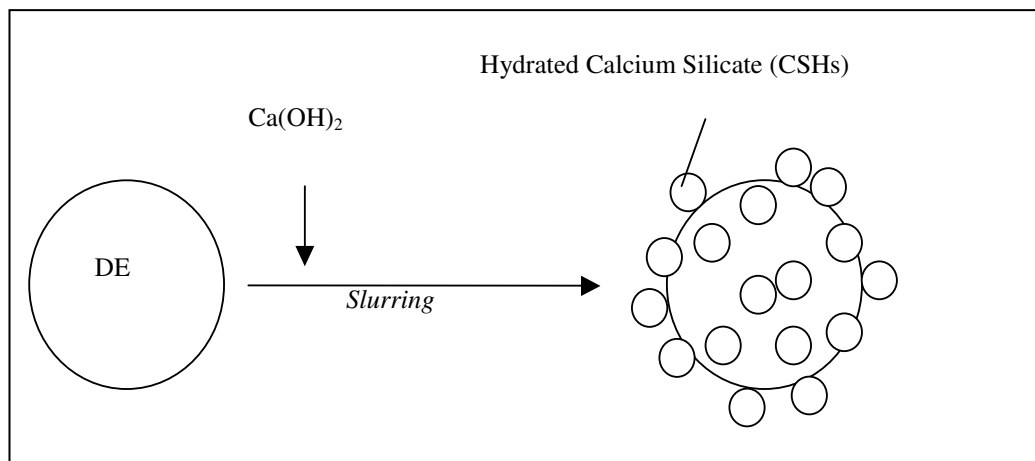
Emisi gas dari hasil insinerasi sampah dalam mengandung berbagai komponen yang berbahaya, yaitu: (1) debu; (2) sulfur dioksida (SO_2), nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), asam klorida; dan (3) logam-logam. Gas-gas tersebut tersebut dapat bereaksi dengan radikal bebas di udara membentuk asam yang dapat menyebabkan terjadinya hujan asam dan penipisan lapisan ozon yang mengakibatkan pemanasan global, timbulnya berbagai penyakit seperti iritasi pernapasan dan batuk, serta peningkatan angka kematian (Pearlman *et al.*, 1971; Goldstein *et al.*, 1973; Bates, 1972; Fairchild *et al.*, 1972).

Berbagai teknologi proses penyisihan gas-gas yang berbahaya telah dikembangkan. Proses yang umum digunakan adalah proses kering dan proses basah. Beberapa keunggulan proses kering dibandingkan dengan proses basah antara lain: murah, mudah penanganan, dan tidak menghasilkan limbah cair. Salah satu proses pemisahan gas secara kering yang efektif dan ekonomis adalah menggunakan reaktor dengan absorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Namun proses ini juga mempunyai kelemahan, seperti rendahnya konversi sorbent dan efisiensi pemisahan gas (Mariana *et al.*, 2003; Seno *et al.*, 1996; Uchida *et al.*, 1979).

Untuk meningkatkan efisiensi pemisahan gas dan reaktivitas sorbent (konversi kalsium), berbagai variasi bahan aditif dapat ditambahkan. Sorbent yang diperoleh dari campuran larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan bahan mengandung silika dapat meningkatkan konversi kalsium dibandingkan dengan bahan tanpa campuran aditif (Garea *et al.*, 1996).

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, reaksi *pozzolanic* antara silika dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ di dalam *slurry* membentuk kalsium silikat hidrat (CSHs) dan kalsium alumina (CAHs) yang dapat meningkatkan reaktivitas dari sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Liu *et al.*, 2002; Ho dan Shih, 1992; Ishizuka *et al.*, 2000). Reaktivitas sorbent juga sangat tergantung pada luas permukaan kontak sorbent (Klinspor *et al.*, 1983; 1984).

Tsuchiai *et al.* (1995) menyebutkan bahwa penghilangan gas maksimum diperoleh ketika pada waktu sebuah sorbent mencapai diameter pori rata-rata maksimum, tetapi pada saat itu luas permukaan kontak spesifik belum mencapai maksimum. Penelitian Renado *et al.* (1999) menunjukkan bahwa volume *mesopore* dan *macropore* merupakan komponen paling utama yang berhubungan dengan reaktivitas sorbent dan konversi penyisihan gas.



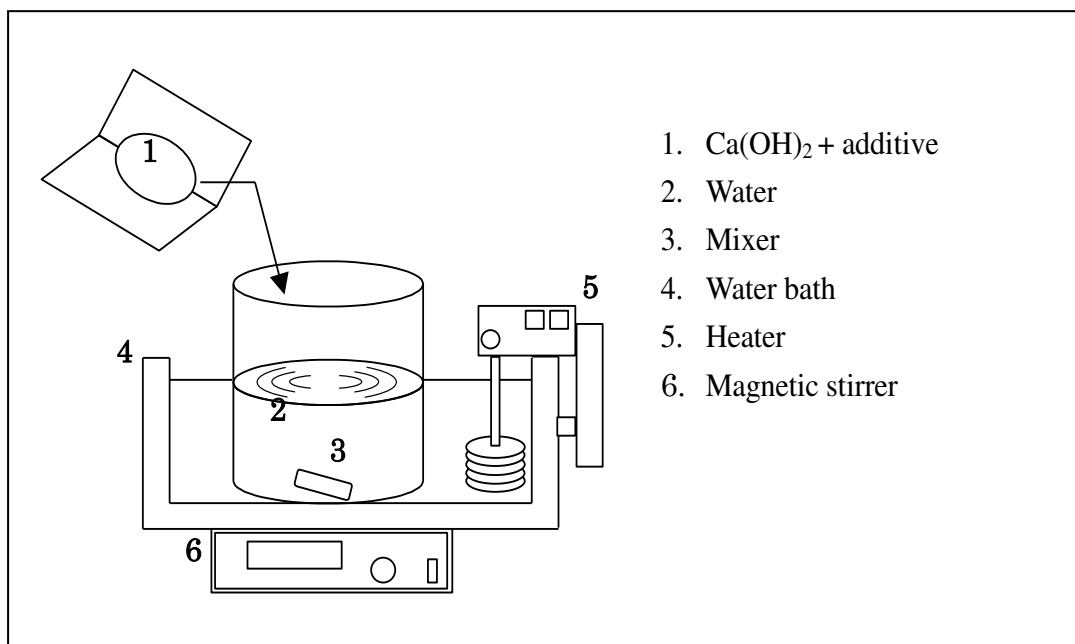
Gambar 1. Model Reaksi *Pozzolanic* $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan Silika pada DE (Mariana, 2003).

Tanah diatome (DE) atau *fly ash* (FA) merupakan material *pozzolanic* yang mengandung SiO_2 , Al_2O_3 , dan CaO (Jozewicz *et al.*, 1988a). Penelitian FA sebagai sumber silika telah banyak dilakukan, tetapi penelitian DE sebagai sumber silika hampir tidak ada. Penelitian ini difokuskan pada persiapan absorbent Ca(OH)_2 yang mempunyai reaktivitas yang tinggi dengan penambahan aditif DE.

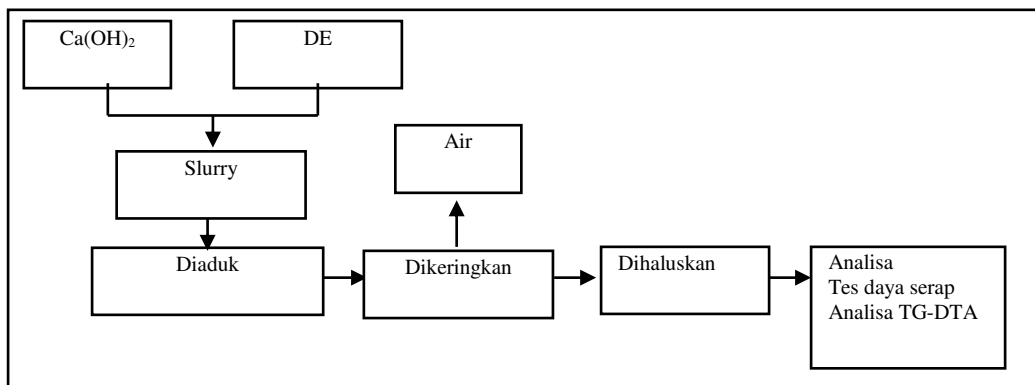
2. METODA

Persiapan bahan yang diperlukan meliputi pengadaan bahan-bahan berupa Ca(OH)_2 , DE, dan akuades. DE dihaluskan dan diayak sesuai dengan variabel proses yang dilakukan. Peralatan yang dipersiapkan meliputi: erlenmeyer, pipet volumetrik, aluminium foil, corong pemisah, gelas ukur, *magnetic stirrer/water bath*, dan termometer. Kapur hidrat (*hydrated lime*) yang digunakan dalam percobaan ini adalah Ca(OH)_2 murni (99,9% Ca(OH)_2), sedangkan tanah diatome yang digunakan berasal dari NAD. Persiapan sorbent ditunjukkan pada Gambar 2. Kapur

hidrat dan aditif DE, bersama-sama dengan 100 g air dimasukkan ke dalam beaker *polypropylene conical* pada berbagai variasi rasio $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE}$ dengan rasio berat air/padatan ($\text{Ca(OH)}_2 + \text{additives}$) adalah 10. Beaker kemudian ditutup dan dimasukkan ke dalam *water bath* pada berbagai variasi temperatur. Kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam. Setelah diaduk, *slurry* dikeringkan selama 24 jam pada temperatur 120°C dan *solid* dikalsinasi pada berbagai variasi temperatur selama 2 jam. Adonan hasil pengeringan dihaluskan dan kemudian dilakukan analisis spesifik *surface area* (SBET). Komposisi sorbent dianalisis dengan menggunakan XRD sistem Rint 2000, Rigaku Co. Japan. SEM, Hitachi S-3000N digunakan untuk melihat morfologi sorbent. Padatan sorbent dianalisis menggunakan analisis *thermogravimetric*. Uji reaktivitas sorbent dilakukan dengan menentukan daya serap sorbent terhadap *methylene blue*. Adapun diagram alir keseluruhan penelitian yang dilakukan pada proses batch ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Skema Persiapan Sorbent



Gambar 3. Diagram Alir Keseluruhan Penelitian yang Dilakukan

Konversi reaksi ditentukan dengan menggunakan perbandingan antara konsentrasi reaktan yang bereaksi dengan konsentrasi reaktan mula-mula. Sedangkan penentuan daya serap *methylene blue* dilakukan dengan menggunakan cara agitasi sebagai berikut:

1. Sebanyak 1 g sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE}$ dimasukkan ke dalam 50 ml larutan *methylene blue* 250 ppm.
2. Erlenmeyer ditutup dan digoyang pada skala 150 rpm selama 1 jam.
3. Isi erlenmeyer selanjutnya disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman No. 542.
4. Konsentrasi *methylene blue* pada filtrat ditentukan dengan menggunakan kurva

kalibrasi absorbansi *methylene blue* yang diukur menggunakan *spectrofotometer*.

5.

6. 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

7. Tanah Diatom

Adapun tanah diatome yang digunakan berasal dari Desa Ujung Batee, Aceh Besar (Gambar 4). Komposisi hasil analisa tanah diatome tersebut ditunjukkan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan SiO_2 di dalam tanah diatome adalah sebesar 33,94%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tanah diatome dari Kreung Raya Aceh Besar ini layak digunakan sebagai sumber silika untuk meningkatkan reaktivitas sorbent Ca(OH)_2 .

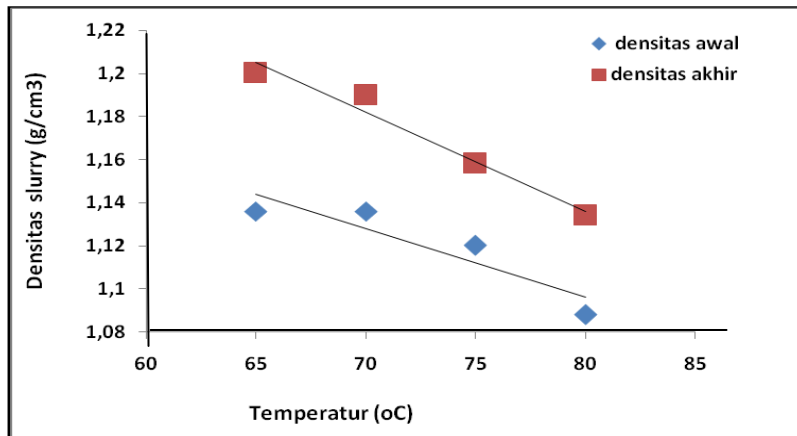


Gambar 4. Tanah Diatome dari Desa Ujung Batee, Aceh Besar

Tabel 1 Analisis Hasil Tanah Diatome Ujung Batee, Aceh Besar

No	Parameter Uji	Metode Uji	Satuan	Hasil Uji
1	SiO ₂	Gravimetri	%	33.94
2	CaO	Titrimetri	%	T.T
3	Al ₂ O ₃	Gravimetri	%	4.89

Sumber: Baristan, NAD, 22 Mei 2009



Gambar 5. Hasil Analisis Densitas *Slurry* Awal dan Densitas *Slurry* Akhir Hasil Percobaan Menggunakan Sorbent Ca(OH)₂/DE = 10:1, Ukuran Partikel 350 mesh dan t = 2 jam.

Pengaruh Reaksi terhadap Densitas *Slurry*

Komposisi suatu *slurry* sangat mempengaruhi terhadap densitas *slurry*. Adapun hasil analisis densitas *slurry* awal dan akhir setelah reaksi antara Ca(OH)₂ dan tanah diatome (DE) pada sorbent Ca(OH)₂/DE = 10:1 dan ukuran partikel 350 mesh hasil percobaan diperlihatkan pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan bahwa hasil analisis densitas *slurry* akhir setelah reaksi sedikit lebih tinggi dari densitas *slurry* awal. Hal ini menunjukkan bahwa di dalam padatan sudah terkandung *calcium silicate hydrates* (CSHs) yang mempunyai densitas lebih tinggi dari Ca(OH)₂ melalui reaksi yang ditunjukkan pada persamaan 1.

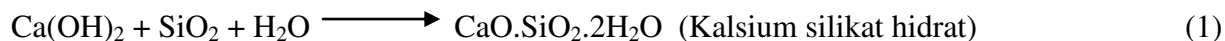
Fenomena pada persamaan 1 sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ishizuka *et al.*, (2000) yang menyatakan bahwa *calcium silicate hydrates* (CSHs) akan terbentuk bila dilakukan reaksi antara Ca(OH)₂ dan SiO₂ di dalam kondisi *slurry*.

Pengaruh Reaksi terhadap Berat Sampel Padat

Komposisi suatu *slurry* sangat mempengaruhi terhadap berat sampel padat yang dihasilkan. Adapun hasil analisis berat sampel padat awal dan akhir setelah reaksi antara Ca(OH)₂ dan tanah diatome (DE) pada sorbent Ca(OH)₂/DE = 10:1 dan ukuran partikel 350 mesh hasil percobaan diperlihatkan pada Gambar 6. Berat sampel padat akhir setelah reaksi sedikit lebih rendah dari berat sampel padat awal. Hal ini membuktikan bahwa terbentuknya hasil reaksi antara Ca(OH)₂ dengan SiO₂ membentuk CaO.SiO₂.2H₂O yang lebih ringan karena berbentuk *hydrate*.

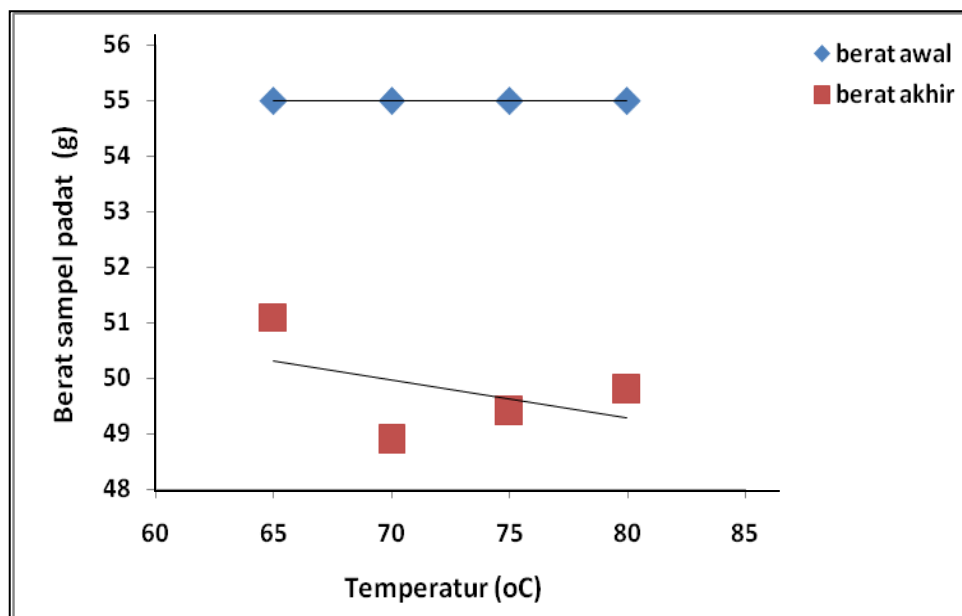
Pengaruh Temperatur terhadap Konversi

Pengaruh temperatur terhadap konversi reaksi menggunakan sorbent Ca(OH)₂/DE = 3:1, 350 rpm dan ukuran partikel 350 mesh. Gambar 7 menunjukkan bahwa peningkatan temperatur reaksi menyebabkan peningkatan konversi dalam *range* variabel temperatur yang dilakukan.

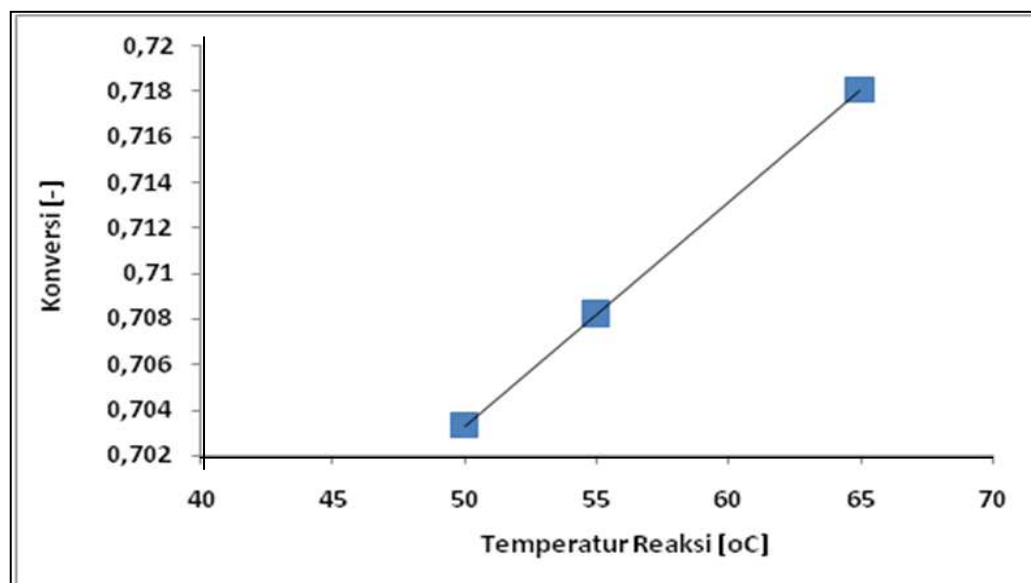


Temperatur reaksi 65°C menghasilkan konversi tertinggi dalam *range* variabel temperatur yang dilakukan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Mariana *et al.*,

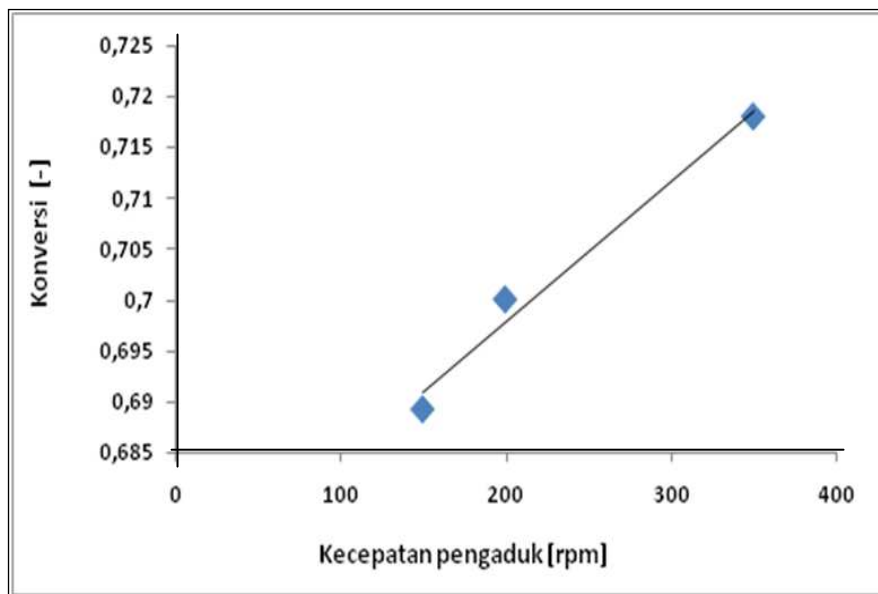
(2004) yang menyatakan bahwa temperatur 65°C merupakan temperatur optimum untuk reaksi Ca(OH)_2 dengan SiO_2 dalam DE.



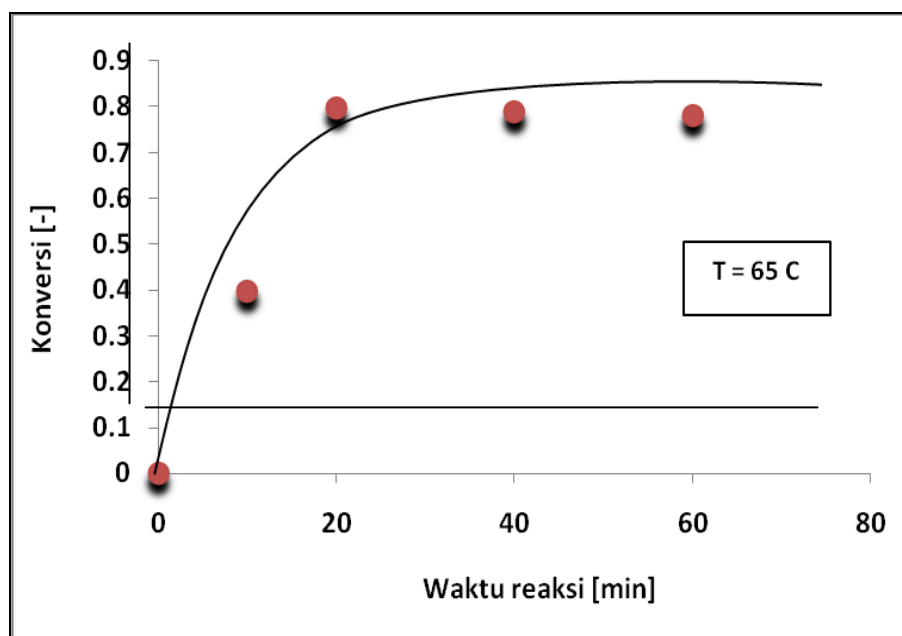
Gambar 6. Hasil Analisis Berat Padatan Sampel Awal dan Akhir Hasil Percobaan Menggunakan Sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE} = 10:1$, Ukuran Partikel 350 mesh dan $t = 2$ jam.



Gambar 7. Pengaruh Temperatur Terhadap Konsentrasi Ca(OH)_2 Pada Sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE} = 3:1$, Ukuran Partikel 350 mesh, 350 rpm dan $t = 60$ menit.



Gambar 8. Pengaruh Kecepatan Pengaduk Terhadap Konversi Pada Sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE} = 3:1$, Ukuran Partikel 350 mesh, Temperatur Reaksi 56°C dan $t = 2$ jam



Gambar 9. Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Konversi Pada Sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE} = 3:1$, Ukuran Partikel 350 mesh, 350 mesh dan $T = 65^\circ\text{C}$

Pengaruh Kecepatan Pengaduk Terhadap Konversi

Pengaruh kecepatan pengaduk terhadap konversi menggunakan sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE} = 3:1$, ukuran partikel 350 mesh dan temperatur

reaksi 65°C ditunjukkan pada Gambar 8. Semakin besar kecepatan pengaduk, maka konversi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang bereaksi semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena kenaikan kecepatan pengaduk menyebabkan kelaru-

tan semakin tinggi sehingga dapat menyebabkan luas permukaan kontak antara Ca(OH)_2 dengan SiO_2 semakin besar.

Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Konversi

Pengaruh waktu reaksi terhadap konversi menggunakan sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE} = 3:1$, ukuran partikel 350 mesh dan 350 rpm ditunjukkan pada Gambar 9. Gambar 9 menunjukkan bahwa waktu reaksi mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap konversi. Hal ini disebabkan karena konversi berbanding lurus dengan konsentrasi reaktan yang bereaksi (Persamaan 2), sementara konsentrasi reaktan yang bereaksi berbanding lurus dengan waktu reaksi (Persamaan 3). Sehingga dapat disimpulkan bahwa konversi berbanding lurus dengan waktu reaksi.

$$x = \frac{C_{A0} - C_{At}}{C_{A0}} \quad (2)$$

$$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A^n \quad (3)$$

Dimana:

x = konversi (-)

C_{At} = konsentrasi reaktan pada waktu t (mol/m^3)

C_{A0} = konsentrasi reaktan mula-mula (mol/m^3)

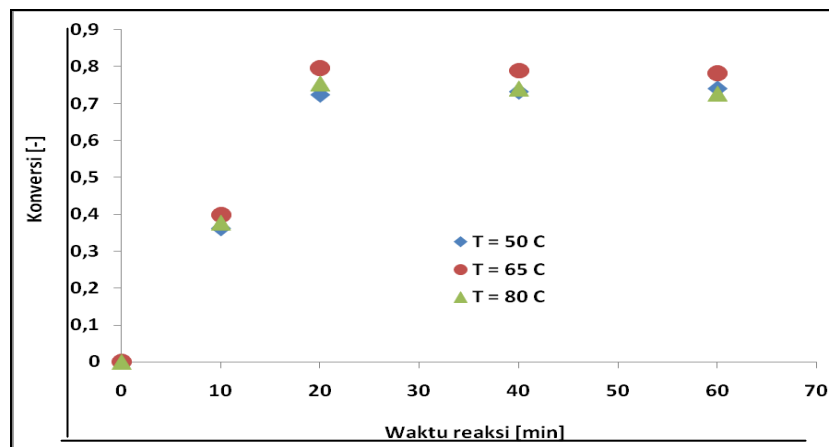
t = waktu reaksi (min)

n = order reaksi

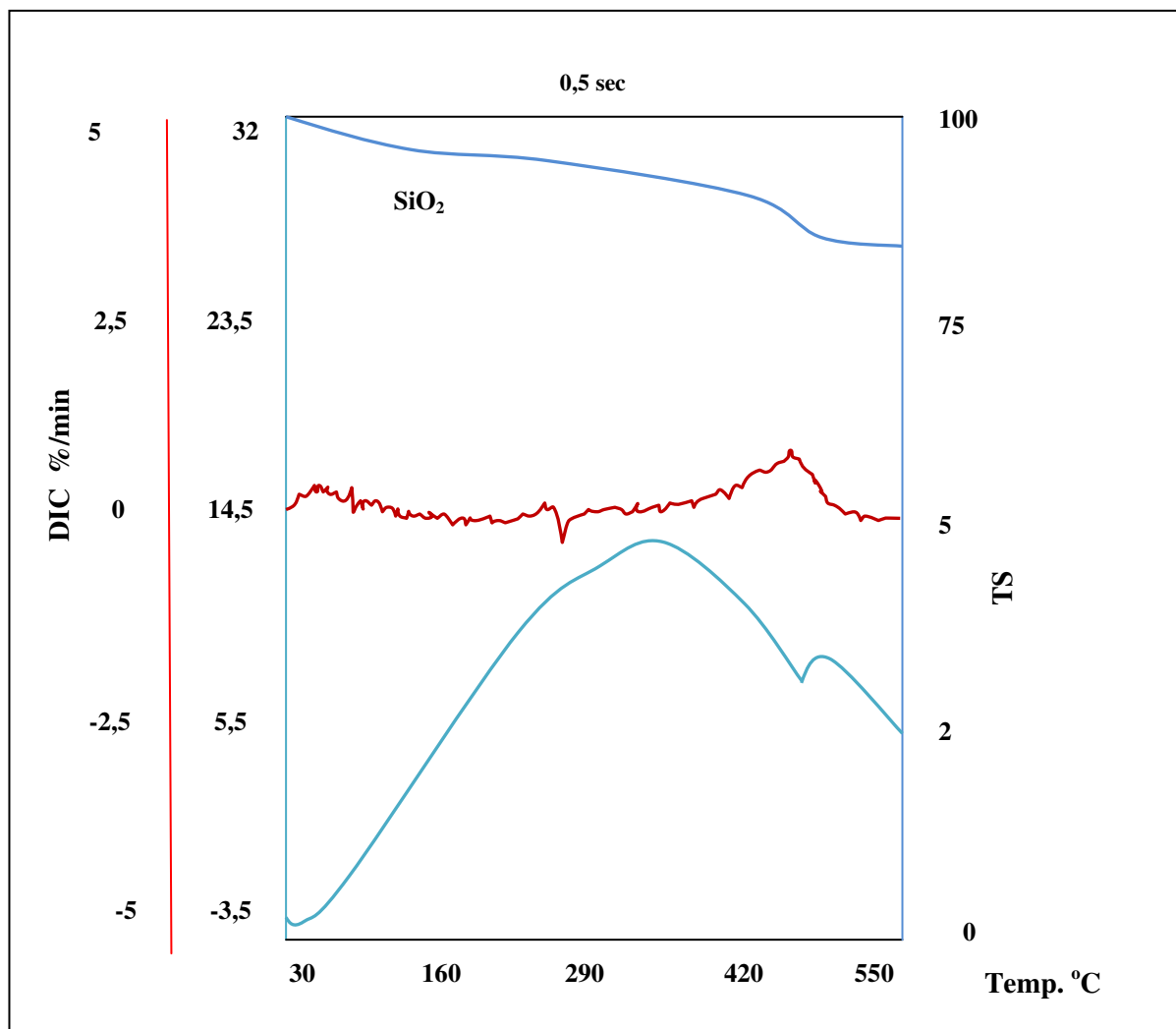
Konversi semakin meningkat terhadap waktu reaksi sampai 20 menit, selanjutnya setelah 20 menit konversi mempunyai harga yang konstan. Hal ini menunjukkan bahwa waktu reaksi optimum antara Ca(OH)_2 dengan SiO_2 adalah 20 menit dalam *range* variabel percobaan yang dilakukan. Temperatur reaksi 65°C mempunyai konversi reaksi yang lebih tinggi pada berbagai waktu reaksi dalam variabel *range* temperatur yang dilakukan.

Analisis TG-DTA

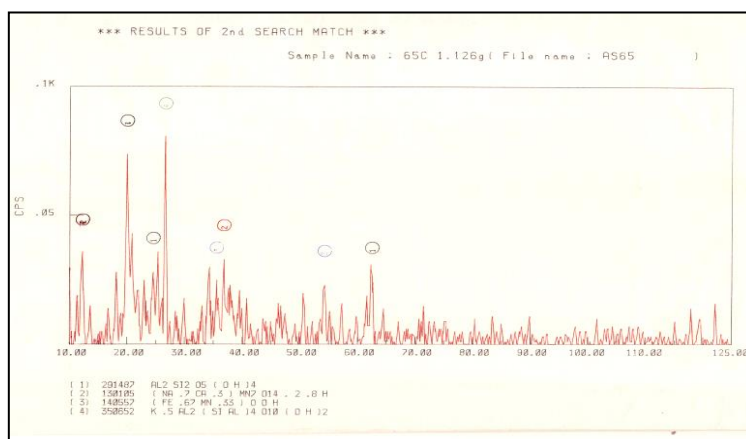
Analisis TG-DTA dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Pusat Penelitian Fisika Komplek PUSPIPTEK Serpong. Analisis TG-DTA menggunakan sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE} = 10:1$ dan ukuran partikel 200 mesh pada temperatur 65°C ditunjukkan pada Gambar 11. Hasil analisis TG-DTA menunjukkan bahwa sorbent terdiri dari Ca(OH)_2 , SiO_2 dan $\text{CaO.SiO}_2.2\text{H}_2\text{O}$. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi antara SiO_2 dengan Ca(OH)_2 menghasilkan $\text{CaO.SiO}_2.2\text{H}_2\text{O}$, sehingga sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE}$ lebih *porous* dan lebih reaktif dari sorbent Ca(OH)_2 . Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Mariana *et al.* (2003) untuk $\text{Ca(OH)}_2/\text{FA}$.



Gambar 10. Pengaruh Waktu Reaksi terhadap Konversi pada Sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE} = 3:1$, Ukuran Partikel 350 mesh, 350 rpm pada Berbagai Variasi Temperatur



Gambar 11. TG-DTA Sorbent Ca(OH)₂/DE = 10:1 dan Ukuran Partikel 200 mesh Pada Temperatur Reaksi 65°C



Gambar 12. Profil XRD untuk Sorbent Ca(OH)₂/DE = 10:1 dan Ukuran Partikel 200 mesh pada Temperatur reaksi 65°

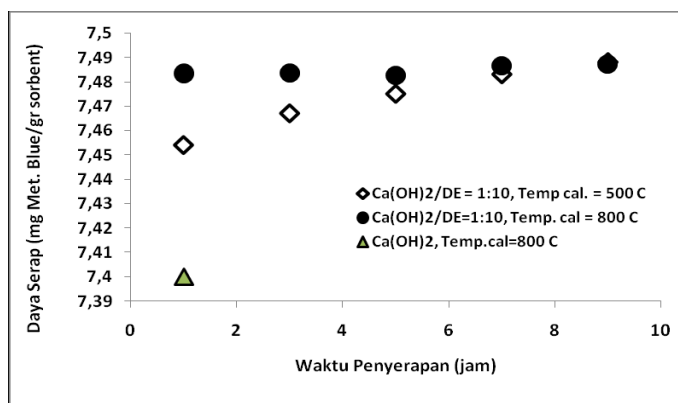
Analisis XRD (X-ray Diffraction Patterns)

Untuk melihat produk $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ hasil reaksi dapat dilihat dari analisis XRD. Analisis XRD dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Pusat Penelitian Fisika Komplek PUSPIPTEK Serpong. Gambar 12 menunjukkan analisa XRD sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE} = 10:1$ dan ukuran partikel 200 mesh pada temperatur reaksi 65°C . Dari Gambar 12 dapat dilihat bahwa hasil reaksi antara $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan SiO_2 menghasilkan CSHs ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

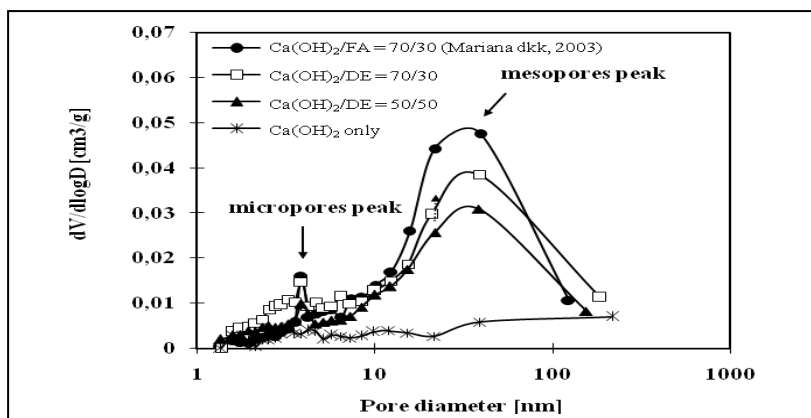
Pengujian Reaktivitas Sorbent.

Hasil pengtesan daya serap sorbent terhadap *methylene blue* ditunjukkan pada Gambar 13. Daya serap sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE}$ terhadap *methylene blue* meningkat dengan meningkatnya waktu penyerapan. Temperatur kalsinasi sorbent mempengaruhi terhadap daya serap sorbent. Artinya daya serap sorbent meningkat dengan meningkatnya temperatur

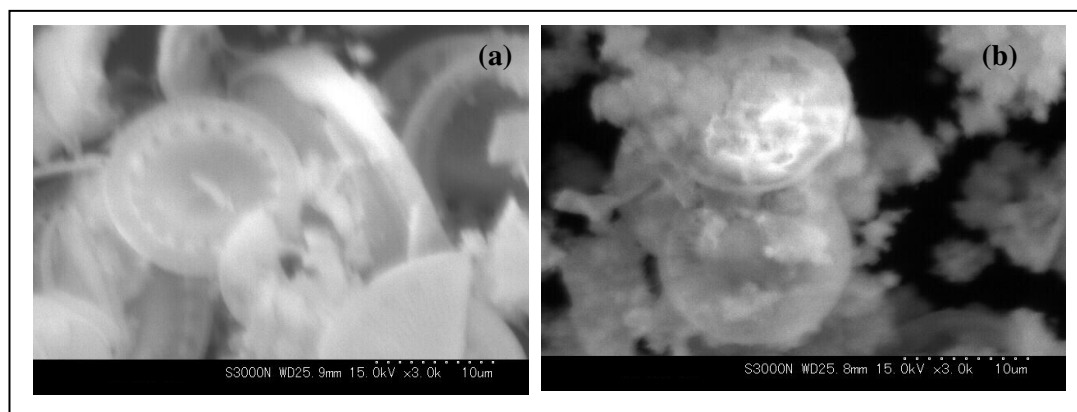
kalsinasi. Pada temperatur kalsinasi 800°C menunjukkan daya serap sorbent terhadap *methylene blue* sudah mencapai maksimum dalam waktu penyerapan yang relatif pendek yaitu mulai waktu penyerapan 1 jam. Sedangkan untuk sorbent dengan waktu kalsinasi 500°C , daya serap mencapai maksimum dalam waktu yang relatif lama yaitu pada waktu penyerapan 10 jam. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penyerapan *methylene blue* menggunakan sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE}$ lebih tinggi jika dibandingkan dengan hanya menggunakan sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Hal ini disebabkan karena terbentuknya *calcium silicate hydrates* (CSHS) yang lebih *porous* di dalam sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE}$ (Gambar 14 dan Gambar 15). Gambar 14 dan 15 menunjukkan bahwa total prositas sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$ lebih kecil dibandingkan dengan sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE}$.



Gambar 13. Pengaruh Kalsinasi terhadap Daya Serap Sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{DE}$



Gambar 14. Pengaruh Jenis Sorbent terhadap Diameter Pori (Temperatur Kalsinasi 800°C).



Gambar 15. Gambar SEM untuk Sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE}$ {(a) DE dan (b) $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE} = 70:30$ }

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa temperatur, kecepatan pengaduk, dan waktu reaksi mempunyai peranan yang penting terhadap konversi reaksi antara SiO_2 dengan Ca(OH)_2 . Temperatur reaksi 65°C menghasilkan konversi tertinggi sehingga dapat disimpulkan bahwa temperatur reaksi 65°C merupakan temperatur optimum untuk reaksi Ca(OH)_2 dengan SiO_2 . Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa konversi mencapai konstan pada waktu reaksi 20 menit. Daya serap sorbent $\text{Ca(OH)}_2/\text{DE}$ terhadap *methylene blue* lebih besar dari daya serap sorbent Ca(OH)_2 saja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih 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:157/SP2H/PP/DP2M/III/2010, tanggal 1 Maret 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- Bates D.V. (1972). Air Pollutants and Human Lung: The James Waring Memorial Lecture. *Am. Rev Respir Dis.* 105. 111-13.
- Fairchild, G.A., J. Roan, and J. McCarroll, (1972). Atmospheric Pollutants and the Pathogenesis of Viral Respiratory Infection, *Arch Environ Health.* 25 September. 174-182.
- Garea, A., J.R. Viguri, and A. Irabien (1996). Fly-Ash/Calcium Hydroxide Mixtures for SO_2 Removal: Structural Properties and Maximum Yield. *Chem. Eng. J.* 66. 171-179.
- Goldstein, E., M.E. Carroll, and P.D. Hoeprich (1973). Effect of Nitrogen Dioxide on Pulmonary Bacterial Defense Mechanism. *Arch Environ Health.* 26. 202-204.
- Ho, C.S and S.M. Shih (1992), $\text{Ca(OH)}_2/\text{Fly Ash}$ Sorbents for SO_2 Removal. *Ind. Eng. Chem. Res.* 31. 1130-1135.
- Irabien, A., F. Cortabitarte, 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., J.C.S. Chang, C.B. Sedman, and T.G. Brna (1988a). Silica-Enhanced Sorbents for Dry Injection Removal of SO₂ From Flue Gas. *J. Air Pol. Cont. Ass.*, 38, 1027-1034.
- Jozewicz, W., Jorgensen, J.C.S., Chang, C.B., Sedman, and Brna, T.G. (1988b). Development and Pilot Plant Evaluation of Silica-Enhanced Lime Sorbents for Dry Flue Gas Desulfurization. *J. Air Pol. Cont. Ass.* 38. 796-805.
- Klinspor, J., H. Karlsson, I. Bjerle (1983). A Kinetic Study of the Dry SO₂-Limestone Reaction at Low Temperature. *Chem. Eng. Commun.* 22. 81-103.
- Klinspor, J., A. Stromberg, and I. Bjerle (1984). Similarities Between Lime and Limestone in Wet-Dry Scrubbing. *Chem. Eng. Process.*, 239-247.
- Lin, R.B. and S.M. Shih (2003). Characterization of Ca(OH)₂/Fly Ash Sorbents for Flue Gas Desulfurization. *Powder 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 Temperature. *Chem. Eng. Sci.* 57. 93-104.
- Mariana, Y., Oobuchi, A. M, and Uchida, S. (2003). Ca(OH)₂/Fly Ash Sorbent for HCl Removal in a Bag Filter Reactor. *Proc. of Indonesian 12th Student Scientific Meeting in Japan*, Osaka, Japan. 809-813.
- Mariana, Y., Oobuchi, A. M, and Uchida, S. (2004). Ca(OH)₂/Diatomaceous Earth Sorbents for HCl Removal in a Bag Filter Reactor. *J. Chin. Inst. Chem. Engrs.* 35(4). 285-288.
- Ortiz, I., F. Cortabitarte, A. Garea, and A. Irabien (1993). Flue Gas Desulfurization at Low Temperatures: Characterization of the Structural Changes in the Solid Sorbent. *Powder Technol.* 75. 167-172.
- Pearlman, M.E., J.F. Finklea, J.P. Creason, C.M. Shy, M.M. Young, and J.M. Horton (1971). Nitrogen Dioxide and Lower Respiratory Illness. *Pediatrics.* 47(2). 391-398.
- 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. *The Fourth Japan-Korea Symposium on Separation Technology*. Tokyo, Japan. 263-266.
- 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.