



## Analisis penggunaan quicklime sebagai adsorben uap asam pada *sump pit water treatment plant* PLTGU

*Analysis application of quicklime as vapour acid adsorbent in the sump pit water treatment plant PLTGU*

Adhi Setiawan<sup>1\*</sup>, Hanon<sup>2</sup>, Agung Nugroho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>2,3</sup>Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

### INFO ARTIKEL

#### Sejarah Artikel :

Diterima 12 September 2017

Direvisi 20 Oktober 2017

Disetujui 20 Oktber 2017

Dipublikasikan online

21 November 2017

#### Keywords :

Adsorption

Quicklime

HCl

TGA

### ABSTRAK

Uap asam merupakan salah satu polutan udara yang berbahaya bagi kesehatan dan berpotensi menimbulkan korosi pada peralatan. Pemanfaatan quicklime sebagai adsorben menjadi alternatif yang murah dan cukup efektif dalam menurunkan emisi uap HCl di udara. Permasalahan korosi seringkali terjadi pada peralatan di sekitar area WTP akibat adanya kandungan HCl pada residu reaksi regenerasi yang dibuang ke dalam *sump pit*. HCl memiliki sifat yang mudah menguap dan sangat korosif sehingga timbul uap asam di sekitar *sump pit* yang menginisiasi terjadinya korosi pada peralatan di area WTP. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi tertinggi dengan menggunakan quicklime kadar CaO masing-masing 22% dan 52%. Ukuran partikel quicklime yang digunakan yaitu sebesar 100 mesh dan 200 mesh. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa CaClOH terbentuk akibat adsorpsi HCl oleh quicklime. Produk tersebut terbentuk akibat reaksi CaO dan Ca(OH)<sub>2</sub> dengan uap HCl. Peningkatan kemurnian quicklime disertai dengan penurunan ukuran partikel mengarah pada meningkatnya kapasitas adsorpsi uap HCl. Hasil analisis dengan metode TGA (*Thermal Gravimetry Analysis*) menunjukkan bahwa quicklime dengan kadar CaO 52% dan ukuran 200 mesh memiliki kapasitas adsorpsi yang tertinggi dibandingkan sampel quicklime yang lain yaitu sebesar 0,121 mg HCl/mg adsorben.

### ABSTRACT

Acid vapor is one of the air pollutants which potentially harmful to human health and corrosion problem to the instrumentation. The use of quicklime as the adsorbent become an affordable and effective alternative in reducing HCl vapour emissions in the air. Corrosion problems often occur in equipment around WTP area due to HCl content in regeneration reaction residue disposed in the sump pit. Volatility and highly corrosive properties in HCL generate acid vapor around the pit sump, trigger corrosion of equipment in the WTP area. The purpose of this study is to determine the highest adsorption capacity using quicklime, with CaO purity about 22% and 52% respectively. The particle size of quicklime was 100 mesh and 200 mesh respectively. The XRD analysis indicated the formation of CaClOH because of HCl adsorption by quicklime. These products were formed as a result of reactions between CaO and Ca(OH)<sub>2</sub> with a vapor of HCl. Increasing the purity of quicklime accompanied by lowering the size particles increase the capacity of HCl vapour adsorption. TGA (*Thermal Gravimetry Analysis*) showed that quicklime with CaO purity 52 % and size of 200 mesh had the highest adsorption capacity compared to other quicklime samples, which was about 0.121 mg HCl/mg adsorbent.

\*Alamat korepondensi :

E-mail : [adhistu23@gmail.com](mailto:adhistu23@gmail.com) (A. Setiawan)

Telp. +6285733892992

doi : <https://10.21771/jrtppi.2017.v8.no.2.p81-91>

2503-5010/2087-0965© 2017 Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri-BBTPPI (JRT P P I-BBTPPI).

This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Accreditation number : (LIPI) 756/Akred/P2MI-LIPI/08/2016

## 1. PENDAHULUAN

Sumber energi terbarukan (sinar matahari, angin, hujan, biomassa, pasang surut, ombak, dan panas bumi) merupakan sumber energi yang pertumbuhannya paling cepat di bumi serta memiliki laju pertumbuhan sebesar 2,6% per tahun. Penggunaan dari bahan bakar yang dapat diperbarui (biomassa dan *biofuel*) diperkirakan meningkat dengan lebih cepat yakni sebesar 6,6% per tahun (Ren dkk., 2017). Salah satu penggunaan dari biomassa terbarukan adalah sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik yang dikombinasikan dengan batu bara dengan mekanisme *co-fired* (Sondreal dkk., 2001; Baxter, 2005). Namun penggunaan dari biomassa tersebut memiliki kelemahan antara lain kandungan air yang relatif tinggi, kandungan kalori yang rendah, efisiensi pembakaran yang rendah, sulit dihancurkan, serta biaya transportasi yang relatif tinggi per satuan unit energi (Batidzirai dkk., 2013). Selain itu, pembakaran biomassa pada boiler dapat berpotensi menyebabkan terbentuknya endapan (*slagging* dan *fouling*), dan korosi. Kemungkinan korosi sangat tergantung pada kandungan klorin dalam bahan bakar, meskipun klorin menyumbang sebagian kecil dari komposisi kimia di hampir semua bahan bakar padat termasuk batubara dan biomassa terbarukan. Klorin dapat menyebabkan terbentuknya dioksin poliklorinasi dan furan yang berbahaya bagi kesehatan manusia (Tillman dkk., 2009). Komponen klorin (seperti dioksin, PCDD dan PCDF) telah terdeteksi di dalam *fly ash* hasil insenerasi biomassa tanaman (Tan dkk 2013). Moyeda dkk (1990) melaporkan bahwa klorobenzena dan klorofenol dapat mensintesis dioksin di dalam *fly ash* melalui mekanisme prekursor pada suhu 225°C-400°C.

Teknologi IDS (*injection dry sorbent*) yang selama ini telah diaplikasikan pada desulfurisasi gas buang yang dihasilkan pada pembakaran batu bara juga digunakan pada proses insenerasi limbah untuk mengurangi kandungan polutan seperti asam hidrogen klorida (HCl). Dalam proses pembakaran tersebut dihasilkan sejumlah uap air yang terkandung di dalam aliran gas buang. Bahkan dengan adanya uap air tersebut dapat meningkatkan efisiensi

removal dari gas yang bersifat asam (Soud, 1994). Gas buang yang berasal dari pembakaran bahan bakar yang berasal dari bahan bakar biomassa dan biofuel seringkali mengandung hidrogen klorida (HCl). HCl yang dihasilkan tidak hanya berperan sebagai polutan udara tetapi juga bereaksi terhadap senyawa seperti alkali klorida serta berkontribusi menimbulkan korosi pada peralatan. Pada umumnya hampir semua negara membuat undang-undang yang ketat tentang emisi HCl yang dihasilkan oleh pembakaran bahan limbah. Oleh karena itu diperlukan metode yang efektif untuk mengurangi emisi gas tersebut karena sifatnya yang korosif dan reaktif (Partanen dkk., 2005).

Proses removal gas asam seperti HCl, CO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> di dalam emisi gas dapat dilakukan dengan metode *wet*, *semidry*, dan *dry*. Meskipun *wet scrubbing* telah terbukti lebih efisien pada pemurnian gas asam namun memiliki kelemahan antara lain biaya operasi yang relatif mahal serta menghasilkan air limbah yang dapat mencemari lingkungan (Wey dkk., 2008). Proses *semidry scrubbing* menyebabkan korosi pada peralatan serta *blocking nozzle*. Dry scrubbing saat ini lebih luas diaplikasikan dalam memisahkan gas asam karena relatif lebih sederhana dan efisien (Hsu dan Hsiau, 2011; Jiang dkk., 2005; Chibante dkk., 2009). Peralatan yang digunakan dalam *dry scrubbing* tersebut berupa reaktor *fixed bed*, *fluidized bed*, *moving bed* dan filter keramik.

Proses penyerapan dari gas asam (HCl, SO<sub>2</sub>, dan CO<sub>2</sub>) dapat dilakukan dengan menggunakan material alam atau sintetis yang telah terbukti menjadi pilihan yang efektif baik pada suhu rendah maupun pada suhu yang tinggi. Oleh karena itu, adsorben dengan karakteristik kapasitas adsorpsi yang tinggi, ketahanan dalam jangka waktu lama, kinetika adsorpsi/desorpsi yang cepat, murah, serta sifat mekanik yang baik diperlukan dalam merancang sistem penyerapan gas asam (Huang dkk., 2010). Salah satu material yang efektif dalam menyerap gas asam di dalam gas buang yaitu material berbasis kalsium (Ca). Penggunaan material berbasis kalsium seperti CaO banyak diaplikasikan sebagai adsorben gas asam seperti CO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> karena harganya relatif murah, melimpah sebagai mineral alam,

kapasitas adsorpsi yang tinggi serta dapat digunakan pada suhu tinggi (Alvarez dan Abanades, 2005).

Pada penelitian sebelumnya Huang dkk (2010) mengembangkan studi adsorpsi gas CO<sub>2</sub> dengan menggunakan modifikasi CaO/SBA mesoporus yang memiliki luas permukaan dan volume pori yang besar. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa rasio adsorpsi yang tersisa sebesar 80% setelah 40 siklus pemakaian pada suhu karbonasi 700°C dan kalsinasi Suhu 910 °C. Li dkk (2015) menggunakan limbah padat kalsium karbida (CaC<sub>2</sub>) sebagai adsorben untuk mengikat campuran gas CO<sub>2</sub> dan HCl pada dengan pengulangan pada siklus adsorpsi/desorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya gas HCl dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> pada CaC<sub>2</sub> pada beberapa siklus pertama. Adsorpsi HCl oleh CaO pada temperatur 600-800 °C di dalam reaktor *fixed bed* mencapai maksimum pada temperatur 650°C (Chyang dkk., 2009). Han dkk (2017) melaporkan bahwa penambahan beberapa garam anorganik seperti Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, dan K<sup>+</sup> dapat memperbaiki proses sulfasi. Garam natrium diketahui dapat meningkatkan penyerapan gas SO<sub>2</sub> oleh *limestone* selama beberapa tahun. Shearer dkk (1979) mempelajari interaksi NaCl *limestone* pada proses sulfasi dan kalsinasi. Penambahan 2% NaCl pada *limestone* dapat mengarah pada laju konversi yang tinggi serta derajat konversi yang tinggi menjadi CaSO<sub>4</sub>. Roesch dkk (2005) mensintesis adsorbent CaO yang didoping dengan logam alkali untuk meningkatkan kebasaaan permukaan adsorben. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan yang signifikan dalam penyerapan CO<sub>2</sub> dibandingkan dengan CaO yang didoping dengan Cs. Salvador dkk. (2003) melakukan reaktivasi batu kapur dengan impregnasi menggunakan NaCl 0,5 wt%. Konversi sampel CaO yang didoping NaCl lebih tinggi daripada CaO murni setelah beberapa siklus. Aihara dkk (2001) mensintesis CaO berbasis inert CaTiO<sub>3</sub> pada perbandingan molar yang sama dengan metode alkoksida atau pencampuran secara fisik CaTiO<sub>3</sub> dengan CaCO<sub>3</sub> yang menghasilkan peningkatan konversi terhadap penyerapan gas CO<sub>2</sub>.

Hasil studi sebelumnya menunjukkan bahwa adsorpsi oleh material berbasis kalsium pada umumnya

lebih banyak dipelajari pada gas SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Oleh karena itu, studi tentang proses adsorpsi gas HCl oleh material berbasis kalsium perlu dikembangkan lebih mendalam. Bahkan mekanisme dan produk reaksi pada proses adsorpsi gas HCl oleh *quicklime* belum dijelaskan secara detail pada penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini difokuskan untuk mempelajari pengaruh kemurnian dan ukuran *quicklime* terhadap kapasitas adsorpsi *quicklime* terhadap uap HCl. Penggunaan *quicklime* sebagai adsorben memiliki kelebihan antara lain harganya murah dan melimpah sehingga mudah diperoleh di pasaran.

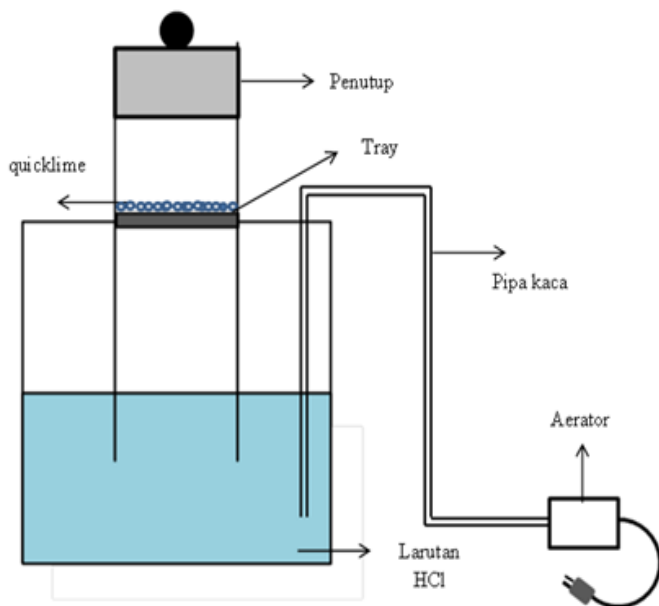
Studi kasus dalam penelitian ini digunakan limbah asam hasil regenerasi resin kation dari PLTGU PT. X. Dari hasil analisis dan pengamatan pegawai setempat, penyebab terjadinya korosi pada area ini adalah adanya kandungan HCl hasil residu reaksi saat regenerasi dalam *sump pit*. HCl memiliki sifat yang mudah menguap dan sangat korosif sehingga timbul uap asam di sekitar *sump pit* yang menginisiasi terjadinya korosi pada peralatan-peralatan sekitar area *Water Treatment Plant* (WTP). Walaupun telah dilakukan pengecatan rutin, namun berdasarkan data kerusakan selama 3 tahun terakhir dapat diketahui bahwa korosi masih sering terjadi. Korosi yang terjadi pada peralatan di area *Water Treatment Plant* (WTP) PLTGU PT. X berpotensi menimbulkan kerugian bagi perusahaan karena kerusakan peralatan seperti pompa, *valve*, pipa, serta *flanges* pada area sekitar yang dapat menyebabkan kebocoran dan membahayakan pekerja di area *Water Treatment Plant* (WTP). Oleh karena itu, dengan mengetahui pengaruh parameter kemurnian dan ukuran partikel *quicklime* terhadap kapasitas adsorpsi uap HCl diharapkan dapat menjadi solusi alternatif bagi perusahaan untuk menurunkan tingkat emisi uap HCl yang berbahaya bagi kesehatan dan meminimalkan efek korosi yang terjadi pada peralatan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah *quicklime* yang diperoleh dari UD Sumber Ilmiah

Persada dengan kadar CaO pada kemasan sebesar 22% wt (sampel A) dan 52% wt (sampel B). *Quicklime* tersebut dihaluskan hingga diperoleh ukuran masing-masing 100 mesh dan 200 mesh. Setelah proses tersebut selesai, proses selanjutnya dilakukan pengeringan *quicklime* pada suhu 60°C selama 2 jam untuk menghilangkan kandungan airnya. *Quicklime* yang telah dihaluskan dan dikeringkan selanjutnya dibagi menjadi empat sampel dengan kode sebagai berikut: sampel A1 (*quicklime* 22% ukuran 100 mesh), A2 (*quicklime* 22% ukuran 200 mesh), B1 (*quicklime* 52% ukuran 100 mesh), dan B2 (*quicklime* 52% ukuran 200 mesh).



Gambar 1. Peralatan uji adsorpsi *quicklime*

Sebanyak 10 gr dari masing-masing sampel tersebut dimasukkan ke dalam alat uji adsorpsi sebagaimana pada gambar 1. Alat uji adsorpsi berisi larutan HCl yang berasal dari regenerasi resin kation yang menggunakan larutan HCl 32%. Limbah hasil pencucian tersebut selanjutnya akan ditampung sementara di dalam *sump pit* sebelum dialirkan ke *waste water treatment plant*. Volume air limbah yang digunakan sebagai pengujian adsorpsi sebanyak 1,87 L. Uap HCl yang terbentuk di dalam pengujian adsorpsi selanjutnya dikontakkan dengan *quicklime* yang tertahan pada permukaan *tray* hingga diperoleh berat yang konstan. Proses pengujian tersebut dilakukan pada temperatur *ambient*.

## 2.2 Analisis Sampel

Komposisi dan kristalinitas dari *quicklime* dianalisa dengan menggunakan metode XRD (X-ray Diffraction) X'Pert RINT 2200 V Philip CuK $\alpha$  ( $\lambda=1,5418 \text{ \AA}$ ). Analisis XRD dilakukan interval 5°-70° dengan lebar step 0,01° dan laju scan 0,5 s/step. Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui komposisi awal dan fase yang terbentuk setelah dikontakkan dengan uap asam HCl.

Untuk mengetahui kapasitas adsorpsi *quicklime* maka dilakukan analisa TGA (DTG-60H, Shimadzu) pada *quicklime* yang telah dikontakkan dengan uap asam. Pada prinsipnya analisis TGA (*Thermal gravimetry analysis*) dapat mencatat perubahan massa selama proses pemanasan sehingga dapat diketahui temperatur dekomposisi material tersebut. Laju pemanasan pada analisis TGA tersebut sebesar 10°C/menit dengan massa *quicklime* sebanyak 5 mg. Analisis TGA dilakukan pada interval temperatur 25-800°C dengan atmosfer nitrogen pada laju alir 50 ml/min serta menggunakan pan alumina sebagai tempat sampelnya.

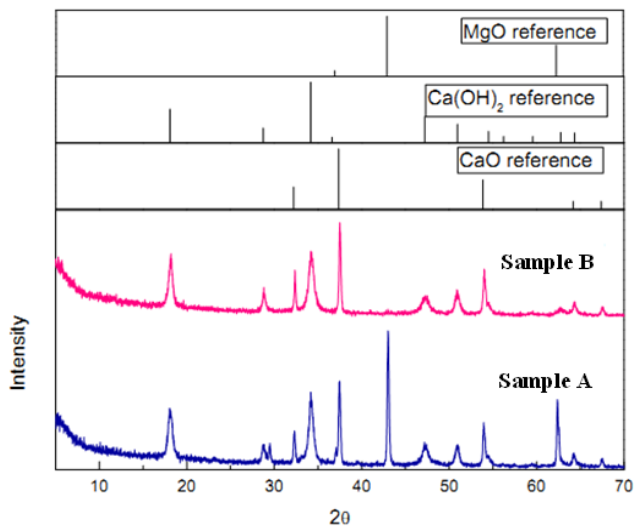
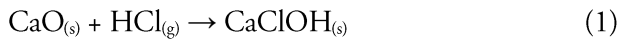
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan hasil XRD dari sampel *quicklime* A (kadar CaO 22%) dan B (kadar CaO 52%) sebelum adsorpsi. Hasil XRD menunjukkan bahwa sampel *quicklime* terdiri dari fasa CaO, Ca(OH) $_2$ , dan MgO. Hasil analisis XRD Sample A merupakan *quicklime* yang mengandung CaO, Ca(OH) $_2$ , dan MgO dengan kadar masing-masing 21,7%, 20,7%, dan 57,6% sedangkan sampel B mengandung CaO, Ca(OH) $_2$ , dan MgO dengan kadar masing-masing 52,2%, 42,2%, dan 5,5%.

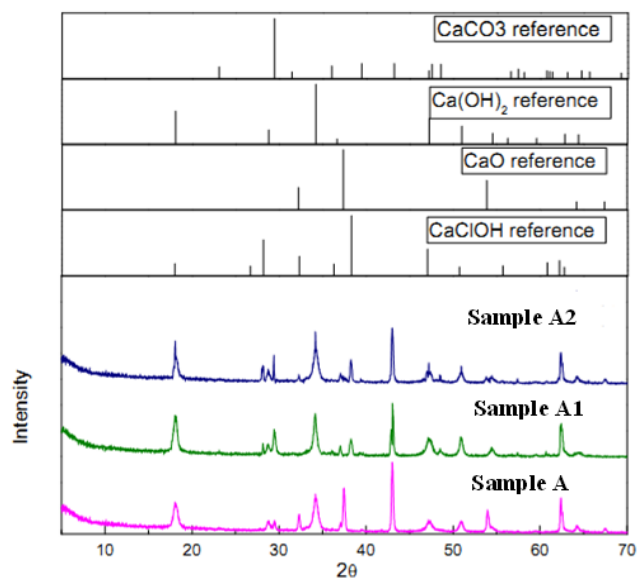
Gambar 3 menunjukkan perbandingan XRD dari sampel *quicklime* A baik sebelum dan setelah adsorpsi. Dapat dilihat perbedaan antara fasa *quicklime* sebelum adsorpsi, yang ditunjukkan oleh sampel A, A1 dan A2. Perbedaan yang tampak antara ketiga sampel tersebut adalah hilangnya fasa CaO yang ditandai dengan menurunnya intensitas *peak* dan adanya peningkatan intensitas *peak* fasa Ca(OH) $_2$  baik untuk sampel A1

maupun A2. Pembentukan dari fasa  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  disebabkan adanya reaksi antara uap air di udara dengan  $\text{CaO}$ .

Hasil XRD pada sampel A1 dan A2 terdeteksi munculnya *peak* senyawa kalsium hidroksiklorida ( $\text{CaClOH}$ ) akibat reaksi kimia yang terjadi antara uap HCl dengan  $\text{CaO}$  yang terkandung di dalam *quicklime* dengan mekanisme reaksi sebagai berikut (Li dkk., 2014 dan Galan dkk 2015):



Gambar 2. XRD sampel *quicklime* sebelum adsorpsi

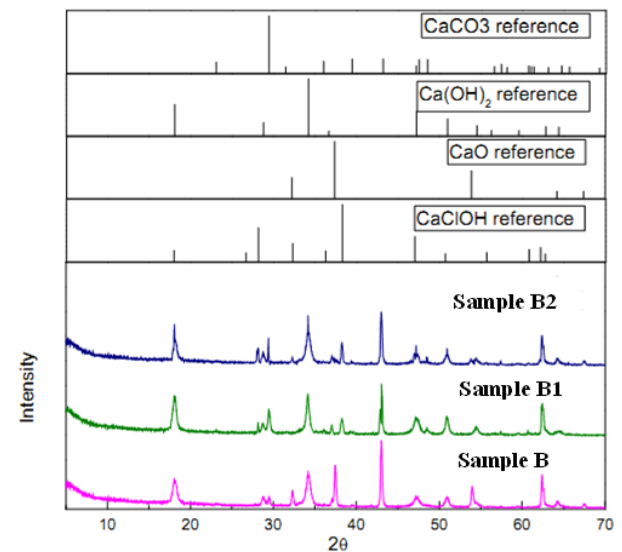


Gambar 3. XRD sampel *quicklime* sebelum adsorpsi (A) dan setelah adsorpsi (A1 dan A2)

Produk reaksi  $\text{CaClOH}$  merupakan produk pertama yang terbentuk ketika uap HCl teradsorpsi oleh  $\text{CaO}$ . Bentuk senyawa hidroksi tersebut dapat terbentuk melalui hidrasi senyawa oksida dengan pengaruh kelembapan udara di sekitarnya (Partanen dkk., 2005). Produk  $\text{CaClOH}$  yang terbentuk berupa lapisan tipis yang terdeposit pada permukaan  $\text{CaO}$  sehingga dapat memberikan hambatan pada difusi uap HCl melalui pori akibat terbentuknya lapisan produk. Selain itu, produk  $\text{CaClOH}$  yang terdeteksi dapat disebabkan oleh adsorpsi uap HCl oleh  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang terkandung di dalam sampel dengan mekanisme sebagai berikut (Gullet dkk., 1992):

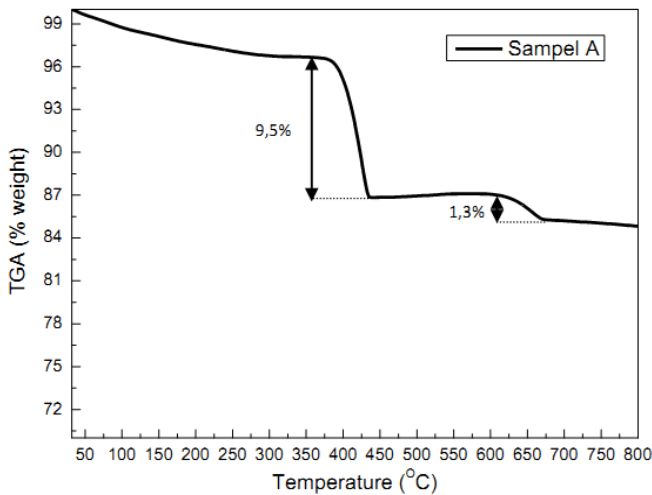


Gambar 4 menunjukkan perubahan fasa yang terjadi tampak lebih signifikan dibanding sampel A. Hal ini dikarenakan kemurnian *quicklime* dari sampel B lebih tinggi daripada sampel A sehingga kemampuan adsorpsi juga meningkat. Perubahan-perubahan fasa yang tampak antara lain hilangnya fasa  $\text{CaO}$  karena telah bereaksi dengan uap asam yang dihasilkan. Berkurangnya intensitas  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pada Sampel B1 dan Sampel B2 karena reaksinya dengan HCl serta munculnya fasa baru yang teridentifikasi sebagai  $\text{CaClOH}$  dan  $\text{CaCO}_3$ . Produk  $\text{CaCO}_3$  terbentuk akibat adanya reaksi antara  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dengan  $\text{CO}_2$  yang ada di udara.



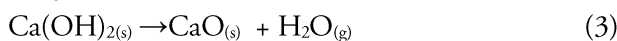
Gambar 4. XRD sampel *quicklime* sebelum adsorpsi (B) dan setelah adsorpsi (B1 dan B2)

Hasil uji TGA sebelum adsorpsi dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6. Pada sampel A, penurunan massa yang signifikan untuk pertama kalinya terjadi pada suhu 372,5°C–433°C dimana massa yang hilang adalah sebanyak 9,5% yang menunjukkan dekomposisi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

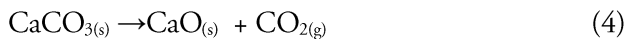


Gambar 5. Hasil TGA sampel A sebelum adsorpsi

Menurut Chen dkk (1993) dan Mikhail dkk (1996) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa dekomposisi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  terjadi pada suhu 300°-500°C dengan reaksi berikut:



Selanjutnya, penurunan massa yang kedua terjadi pada suhu 600°C–660°C dengan massa yang hilang adalah sebanyak 1,3%. Pada suhu ini terjadi pelepasan  $\text{CO}_2$  dengan reaksi berikut (Moropoulou dkk., 2001):

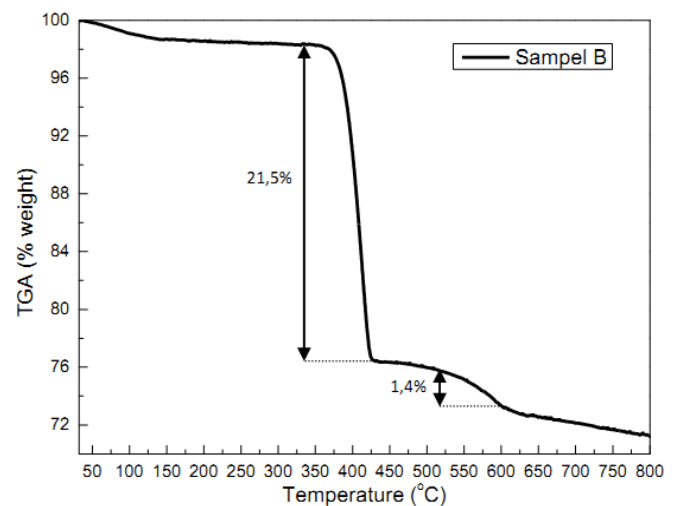


Pembentukan  $\text{CaCO}_3$  ini disebabkan adanya reaksi antara  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang terkandung di dalam *quicklime* dengan  $\text{CO}_2$  yang ada di udara yang mengandung kadar air. Hal tersebut didukung oleh penelitian Shih dkk (1999) yang melaporkan bahwa pada temperatur rendah  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dapat bereaksi membentuk  $\text{CaCO}_3$  dalam atmosfer yang mengandung  $\text{CO}_2$  dengan kondisi yang lembab. Total massa yang hilang pada sampel A adalah 15,2% dari massa awal. Pada sampel B penurunan massa yang signifikan terjadi pada suhu 369°C–427°C dengan 21,5% massa hilang

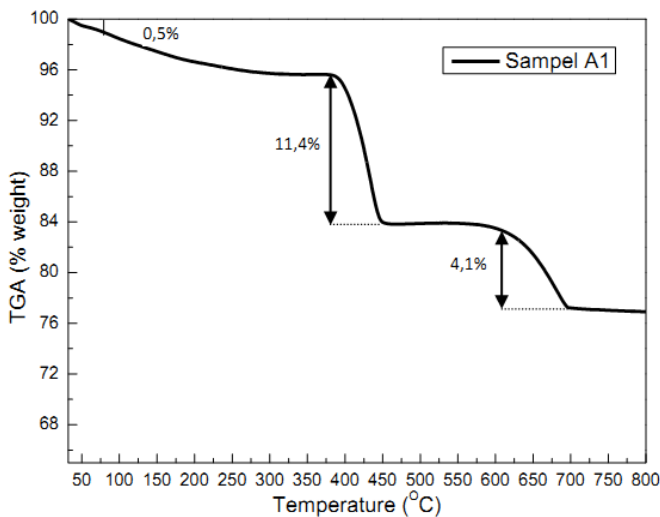
akibat dekomposisi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  menghasilkan  $\text{CaO}$  dan  $\text{CO}_2$  dengan reaksi dekomposisi yang dijelaskan sebelumnya. Selanjutnya juga terjadi penurunan massa sebesar 1,4% pada suhu 566°C-600°C akibat dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  sehingga melepaskan  $\text{CO}_2$  sesuai persamaan 4. Total massa yang hilang pada sampel B adalah sebanyak 28,7% dari massa awal.

Berbeda dengan sebelum adsorpsi, sampel yang digunakan untuk uji TGA pada *quicklime* setelah adsorpsi (sampel A1, sampel A2, sampel B1, dan sampel B2) karena telah terdapat pengaruh baik dari kemurnian maupun ukuran partikel terhadap kapasitas adsorpsi. Setelah proses adsorpsi berlangsung, terdapat perubahan kurva penurunan massa yang disebabkan karena telah terjadi perubahan komposisi senyawa pada sampel akibat adanya proses adsorpsi uap asam.

Berbeda dengan sebelum adsorpsi, sampel yang digunakan untuk uji TGA pada *quicklime* setelah adsorpsi (sampel A1, sampel A2, sampel B1, dan sampel B2) karena telah terdapat pengaruh baik dari kemurnian maupun ukuran partikel terhadap kapasitas adsorpsi. Setelah proses adsorpsi berlangsung, terdapat perubahan kurva penurunan massa yang disebabkan karena telah terjadi perubahan komposisi senyawa pada sampel akibat adanya proses adsorpsi uap asam.



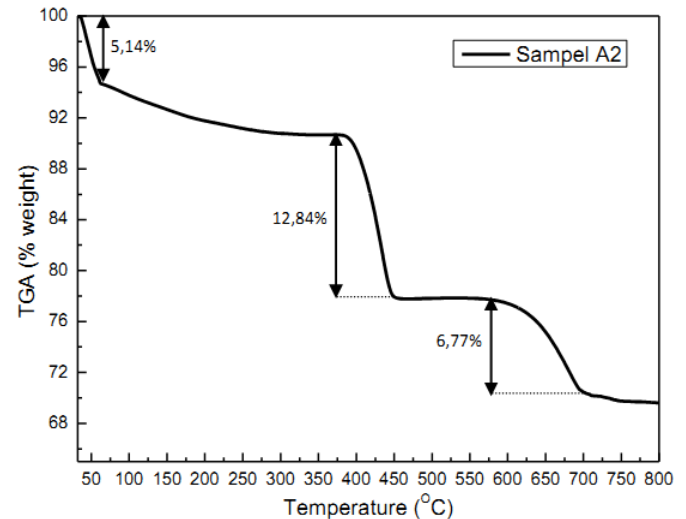
Gambar 6. Hasil TGA sampel B sebelum adsorpsi



Gambar 7. Hasil TGA sampel A1 setelah adsorpsi

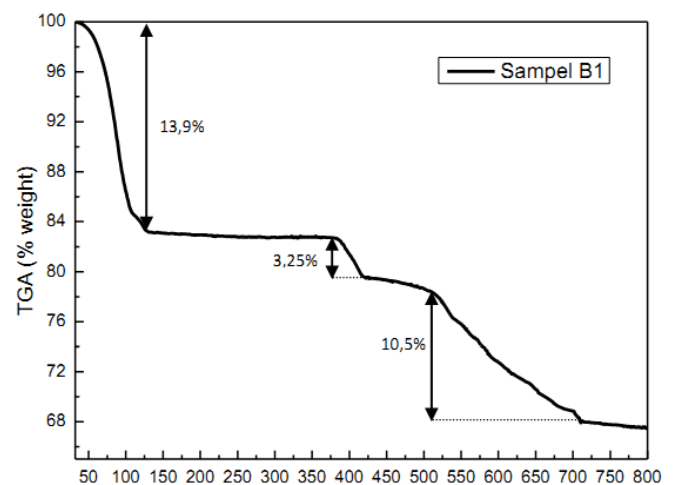
Gambar 7 menunjukkan hasil uji TGA sampel A1. Pada sampel A1 terjadi penurunan massa pada suhu 37,5°C-60,5°C sebesar 0,5% dari massa sampel awal yang disebabkan oleh terlepasnya molekul air yang terserap oleh *quicklime*. Pemanasan pada suhu 380°C – 446°C menyebabkan penurunan massa sampel sebesar 11,4%. Penurunan massa sampel tersebut disebabkan oleh reaksi dekomposisi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Chen dkk., 1993) sesuai dengan persamaan 3 serta pada suhu 629,2°C-682°C dengan 4,1% massa yang hilang akibat proses dekomposisi molekul  $\text{CaClOH}$  sesuai dengan persamaan 5. Total massa yang hilang akibat pemanasan hingga suhu 800 °C pada sampel A1 sekitar 23%. Gambar 8 menunjukkan hasil uji TGA sampel A2. Pada sampel A2 penurunan massa yang mengacu pada terlepasnya molekul air terjadi pada suhu 37°C-63°C dengan 5,14% dari massa awal. Sedangkan pada suhu 380°C-450°C dengan penurunan massa sebesar 12,84% akibat proses dekomposisi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Selanjutnya penurunan massa 587°C-690°C dengan 6,77% massa yang hilang. Penurunan massa ini diidentifikasi sebagai dekomposisi  $\text{CaClOH}$ .

Menurut Galan dkk (2015) bahwa dekomposisi  $\text{CaClOH}$  terjadi pada suhu di atas 580°C dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



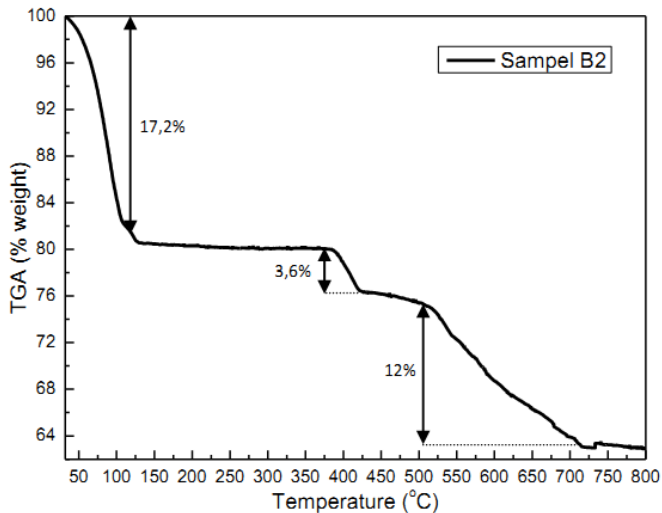
Gambar 8. Hasil TGA sampel A1 setelah adsorpsi

Gambar 9 menunjukkan hasil uji TGA sampel B1 yang telah mengalami adsorpsi uap HCl. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa penurunan massa terjadi pada suhu 38°C-102°C dengan 13,9% dari massa awal sampel. Hal ini disebabkan terlepasnya molekul air. Kemudian penurunan massa antara suhu 379°C-420°C sebanyak 3,25% mengacu pada dekomposisi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Selanjutnya penurunan massa juga terjadi pada suhu 525°C-710°C dengan kehilangan massa sebanyak 10,5% yang teridentifikasi sebagai dekomposisi  $\text{CaClOH}$  sesuai persamaan 5. Total massa yang hilang pada sampel B1 sebesar 32,6%.



Gambar 9. Hasil TGA sampel B1 setelah adsorpsi

Gambar 10 menunjukkan hasil uji TGA sampel B2. dekomposisi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pada suhu  $387^\circ\text{C}$ - $425^\circ\text{C}$  dengan 3,6% massa yang hilang. Dekomposisi  $\text{CaClOH}$  pada Sampel B2 terjadi pada suhu  $517^\circ\text{C}$ - $723^\circ\text{C}$  dengan 12% massa yang hilang. Total penurunan massa pada Sampel B1 adalah 37%.



Gambar 10. Hasil TGA sampel B2 setelah adsorpsi

Tabel 1 menunjukkan data kapasitas adsorpsi dari *quicklime* pada variasi ukuran dan kemurnian sampel. Dengan kemurnian yang sama, yaitu 22%, sampel A2 memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibanding sampel A1. Sedangkan pada kemurnian 52%, sampel B2 memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibanding sampel B1.

Hal tersebut disebabkan karena ukuran partikel pada sampel A2 dan B2 lebih kecil dibanding sampel A1 dan B1. Peristiwa tersebut menunjukkan bahwa ukuran partikel berbanding terbalik dengan kapasitas adsorpsi dimana semakin kecil ukuran partikel maka kapasitas adsorpsi akan meningkat karena luas permukaan partikel juga meningkat sehingga area adsorpsi lebih besar. Hasil yang sama juga diperoleh oleh Wang dkk (1996) serta Chyang dkk (2009) yang melaporkan bahwa semakin kecil ukuran adsorben  $\text{CaO}$  maka akan diperoleh kapasitas adsorpsi yang tinggi hal ini disebabkan reaktivitas adsorben yang meningkat jika ukuran partikel diperkecil. Namun dalam penelitian tersebut kapasitas adsorpsi akan menurun

seiring menurunnya ukuran partikel jika temperatur mencapai  $850^\circ\text{C}$ .

Hasil penelitian tentang adsorpsi gas  $\text{HCl}$  menggunakan adsorben berbasis  $\text{CaO}$  dilaporkan oleh beberapa peneliti sebelumnya antara lain Li dkk (2015), Tan dkk (2014), serta Partanen dkk (2005) sebagaimana disajikan pada tabel 1. Li dkk (2015) meneliti tentang adsorpsi gas  $\text{CO}_2/\text{HCl}$  menggunakan terak karbida (kadar  $\text{CaO}$  71,09%) melalui siklus adsorpsi/desorpsi berulang.  $\text{HCl}$  yang teradsorpsi mencapai maksimum pada temperatur adsorpsi  $700^\circ\text{C}$ , temperatur desorpsi  $850^\circ\text{C}$ , ukuran partikel  $0,125\ \mu\text{m}$ , dan siklus kesepuluh yaitu sebesar  $0,261\ \text{mg HCl/mg adsorben}$ . Tan dkk (2014) melaporkan adsorpsi gas  $\text{HCl}$  oleh *lime* mencapai maksimum terjadi pada suhu  $600^\circ\text{C}$  dengan perbandingan mol  $\text{Ca/mol Cl}$  sebesar 2,5 di dalam reaktor *dual-layer granular bed filter* yaitu sebesar  $0,456\ \text{mg HCl/mg adsorben}$ . Partanen dkk (2005) melaporkan bahwa adsorpsi  $\text{HCl}$  oleh Gotland *limestone* (kadar  $\text{CaO}$  54,4%) maksimum mencapai  $0,586\ \text{mg HCl/mg adsorben}$  pada kondisi  $850^\circ\text{C}$  pada campuran gas yang mengandung 5% oksigen pada  $\text{N}_2$ . Apabila dibandingkan dengan peneliti sebelumnya hasil adsorpsi lebih kecil hal ini disebabkan karena proses adsorpsi dilakukan pada kisaran temperatur ruangan sehingga masih terlalu rendah bila dibandingkan dengan kondisi optimum proses adsorpsi  $\text{HCl}$  yang berada pada interval suhu  $600^\circ\text{C}$  hingga  $700^\circ\text{C}$ .

Tabel 1. Kapasitas adsorpsi dari *quicklime*

Sampel	kapasitas adsorpsi mg $\text{HCl/mg adsorben}$
A1	0,041
A2	0,068
A3	0,105
A4	0,121
Li dkk (2015)	0,261
Tan dkk (2014)	0,456
Partanen dkk (2005)	0,586

Proses adsorpsi gas  $\text{HCl}$  oleh *quicklime* dijelaskan dengan model *grain* dengan proses yang melibatkan reaksi



antara fasa gas-padat di dalam media berpori (Fonseca dkk, 1998). Dalam model tersebut padatan adsorben yang berpori diasumsikan tersusun dari *grain* yang berukuran kecil dan tidak berpori. Masing-masing dari grain tersebut dapat bereaksi dan terkonversi sesuai dengan model inti tidak bereaksi (*unreacted core model*). Antonioini dkk (2016) melaporkan bahwa reaksi gas HCl dengan *quicklime* diawali dengan difusi gas HCl melewati lapisan batas gas (*gas boundary layer*) yang melapisi permukaan partikel adsorben. Gas asam selanjutnya masuk ke dalam partikel dan berdifusi melewati pori-pori partikel. Mekanisme difusi terjadi melalui mekanisme difusi intra-partikel (difusi molekul, Knudsen dan permukaan). Ketika molekul gas asam mencapai permukaan *grain*, perpindahan massa gas selanjutnya dikontrol oleh difusi *solid-state* melewati lapisan produk reaksi menuju lapisan inti yang belum bereaksi (*unreacted core surface*). Lapisan padatan yang belum bereaksi selanjutnya akan berkontak dengan gas asam menghasilkan produk reaksi.

Berdasarkan data pada tabel 1 menunjukkan bahwa pada ukuran 100 mesh, sampel B1 memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan sampel A1. Pada ukuran partikel yang 200 mesh, sampel B2 memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan sampel A2. Hal tersebut disebabkan sampel B1 memiliki kemurnian yang lebih tinggi daripada sampel A1. Demikian juga sampel B2 yang memiliki kemurnian lebih tinggi dibandingkan dengan sampel A2. Kedua hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kemurnian *quicklime* maka kadar CaO yang terkandung semakin tinggi sehingga kapasitas adsorpsi semakin meningkat. Hal ini disebabkan semakin banyaknya partikel *quicklime* yang mampu menyerap uap HCl. Selain itu, kandungan MgO pada *quicklime* berperan sebagai *inert* yang dapat menurunkan konsentrasi hasil klorinasi CaO serta mempermudah uap HCl untuk berkontak dengan CaO yang tidak bereaksi di dalam partikel. Di dalam aplikasi sebagai adsorben HCl menunjukkan bahwa MgO dapat memperkuat struktur partikel dan mencegah rapuh. Hasil perbandingan dari keempat sampel hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi terbesar dimiliki

oleh sampel B2. Hal tersebut disebabkan sampel B2 memiliki kemurnian *quicklime* lebih tinggi daripada sampel A1 dan sampel A2 dan ukuran partikel yang lebih kecil daripada sampel B1.

#### 4. KESIMPULAN

Proses adsorpsi uap HCl dapat dilakukan dengan menggunakan *quicklime* yang dilakukan pada temperatur *ambient*. Hasil uji XRD pada sampel menunjukkan bahwa *quicklime* memiliki kandungan CaO dan Ca(OH)<sub>2</sub> yang dapat mengadsorpsi uap HCl. Hasil analisis TGA dan XRD pada *quicklime* yang telah mengadsorpsi uap HCl terdapat senyawa CaClOH sebagai produk dari reaksi adsorpsi uap asam dengan komponen CaO dan Ca(OH)<sub>2</sub>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatkan kemurnian dan menurunkan ukuran partikel *quicklime* mengarah pada meningkatnya kapasitas adsorpsi. Kapasitas adsorpsi terbesar dimiliki oleh sampel *quicklime* dengan kadar CaO 52% serta berukuran 200 mesh yaitu sebesar 0,121 mg HCl/mg *adsorben*. Dengan memperkecil ukuran *quicklime* dapat mengarah pada meningkatnya luas permukaan yang menyebabkan reaktivitas permukaan partikel meningkat sehingga daya adsorpsi meningkat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Kimia PPNS yang telah mendukung penelitian ini baik dalam bentuk pinjaman fasilitas maupun peralatan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aihara M., Nagai T., Matsushita J., Negishi Y., and Ohya H., 2001, Development of Porous Solid Reactant for Thermal-Energy Storage and Temperature Upgrade Using Carbonation/Decarbonation Reaction, *J. of Applied Energy* (69): 225–238.
- Alvarez D., and Abanades J.C., 2005, Determination of the Critical Product Layer Thickness in the Reaction of

- CaO with CO<sub>2</sub>, *Industrial Engineering and Chemistry Research* (44): 5608–5615.
- Antonioni, G., Pozzo, A.D., Guglielmi, D., Tugnoli, A., and Cozzani, V., 2016, Enhanced Modelling of Heterogeneous Gas–Solid Reactions in Acid Gas Removal Dry Processes, *J. of Chemical Engineering Science* (148):140–154.
- Batidzirai B., Mignot A.P.R., Schakel W.B., Junginger H.M., and Faaij A.P.C., 2013, Biomass Torrefaction Technology: Techno-Economic Status and Future Prospects, *J. of Energy* (62):196–214.
- Baxter L., 2005, Biomass-Coal Co-Combustion: Opportunity for Affordable Renewable Energy, *J. of Fuel* (84):1295–1302.
- Chen D., Gao X., and Dollimore D., 1993, The Application of non-isothermal Methods of Kinetic Analysis to The Decomposition of Calcium Hydroxide, *Thermochimica Acta* (215): 65-82.
- Chibante V.G., Fonseca A.M, and Salcedo R.R., 2009, Comparing the Performance of Recirculating Cyclones Applied to The Dry Scrubbing of Gaseous HCl with Hydrated Lime, *J. of Industrial and Engineering Chemistry Research* (48):1029 - 1035.
- Chyang C.S., Han Y.L., and Zhong Z.C., 2009, Study of HCl Absorption by CaO at High Temperature, *J. of Energy Fuel* (23): 3948–39 53.
- Fonseca, A.M., Orfao, J.J., and Salcedo, R.L., 1998, Kinetic Modeling of the Reaction of HCl and Solid Lime at Low Temperatures, *J. of Industrial & Engineering Chemistry Research* (37): 4570-4576.
- Galan I., Perron L., and Glasser F.P., (2015), Impact of Chloride-Rich Environments on Cement Paste Mineralogy, *Cement and Concrete Research* (68):174–183.
- Gullett B.K., Jozewicz W., and Stefanski L.A., 1992, Reaction kinetics of Ca-based sorbents with HCl, *J. of Industrial and Engineering Chemistry Research* (31): 2437–2446.
- Han R., Sun F., Gao J., Wei S., and Su Y., (2017), Effect of The Presence of NaCl Vapour on Indirect Sulphation of Limestone, *J. of Fuel Processing Technology* (160): 39–46.
- Hsu C.J., and Hsiao S.S., (2011), Experimental Study of The Gas Flow Behavior in the Inlet of a Granular Bed Filter, *J. of Advanced Powder Technology* (22): 741–752.
- Huang C.H., Chang K.P., Yu C.T., Chiang P.C., and Wang C.F., 2010, Development of High-Temperature CO<sub>2</sub> Sorbents Made of CaO-Based Mesoporous Silica, *Chemical Engineering Journal* (161):129-135.
- Jiang X.G., Yan J.H., Li X.P., Liu B.C., Lu S.Y., Chi Y., and Cen K.F., 2005, Experimental Study of HCl Emission and Removal on Incinerating of Typical MSW Components in Fluidized Bed, In: *Proceedings of the 18th International Conference on Fluidized Bed Combustion*, Toronto, Canada, pp. 867– 872.
- Li Y., Wang W., Cheng X., Su M., Ma X., and Xie X., 2015, Simultaneous CO<sub>2</sub>/HCl Removal Using Carbide Slag in Repetitive Adsorption/Desorption Cycles, *J. of Fuel* (142): 21-27.
- Mikhail R.Sh., Brunauer S., and Copeland L.E., 1966, Kinetics of the Thermal Decomposition of Calcium Hydroxide, *J. of Colloid and Interface Science* (21): 394-404.
- Moropoulou A., Bakolas A., and Aggelakopoulou E., 2001, The Effects of Limestone Characteristics and Calcination Temperature to The Reactivity of The Quicklime, *Cement and Concrete Research* (31): 633-639.
- Moyeda D.K., Seeker W.R., England G.C., and Linz D.G., 1990, The Formation and Control of PCDD/PCDF from RDF-Fired Combustion Systems. *J. of Chemosphere* (20):1817-1824.
- Partanen J., Backman P., Backman R., and Hupa M., 2005, Absorption of HCl by Limestone in Hot Flue Gases. Part I: The Effects of Temperature, Gas

- Atmosphere and Absorbent Quality, *J. of Fuel*, 1664-1673.
- Ren Xiaohan., Sun Rui., Chi H.H., Meng Xiaoxiao., Li Yupeng, and Levendis Y.A., 2017, Hydrogen Chloride Emissions From Combustion of Raw and Torrefied Biomass, *J. of Fuel* (200): 37-46.
- Roesch A., Reddy E.P., and Smirniotis P.G., 2005, Parametric Study of Cs/CaO Sorbents with Respect to Simulated Flue Gas at High Temperatures, *J. of Industrial and Engineering Chemistry* (44), 6485–6490.
- Salvador C., Lu D., Anthony E.J., and Abanades J.C., 2003, Enhancement of CaO for CO<sub>2</sub> Capture in an FBC Environment, *Chemical Engineering Journal* (96):187–195.
- Shearer J.A., Johnson I., and Turner C.B., 1979, Effects of Sodium chloride on Limestone Calcination and Sulfation in Fluidized-Bed Combustion, *J. of Environmental Science Technology* (13): 1113–1118.
- Shih S.M., Ho C.S., Song Y.S., and Lin J.P., 1999, Kinetics of the Reaction of Ca(OH)<sub>2</sub> with CO<sub>2</sub> at Low Temperature, *Industrial and Engineering Chemistry Research* (38) :1316-1322.
- Sondreal E.A., Benson S.A., Hurley J.P., Mann M.D., Pavlish J.H., and Swanson M.L., (2001), Review of Advances in Combustion Technology and Biomass Cofiring, *J. of Fuel Process Technology* (71):7–38.
- Soud H.N., 1994, FGD Installations on Coal-fired Plants, 2nd ed., IEA Coal Research, London.
- Tan J., Yang G., Mao J., and Dai H., 2014, Laboratory Study on High-Temperature Adsorption of HCl by Dry-Injection of Ca(OH)<sub>2</sub> in a Dual-Layer Granular Bed Filter, *Frontiers of Environmental Science and Engineering* (8): 863-870.
- Tillman D.A., Duong D., and Miller B., 2009, Chlorine in Solid Fuels Fired in Pulverized Fuel Boilers Sources, Forms, Reactions, and Consequences: a literature review. *Energy Fuels* (23): 3379-3391.
- Wang W., Ye Z., and Bjerle I., 1996, The Kinetics of The Reaction of Hydrogen Chloride with Fresh and Spent Ca-based Desulfurization Sorbents, *J. of Fuel* (75):207–212.
- Wey M.Y., Liu K.Y., Yu W.J., Lin C.L., and Chang F.Y., 2008, Influences of Chlorine Content on Emission of HCl and Organic Compounds in Waste Incineration Using Fluidized Beds, *J. of Waste Management* (28):406-415.