

RECOVERY SILIKA DARI ABU BATUBARA BOILER TEKANAN RENDAH

Taofik Hidayat¹⁾, Hartini Hadi Santosa²⁾

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Jakarta
Hadihartini@gmail.com

ABSTRAK. Saat ini abu batubara dari boiler tekanan rendah merupakan limbah yang belum tertangani dengan baik. Komponen utama yang ada di dalam abu batubara adalah silika (SiO_2), yaitu sebesar 40,22%. Oleh karena itu, silika dalam abu batubara memiliki potensi yang besar untuk di-*recovery* menjadi produk berbasis silika. Proses *recovery* dilakukan dengan cara mereaksikan abu batubara dengan larutan NaOH, kemudian campuran reaksi difiltrasi sehingga menghasilkan filtrat berupa, natrium silikat. Untuk melakukan proses *recovery* tersebut, maka diberikan variasi: konsentrasi larutan NaOH (0,5; 0,8; 1,1; 1,4; 1,6; dan 2 M), rasio mol NaOH/ SiO_2 (0,5; 0,7; 1,7; 3; dan 4), suhu reaksi (60, 70, 80, 90 dan 100°C), waktu reaksi (1, 3, 5, 7, dan 9 jam), dan diameter partikel abu (+2 mm, -1+0,63 mm, -0,63+0,335 mm, -0,355+0,2 mm, dan -0,112+0,05 mm).

Dari penelitian yang telah dilakukan, kondisi operasi yang menghasilkan persen *recovery* silika tertinggi dari abu batubara adalah: konsentrasi larutan NaOH 2M, rasio mol NaOH/ SiO_2 4, suhu reaksi 100°C, waktu reaksi 9 jam, dan diameter partikel abu -0,112+0,05 mm. Selain itu, didapatkan hasil bahwa rentang variasi diameter partikel abu yang diberikan tidak menghasilkan perbedaan persen *recovery* yang signifikan.

Kata kunci : silica, batu bara, boiler

PENDAHULUAN

Latar Belakang Penelitian

Saat ini, ketergantungan manusia terhadap energi yang bersumber dari minyak bumi dan gas sangat tinggi. Akan tetapi dengan semakin menipisnya cadangan minyak bumi dan gas, terutama yang berada di Indonesia, maka ketergantungan tersebut harus dikurangi. Oleh karena itu, batubara diprediksi akan menjadi motor energi di Indonesia. Pemerintah telah membuat skenario bahwa untuk tahun 2025 persentase sumber energi di Indonesia akan mengalami perubahan dengan menggunakan batubara sebagai sumber energi sebanyak 33% dari total sumber energi yang ada (Pusat Litbang. Tekmira, 2006).

Industri tekstil merupakan industri yang menggunakan batubara terbanyak kedua setelah industri pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dengan konsumsi batubara sekitar 4,2 juta ton per tahun (PT Visidata Riset Indonesia, 2009).

Konsumsi batubara yang tinggi berpotensi menimbulkan masalah baru terhadap lingkungan karena akan menghasilkan abu sebanyak 5 - 10% dari setiap massa batubara yang dibakar.

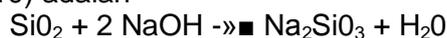
Sebagai contoh, limbah abu batubara di daerah industri Majalaya mengganggu kenyamanan lingkungan permukiman karena kalangan industri pengguna batubara menumpuk limbahnya di area bebas atau terbuka, bahkan ada yang membuang di pinggir jalan sehingga pemandangan menjadi terganggu oleh gundukan limbah tersebut (Suara Karya, 2006). Hal ini menunjukkan bahwa saat ini limbah batubara yang ada masih belum tertangani dengan baik karena belum adanya metode yang tepat untuk mengolah limbah tersebut. Selain itu, proses perizinan untuk membuang limbah ini sangat sulit sehingga kalangan industri lebih banyak yang membuang secara ilegal ke lingkungan permukiman.

Silikon dioksida (SiO_2) merupakan senyawa yang paling banyak terkandung dalam abu

hasil pembakaran batubara yaitu sebanyak 52% (Kemeneg. Lingkungan Hidup, 2006). Hal ini menjadikan abu batubara sangat potensial untuk di-*recovery* sehingga dapat dihasilkan produk-produk berbasis silika yang berguna untuk berbagai keperluan.

Silika merupakan senyawa kimia yang pemanfaatan dan aplikasinya sangat luas mulai di bidang elektronika, mekanik, medis, seni, dan bidang-bidang lainnya (Harsono, 2002).

Silika dapat direaksikan dengan bahan kimia lain seperti NaOH sehingga dihasilkan produk berupa natrium silikat yang berwujud padat ataupun cair. Persamaan reaksi antara natrium hidroksida (NaOH) dengan silika (SiO_2) yang disebutkan dalam sebuah artikel di http://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_dioxide (2010) adalah



Oleh karena itu, penelitian ini ditujukan untuk mengolah limbah hasil pembakaran batubara dengan cara *recovery* sehingga dihasilkan produk lain yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi dan mengurangi kandungan B3 dalam abu hasil pembakaran batubara tersebut.

Perumusan Masalah

Pada dasarnya proses *recovery* silika adalah mereaksikan abu hasil pembakaran batubara dengan larutan basa kuat pada kondisi operasi tertentu. Pada penelitian ini akan dikaji bagaimana pengaruh beberapa kondisi operasi terhadap proses *recovery* sehingga didapatkan kondisi operasi dengan persen *recovery* silika tertinggi.

TINJAUAN PUSTAKA

Batubara

Batubara adalah batuan sedimen yang berasal dari tumbuhan purba yang telah tertimbun dan terdekomposisi selama jutaan tahun di dalam tanah. Kandungan utama batubara adalah karbon sehingga menyebabkan batubara menjadi mudah terbakar. Batubara memiliki nilai kalori yang tinggi yaitu antara 4200 sampai 6300 kkal/kg (www.coalindoenergy.com, 2008). Oleh karena itu, batubara dapat digunakan

sebagai bahan bakar untuk memenuhi kebutuhan energi di dunia industri.

Di dunia industri, batubara digunakan sebagai bahan bakar boiler. Menurut Kemeneg. Lingkungan Hidup (2006), sistem pembakaran batubara di boiler umumnya terbagi dua yaitu:

(1) Sistem unggun terfluidakan (*fluidized bed system*), yaitu sistem pembakaran dimana udara ditiupkan dari bawah menggunakan blower sehingga benda padat di atasnya berperilaku seperti fluida.

(2) *Fixed bed system* atau *grate system*, yaitu teknik pembakaran dimana batubara berada di atas *conveyor* yang berjalan atau *grate*.

Abu Batubara

Abu batubara adalah partikel halus yang terbentuk karena adanya perubahan bahan mineral (*mineral matter*) dalam batubara akibat proses pembakaran di boiler (<http://firdaushanif.multipv.com/iournal/ite m/2/> Pembakaran Batubara. 2007).

Pada pembakaran batubara di dalam boiler terbentuk dua jenis batubara yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Menurut Kemeneg. Lingkungan Hidup (2006), *fly ash* dan *bottom ash* adalah terminologi umum untuk abu terbang yang ringan dan abu relatif berat yang timbul dari suatu proses pembakaran suatu bahan yang lazimnya menghasilkan abu. *Fly ash* dan *bottom ash* dalam konteks ini adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara.

Pada boiler dengan *fix bed system*, perbandingan berat *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk adalah 15-25% berbanding 75-25% (Kemeneg. Lingkungan Hidup, 2006). Umumnya, komposisi kimia *bottom ash* ditunjukkan oleh tabel 2.1

Tabel 2.1 Komposisi Kimia *Bottom Ash*

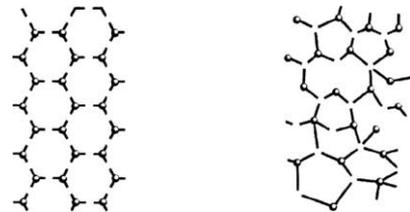
No.	Komponen	Persen Berat
1	SiO ₂	50 - 60%
2	Al ₂ O ₃	18-28%
3	Fe ₂ O ₃	9 - 29%
4	CaO	1 - 5%
5	MgO	1 - 2%
6	TiO ₂	1 - 2%

Sumber: MSDS Bottom Ash (2001)

Silikon Dioksida

Dalam sebuah artikel di http://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_dioxide (2010), disebutkan bahwa silikon dioksida merupakan sebuah oksida dari silikon yang mempunyai rumus kimia SiO₂. Silikon dioksida juga dikenal dengan nama silika yang mempunyai dua bentuk, yaitu bentuk kristal dan bentuk amorf.

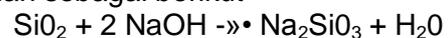
Menurut Takeuchi (2008), secara umum, perbedaan antara kristal dan amorf terletak pada susunan partikel penyusunnya. Gambar 2.2 menunjukkan perbedaan antara susunan partikel pembentuk padatan amorf dan padatan kristal.



a. Padatan Kristal b. Padatan Amorf

Gambar 2.2 Susunan Partikel Padatan Kristal dan Padatan Amorf Sumber: Takeuchi (2008)

Dalam sebuah artikel di http://en.wikiDedia.org/wiki/Silicon_dioxide (2010), disebutkan bahwa silika larut dalam larutan alkali yang panas dan memiliki konsentrasi tinggi. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut



Menurut Sarkar dkk. (2004), silika berbentuk amorf memiliki reaktivitas yang lebih tinggi terhadap alkali (natrium dan kalium) dibandingkan dengan silika yang

berbentuk kristal.

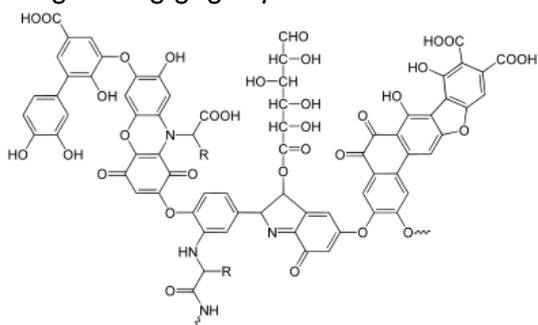
Humus

Humus merupakan senyawa kompleks yang tahan terhadap perombakan oleh mikroorganisme, berbentuk amorf, berwarna coklat kehitaman, bersifat koloid dan berasal dari proses degradasi bahan organik seperti daun, pohon atau kayu oleh mikroba tanah (Ariyanto, tanpa tahun).

Menurut Ariyanto (tanpa tahun), humus diklasifikasikan menjadi tiga bagian, yaitu:

1. *Humic acid* atau asam humat
Asam humat memiliki warna yang gelap, aktif dalam reaksi kimia, dapat larut dalam basa kuat tetapi tidak larut dalam asam, dan mempunyai gugus fungsional asam.
2. *Fulvic acid* atau asam fulvat
Asam fulvat mengandung gugus fungsional basa, dapat larut dalam basa dan asam, dan aktif dalam reaksi kimia..
3. Humin
Humin adalah bagian dari humus yang tidak larut dalam asam dan basa, memiliki berat molekul paling besar, dan tidak aktif dalam reaksi kimia.

Gambar 2.4 menunjukkan contoh susunan molekul dari asam humat yang mengandung gugus *phenolic*.



Gambar 2.3 Susunan Molekul Asam Humat
Sumber:

https://en.wikipedia.org/wiki/Humic_acid
(2010)

Produk Berbasis Silika

Produk berbasis silika merupakan produk yang mengandung silika sebagai komponen dasar. Produk berbasis silika yang paling banyak digunakan terutama di dunia industri adalah silika gel dan natrium

silikat.

(1) Silika Gel

Silika gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat (NaSiO_2). Sol dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kaca yang bersifat tidak elastis (<http://punkels.wordpress.com/2008/12/21/kegunaan-silica-gel/>). Silika gel merupakan padatan yang memiliki porositas yang sangat tinggi (<http://www.chromatography-online.org/topics/silica/gel.html>, tanpa tahun). Porositas yang tinggi ini menjadikan silika gel memiliki daya serap yang tinggi terhadap kelembaban atau substansi lain sehingga dapat dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering, dan penopang katalis.

(2) Natrium Silikat

Natrium silikat adalah salah satu senyawa yang mengandung natrium oksida (Na_2O) dan silika (SiO_2). Menurut Speight (2002), natrium silikat diproduksi dengan mereaksikan soda abu (Na_2CO_3) dengan pasir silika pada suhu 1200°C sampai 1400°C dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Natrium silikat merupakan senyawa yang tidak berwarna, transparan dan terlihat seperti kaca. Di pasaran, natrium silikat tersedia dalam bentuk bubuk (*powder*) dan cairan kental. Senyawa ini dapat larut dalam air membentuk cairan seperti sirup. Beberapa bentuk dari natrium silikat mempunyai kelarutan yang kecil di dalam air dan ada pula yang tidak larut sama sekali. Natrium silikat dapat larut baik di dalam air yang dipanaskan dalam kondisi vakum

(<http://chemicaland21.com/industrialchemical/inorganic/sodium%20silicate.htm>).

Pemanfaatan Natrium Silikat

Berikut ini adalah beberapa pemanfaatan dari natrium silikat.

(1) Pengawetan makanan (telur)

Telur dapat diawetkan dengan cara

direndam di natrium silikat. Ketika direndam, pori-pori pada kulit telur akan tertutup sehingga menghalangi bakteri penyebab busuk untuk masuk dan dapat menjaga telur tetap segar hingga sembilan bulan ([http://en.wikimedia.org/wiki/Sodium silicate](http://en.wikimedia.org/wiki/Sodium_silicate). 2010). Menurut <http://www.scribd.com/doc/18083044/BUDIDAYA-TERNAK-ITIK>(2009), telur yang akan diawetkan direndam selama satu bulan dengan larutan natrium silikat 10%.

- (2) Inhibitor korosi
Natrium silikat yang dicampur dengan senyawa posfat efektif menghambat laju korosi pada logam baja dengan kondisi pH mendekati 7 dan dengan kadar Cl yang rendah. Pada umumnya larutan Natrium Silikat yang digunakan mempunyai komposisi 8,76% Na₂O dan 28,38% SiO₂ dengan konsentrasi 2-10 ppm (Dalimunthe 2014)
- (3) Pengawetan kayu
Rolfe Cobleigh dalam bukunya yang berjudul *Handy Farm Devices and How to Make Them* menyarankan untuk menggunakan natrium silikat sebagai bahan untuk mengolah kayu. Kayu yang diolah dengan natrium silikat memiliki ketahanan yang tinggi terhadap rayap dan menjadi tidak mudah terbakar ([http://en.wikiDedia.org/wiki/Sodium silicate](http://en.wikiDedia.org/wiki/Sodium_silicate). 2010).
- (4) *Builder* pada deterjen
Builder adalah salah satu komponen deterjen yang dapat mengikat kation-kation penyebab kesadahan yang sebagian besar adalah kation Ca^{2r} (kalsium) dan Mg (magnesium), dengan cara melepas kation Na (natrium) dan menggantikannya dengan kalsium atau magnesium (Hardi dan Ramadhan S., 2008).
- (5) Pelapis beton
Natrium silikat yang melapisi beton akan menutup pori-pori beton dan mengikat kelebihan Ca(OH)₂ sehingga beton tidak akan rusak oleh adanya air ([http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium silicate](http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_silicate). 2010).

Hipotesis

Persen *recovery* silika dari abu hasil pembakaran batubara akan semakin besar dengan bertambahnya konsentrasi NaOH, rasio mol NaOH/SiO₂, suhu reaksi, dan waktu reaksi.

METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Penelitian Politeknik Negeri Bandung, Jalan Gegerkalong Hilir, Bandung, Jawa Barat. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Februari sampai Maret 2010.

Alat dan Bahan

Tabel 3.1 adalah tabel yang menyajikan data alat - alat utama yang digunakan dalam penelitian ini.

No.	Analisis/Perlakuan	Metode/Alat
1	pH	pH Meter <i>Methrom</i>
2	Pengecilan Ukuran	<i>Ball Mill Groschopp</i>
3	Ukuran Partikel Abu	<i>Screen Analyzer Retsch</i>
4	Kecepatan Pengaduk	<i>Tachometer</i>
5	Kandungan kimia abu	Spektrofotometri serapan atom
6	Bentuk silika dalam abu	Mikroskop optik <i>Carl Zeiss</i>
7	Suhu	Termometer raksa suhu maksimum 250°C
8	Kadar SiO ₂ dalam filtrat	Spektrofotometer <i>Hach D2800</i>
9	Volume filtrat	Gelas ukur
10	Massa residu	Timbangan
11	Kandungan air abu	Gravimetri
12	Reaksi <i>recovery</i>	Labu leher 3 500 ml
13	Pemanas reaktor	Penangas listrik suhu maksimal 200 °C

Tabel 3.1 Alat-alat Untuk Mengumpulkan Data

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- (a) NaOH teknis dan p.a. dari *Brataco Chemical* yang telah distandardisasi dengan asam oksalat
- (b) abu batubara dari boiler tekanan rendah dari pabrik tekstil PT Garuda Mas Tekstil Cimahi

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, tahap - tahap penelitian yang dilakukan terdiri dari tahap persiapan, tahap pelaksanaan percobaan, dan tahap analisis.

Tahap Persiapan

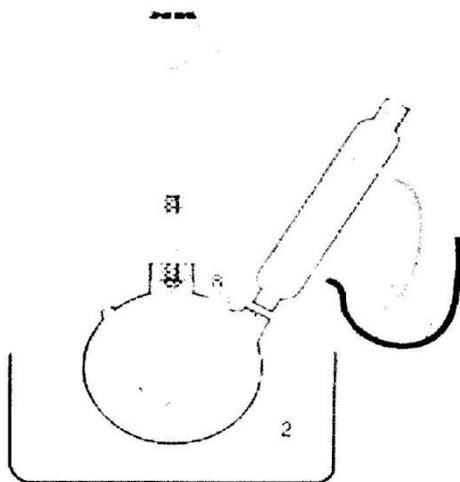
Tahap persiapan ini terdiri dari:

1. Persiapan Peralatan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- (a) labu leher tiga kapasitas 500 ml dilengkapi dengan kondensor;
- (b) termometer dengan temperatur maksimal 250 °C;
- (c) motor pengaduk dengan kecepatan maksimum sebesar 800 rpm;
- (d) spektrofotometer HA CHD2800\
- (e) penangas listrik dengan spesifikasi yaitu :
 - Temperatur maksimal 200 °C
 - Voltase 200 volt
 - Daya 1000 watt
 - Frekuensi 50 Hz

Gambar 3.1 menunjukkan rangkaian reaktor yang digunakan untuk penelitian.



Keterangan:

1. Reaktor
2. Penangas
3. Kondensor
4. Termometer
5. Labung CaCl₂
6. Motor pengaduk
7. Selang silikon
8. Labung pengambil sampel

2. Persiapan Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- (c) NaOH teknis dan p.a. dari *Brataco Chemical* yang telah distandardisasi dengan asam oksalat
- (d) abu batubara dari boiler tekanan rendah dari pabrik tekstil PT Garuda Mas Tekstil Cimahi

Tahap Pelaksanaan Percobaan

Tahap pelaksanaan percobaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

(1) Tahap *pre-treatment*

- a) Pengecilan ukuran Abu boiler yang didapatkan dikecilkan ukurannya dengan menggunakan *ball mill* agar luas permukaan antara abu dengan NaOH lebih besar sehingga silika yang bereaksi menjadi lebih banyak.
- b) Pengayakan
Pengayakan dilakukan untuk memvariasikan ukuran partikel yang digunakan untuk reaksi, pengayakan ini dilakukan dengan menggunakan *screen analyzer*
- c) Pencucian
Pencucian dilakukan untuk menghilangkan alkali total dengan cara melarutkannya dengan aquades, agar alkali total tersebut tidak mengganggu proses reaksi yang akan dilakukan. Abu batubara dicuci dengan aquades dan disaring sampai filtrat mempunyai pH yang netral. Setiap 10 gram abu batubara dicuci dengan aquades sebanyak 100 ml.
- d) Pengeringan
Abu yang telah dicuci dikeringkan dengan menggunakan oven pada temperatur 110 °C selama 4 jam agar abu yang ditimbang bebas air.
- e) Penghilangan senyawa besi (separasi magnetik)
Senyawa besi dalam abu batubara merupakan pengotor yang akan mengganggu proses reaksi yang akan dilakukan. Penghilangan

senyawa besi ini dilakukan dengan menggunakan magnet.

f) Analisis awal terhadap abu batubara

Analisis awal yang dilakukan terhadap abu batubara adalah:

- analisis kandungan kimia abu batubara dengan menggunakan metode spektrofotometri. Alat yang digunakan dalam analisis ini adalah spektrofotometri serapan atom (SSA),
- analisis mengenai bentuk silika dalam abu batubara dengan menggunakan metode mikroskopik optik. Alat yang digunakan dalam analisis ini adalah mikroskop optik *Carl Zeiss*.

(2) Tahap reaksi

a) Tahap reaksi awal

Tahap reaksi awal dilakukan dengan cara mereaksikan abu hasil *pre-treatment* dengan dua jenis NaOH (p.a. dan teknis) kemudian membandingkan hasil *recovery* dari kedua reaksi tersebut. Hal ini dilakukan untuk menentukan jenis NaOH yang akan dipakai dalam reaksi-reaksi berikutnya.

b) Tahap reaksi utama

Tahap reaksi utama merupakan tahap yang digunakan untuk menentukan kondisi operasi dalam *recovery* silika yang ada di dalam batubara dengan cara memvariasikan konsentrasi NaOH, rasio NaOH/SiO₂, suhu reaksi, waktu reaksi, dan diameter partikel abu.

Kondisi operasi yang didapatkan dari penelitian yang pernah dilakukan tentang *recovery* silika dari abu batubara adalah:

1. Vucinic dkk. (tanpa tahun), proses reaksi dilakukan pada suhu 90°C, waktu reaksi 5 jam dan rasio mol NaOH/Silika adalah 0,7 dan 1,3
2. Nugteren dkk. (2001), proses reaksi dilakukan pada suhu 90°C, waktu reaksi 6 jam,

konsentrasi NaOH 2M dan rasio mol NaOH/Silika adalah 3.

Proses *recovery* silika dalam penelitian ini menerapkan kondisi operasi pada tekanan atmosfer dengan kecepatan pengadukan 800 rpm. Tabel 3.2 menunjukkan daftar variasi yang dilakukan pada suhu 90°C dan waktu 5 jam untuk mengetahui konsentrasi yang menghasilkan persen *recovery* silika tertinggi.

Tahap Analisis

Filtrat yang dihasilkan dari tahap filtrasi dianalisis kadar silikanya dengan menggunakan metoda spektrofotometri.

Metode Analisis

Dalam penelitian ini, analisis utama yang dilakukan adalah

- (1) Analisis bentuk silika dalam abu dengan menggunakan alat mikroskop *Carl Zeiss*.
- (2) Analisis kandungan kimia dalam abu dengan menggunakan alat spektrofotometer serapan atom (SSA). Analisis ini menggunakan metode SNI 13-3608-1994.
- (3) Analisis kandungan silika dalam filtrat dengan menggunakan alat spektrofotometer *Hach D2800*. Analisis ini menggunakan metode SMEWW 4500 SiO₂

Hasil Reaksi Recovery Silika dari Abu

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rentang konsentrasi dari 4 M sampai 6 M, analisis terhadap persen *recovery* silika tidak dapat dilakukan. Hal ini terjadi karena pada rentang konsentrasi tersebut, campuran antara abu batubara dengan NaOH menghasilkan campuran berbentuk *slurry* yang tidak dapat menghasilkan produk berupa cairan ketika campuran tersebut difiltrasi. *Slurry* terbentuk karena massa abu yang diberikan lebih banyak dari massa larutan NaOH.

Untuk mengetahui secara lebih tepat pengaruh konsentrasi terhadap persen *recovery*, maka dilakukan perubahan rentang konsentrasi menjadi 0,5 M sampai 2M agar persen *recovery*-nya dapat diketahui dan konsentrasi optimum dapat

diperoleh. konsentrasi dan pengaruhnya terhadap persen *recovery* silika.

Semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH maka silika yang bereaksi dengan NaOH lebih banyak sehingga menghasilkan persen *recovery* yang lebih besar. Pembahasan

Proses Pencucian

Pada pencucian tahap pertama, pH filtrat cenderung basa. Hal ini terjadi karena kandungan alkali di dalam abu (K_2O , Na_2O , CaO , dan MgO) larut dalam air cucian yang menjadi filtrat. Pada pencucian berikutnya, pH filtrat menurun dan mendekati pH netral karena jumlah alkali di dalam abu yang membuat pH filtrat menjadi basa semakin berkurang. Nilai pH filtrat yang netral tersebut menunjukkan bahwa abu yang dicuci telah bebas alkali. Dengan demikian, untuk membuat abu menjadi bebas dari alkali, diperlukan pencucian sebanyak tiga kali.

Penentuan Jenis NaOH yang Akan Digunakan

Hasil percobaan menunjukkan bahwa natrium silikat yang dihasilkan memiliki perbedaan kadar silika yang tidak signifikan antara yang menggunakan NaOH p.a. dengan NaOH teknis. Hal ini menunjukkan bahwa pengotor yang terkandung di dalam NaOH dengan kualitas teknis tidak mengganggu reaksi antara silika di dalam abu batubara dengan NaOH sehingga untuk *run - run* berikutnya, jenis NaOH yang digunakan adalah NaOH kualitas teknis.

Pengamatan terhadap kondisi fisik natrium silikat yang dihasilkan tidak menunjukkan adanya gel. Hal ini menunjukkan bahwa alumina yang ada di dalam batubara tidak ikut larut dalam NaOH membentuk alumino silikat yang berupa gel. Di dalam abu, terkandung silika dalam bentuk bebas (SiO_2) dan silika yang terikat dengan alumina ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$) (Huda, 2010). Reaktivitas NaOH terhadap silika mampu memutuskan ikatan antara silika dan alumina ini sehingga hanya silika saja yang bereaksi dengan NaOH membentuk natrium silikat. Jadi, $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ tidak bereaksi dengan NaOH dalam keadaan terikat membentuk alumino silikat yang berbentuk gel. Walaupun demikian,

alumunium tersebut masih dapat bereaksi dengan NaOH membentuk senyawa natrium aluminat (Sri Rahayu, 2010).³⁰

Pengaruh Bentuk Silika Terhadap Persen Recovery

Dari seluruh percobaan yang dilakukan, persen *recovery* maksimum yang didapatkan adalah 65,32%. Persen *recovery* ini merupakan nilai yang rendah jika dibandingkan dengan persen *recovery* silika dari abu sekam padi yang mencapai kisaran 80% (Harsono, 2010). Rendahnya persen *recovery* ini dikarenakan silika yang terkandung di dalam abu lebih banyak yang berbentuk kristal, yaitu 51,85%. Sedangkan di dalam abu sekam padi, semua silika berbentuk amorf (Harsono, *Recovery Silika Dari Abu Batubara Boiler Tekanan Rendah* 2010). Menurut Sarkar dkk. (2004), silika yang berbentuk kristal memiliki reaktivitas yang lebih rendah terhadap alkali dibandingkan dengan silika yang berbentuk amorf. Kristal memiliki reaktivitas yang lebih rendah karena susunan partikelnya yang teratur sehingga menyebabkan silika kristal lebih rapat dan cenderung tidak berpori. Kerapatan dan tidak adanya pori ini yang menyebabkan silika memiliki *surface contact area* yang lebih kecil sehingga reaktivitasnya lebih rendah dibandingkan dengan silika yang berbentuk amorf.

Identifikasi Penyebab Warna Dalam Filtrat

Semua percobaan yang dilakukan menghasilkan produk reaksi yang berwarna coklat. Beberapa cara yang dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab warna coklat adalah sebagai berikut:

- (1) Menyaring produk reaksi dengan kertas *watman* 40 yang dilapisi dengan 3 kertas saring biasa. Hal ini dilakukan berdasarkan hipotesis bahwa warna yang terdapat dalam natrium silikat disebabkan oleh partikel yang dapat tertahan oleh kertas *watman* 40 dan kertas saring biasa masih terlalu besar untuk menyaring partikel penyebab warna tersebut. Percobaan ini menghasilkan filtrat yang tetap berwarna coklat. Dengan demikian, penyebab warna coklat bukan partikel yang dapat

- tertahan oleh kertas *watman* 40.
- (2) Mengaerasi produk reaksi selama satu hari kemudian larutan hasil aerasi disentrifugasi. Hal ini dilakukan berdasarkan hipotesis bahwa penyebab warna cokelat adalah sisa senyawa besi di dalam abu yang tidak terpisahkan ketika dilakukan separasi magnetik. Dengan mengaerasi larutan tersebut diharapkan senyawa besi penyebab warna dapat dioksidasi dan diendapkan oleh sentrifugasi. Hasil sentrifugasi tetap menghasilkan larutan yang bernama cokelat yang menunjukkan bahwa penyebab warna bukan senyawa besi tetapi senyawa lain yang tidak dapat mengendap dengan cara di-aerasi dan sentrifugasi. Selain, senyawa besi tidak dapat menyebabkan warna larutan natrium silikat menjadi cokelat tetapi menyebabkan warna kekuningan yang tidak akan sepekat seperti yang dihasilkan pada penelitian ini (Saleh, 2010).
 - (3) Melakukan pencucian dengan air bersuhu 90°C kemudian mereaksikan abu hasil pencucian dengan larutan NaOH 1 M, rasio mol NaOH/SiO₂ 0,5, suhu reaksi 90°C, dan waktu reaksi 5 jam. Hal ini dilakukan berdasarkan hipotesis bahwa zat yang menyebabkan warna cokelat pada produk reaksi adalah zat yang dapat larut dalam air panas. Setelah abu hasil pencucian direaksikan dengan larutan NaOH, produk reaksi yang dihasilkan masih berwarna cokelat. Hal ini menunjukkan bahwa zat yang menyebabkan warna cokelat tidak terbuang pada saat pencucian. Dengan demikian, zat yang menyebabkan warna cokelat adalah zat yang tidak larut dalam air bersuhu 90°C

Kadar karbon yang terkandung di dalam abu batubara yang digunakan dalam penelitian ini adalah 35,42%. Diperkirakan zat yang menyebabkan cokelatnya larutan produk adalah kandungan karbon yang tinggi dalam abu sehingga karbon tersebut bereaksi dengan NaOH (Soeswanto, 2010). Oleh karena itu, dilakukan flotasi sederhana pada abu kemudian hasil flotasi

tersebut direaksikan dengan NaOH teknis dengan konsentrasi 3 M, rasio mol NaOH/SiO₂ 3, suhu 90°C dan waktu 2 jam. Hasil dari percobaan tersebut adalah larutan produk yang masih berwarna cokelat. Dengan demikian, flotasi yang dilakukan tidak mampu menghilangkan zat penyebab warna keruh di dalam larutan produk karena tekniknya masih sederhana sehingga persen penyisihan karbonnya sedikit.

Untuk membuktikan bahwa penyebab warna cokelat dalam filtrat adalah karbon, maka dilakukan percobaan dengan cara mereaksikan karbon aktif dengan NaOH 1 M pada suhu 90°C selama 5 jam. Hasilnya adalah sebuah larutan yang berwarna cokelat. Menurut Huda (2010), karbon bersifat inert (tidak bereaksi) terhadap larutan NaOH. Dengan demikian, penyebab warna cokelat bukan karbon yang ikut bereaksi dengan NaOH tetapi ada suatu senyawa yang teijebak dalam padatan karbon dan larut dalam NaOH.

Menurut Saleh (2010), penyebab warna coklat tersebut adalah asam humat (*humic acid*) yang terdapat di dalam batubara dan tersisa di dalam abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Karena batubaranya dibakar di dalam boiler bertekanan rendah dengan sistem pembakaran *fix bed*, maka asam humat masih tersisa di dalam abu yang dihasilkan dari boiler tersebut. Asam humat adalah senyawa berwarna cokelat yang dapat larut dalam basa kuat seperti NaOH (Ariyanto, tanpa tahun).

Penjernihan Filtrat

Warna cokelat pada filtrat disebabkan oleh adanya asam humat. Menurut Ariyanto (tanpa tahun), asam humat merupakan koloid yang bermuatan negatif. Oleh karena itu, PAC (polialuminium klorida) dapat digunakan sebagai pendestabil koloid asam humat sehingga muatan negatif dalam koloid dapat dinetral dengan muatan positif dari ion aluminium. Menurut Saleh (2010), konsentrasi larutan PAC yang digunakan untuk mengendapkan asam humat adalah 50% dan jumlah penambahannya adalah 30% dari volume filtrat yang akan dijernihkan. Dengan penambahan PAC tersebut, asam humat

dapat diendapkan dan filtrat berwarna coklat yang dihasilkan dari penelitian ini dapat menjadi jernih.

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan kadar silika sebesar 84,75% pada saat proses penjernihan dengan menggunakan PAC. Penurunan kadar silika ini disebabkan oleh penambahan PAC yang dapat menurunkan pH. Penurunan pH tersebut menyebabkan silika dalam filtrat mengendap dan terbuang bersama endapan asam humat.

Hasil analisis terhadap endapan asam humat yang dihasilkan dari proses penjernihan menunjukkan bahwa pada endapan tersebut mengandung silika sebesar 9,3%. Dengan demikian proses penjernihan dengan menggunakan larutan PAC tidak layak untuk dilakukan karena dapat menyebabkan penurunan kadar silika dalam filtrat hasil reaksi antara abu dengan larutan NaOH.

Penurunan Volume Larutan NaOH di Filtrat

Semua percobaan yang dilakukan menunjukkan adanya rata-rata penurunan volume sebanyak 24,52% pada saat larutan NaOH menjadi filtrat. Menurut Schure dkk. (1985), abu batubara merupakan partikel yang *porous*. Porositas dari abu menyebabkan cairan yang berada di sekitarnya berdifusi ke dalam dan terjebak di dalam padatan abu sehingga menyebabkan penurunan volume larutan NaOH ketika larutan tersebut menjadi filtrat.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada bab IV, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari semua rentang variasi yang dilakukan, kondisi operasi yang menghasilkan persen *recovery* silika tertinggi dari abu batubara boiler tekanan rendah pada tekanan atmosfer dan kecepatan pengadukan 800 rpm adalah:

- Konsentrasi larutan NaOH : 2 M
- Rasio mol NaOH/SiO₂ : 4
- Suhu reaksi : 100⁰C
- Waktu reaksi : 9 jam
- Ukuran partikel abu : -0,112+0,05 mm

2. Pada reaksi dengan rentang variasi ukuran diameter rata-rata partikel abu menghasilkan perbedaan persen *recovery* yang silika yang tidak signifikan.
3. Nilai persen *recovery* silika yang rendah (65,32%) dikarenakan adanya silika kristal yang memiliki reaktivitas yang rendah
4. Proses penjernihan filtrat dengan menggunakan larutan PAC tidak layak untuk dilakukan karena menyebabkan penurunan kadar silika sebesar 84,75%

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, Dwi Priyo. tanpa tahun. *Ikatan Asam antara Asam Organik Tanah dengan Logam* (on line). Surakarta: Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret.
- Budidaya Ternak Itik. 2009. <http://www.scribd.com/doc/18083Q44/BUDIDAYA-TERNAK-ITIK>.
- Dalimunthe, Indra Surya. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi* (on line). Medan: Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara.
- Harsono, Heru. 2002. *Pembuatan Silika Amorf dari Limbah Sekam Padi (Synthesis of Amorphous Silicon from Outer Shell of Rice Seeds)*. Malang: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya.
- Huda, Miftahul. 2010. Komunikasi Langsung. Bandung, 29 April 2010.
- Indonesian Coal Index. 2008. www.coalindoenergy.com. (21 Januari 2010).
- Kegunaan Silika Gel. 2008. <http://punkels.wordpress.com/2Q08/12/21/kegunaan-silica-gel/>. (12

- Agustus 2010).
- Kementrian Negara Lingkungan Hidup.
http://b3.menlh.go.id/3r/article.php?article_id=6. (27 Januari 2010).
- Maulida Hardi, Fikri dan Riyadi Ramadhan S. 2008. *Tugas Akhir Pembuatan Natrium Silikat Dari Abu Sekam Padi* (on line). (27 Januari 2010).
- MSDS *Bottom Ash* (on line). 2001. (27 Januari 2010).
- Nugteren, Henk W., dkk. 2001. *Determination of The Available Si and Al from Coal Fly Ashes Under Alkaline Condition with The Aim of The Synthesizing Zeolit Product* (on line). Kentucky: International Ash Utilization Symposium.
- Pembakaran Batubara. 2007. [http://firdaushanif.multiply.com/item/2/Pembakaran Batubara](http://firdaushanif.multiply.com/item/2/Pembakaran_Batubara). (19 Mei 2007).
- Peraturan Pemerintah no.85 tahun 1999 (on line). (27 Januari 2010).
- PT Visidata Riset Indonesia. 2009. *Masa Depan Bisnis Industri Pertambangan Batubara Di Indonesia*, www.visdatin.com/kp/kp_batubara_ind.htm (27 Januari 2010).
- Saleh, Nuryadi. 2010. Komunikasi Langsung. Bandung, 22 Maret 2010.
- Sarkar dkk. 2004. *Handbook for Identification of Alkali-Silica Reactivity in Airfield Pavement* (on line). U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration.
- Schure dkk. 1985. *Surface Area and Porosity of Coal Fly Ash*. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es00131a009>. (25 Juli 2010).
- Silica Gel. tanpa tahun. <http://www.chromatography-online.org/topics/silica/gel.html> (12 Agustus, 2010).
- Silicon Dioxide. 2010. [http://en.wikipedia.org/wiki/Silicon dioxide](http://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_dioxide). (25 Januari 2010).
- Sodium Silicate. 2010. [http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium silicate](http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_silicate). (12 Juni 2010).
- Sodium Silicate (online) (tanpa tahun)
- <http://chemicaland21.com/industri/2006/inorganic/sodium%20silicate.html> 12 Juni 2010).
- Soeswanto, Bambang. 2010. Komunikasi Langsung. Bandung, 12 Juli 2010.
- Speight, James G. 2002. *Chemical and Process Design Handbook* (on line). (27 Januari 2010).
- Sri Rahayu, Endang. 2010. Komunikasi Langsung. Bandung, 4 Agustus 2010.
- Suara Karya. 2006. www.ima-api.com/news.php?pid=968&act=detail. (27 Januari 2010).
- Takeuchi, Yoshito. *Padatan Kristalin dan Amorf*. 2008. [http://www.chem-in-try.org/materi kimia/kimia dasar/padatan-kristalin-omorf](http://www.chem-in-try.org/materi/kimia/kimia_dasar/padatan-kristalin-omorf) (10 Juli 2010).
- Tim Kajian Batubara Nasional Kelompok Kajian **Kebijakan Mineral dan Batubara**. 2006. *Batubara Indonesia* (on line). **Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara**. www.tekmira.esdm.go.id/dala/files/batubara%20Indonesia.pdf (27 Januari 2010).
- Vucinic, Dusicadkk. tanpa tahun. <http://www.doai.org/doai?func=abstract&id=112286>. (27 Januari 2010).

