

## PENGARUH VARIASI JENIS ABU BOILER DAN KOSENTRASI HCl TERHADAP SIFAT FISIS SILIKA GEL HASIL SINTESIS

### *EFFECT OF VARIATIONS BOILER ASH AND CONCENTRATION OF HCl TO THE PHYSICAL PROPERTIES OF SILICA GEL SYNTHESIZED*

Anerasari Meidinariasty<sup>1</sup>, Indah Purnamasari<sup>1</sup>, Mustain Zamhari<sup>1</sup>, Fadarina<sup>1</sup>,  
Jekasyah Permadi<sup>1\*</sup>, Nadia Zaky Fadillah<sup>1\*</sup>, Sakinah Luthfiah<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> (Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya)

Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139, Telp 0711- 353414 / Fax 0711-355918

\*e-mail : [jekachaidir01@gmail.com](mailto:jekachaidir01@gmail.com), [nadiazf28@gmail.com](mailto:nadiazf28@gmail.com), [sakinahluthfiah15@gmail.com](mailto:sakinahluthfiah15@gmail.com)

#### ABSTRACT

*Efforts to minimize environmental pollution caused by solid waste in the form of boiler ash are managed and reused into new materials that have economic value. Boiler ash has a high enough silica content which can be used as an alternative raw material for making adsorbents in the form of silica gel. This study aims to synthesize silica gel from variations of boiler ash and determine the effect of HCl concentration on its physical properties. The boiler ash used comes from PT Tanjungenim Lestari Pulp and Paper, PT Pupuk Sriwidjaja and PT Sriwijaya Palm Oil Indonesia. Silica gel synthesis was carried out by extracting boiler ash with 3 M NaOH solution for 1 hour, then the extraction results in the form of Sodium Silicate were precipitated using HCl with various concentrations of 1, 3 and 5 M. The physical properties of the synthesized silica gel were analyzed by analyzing the SiO<sub>2</sub> content, water content, and absorption capacity of water vapor. The effect of HCl concentration on the physical properties of the synthesized silica gel showed the highest yield value in SG PP, SG PS, and SG PO respectively amounted to 15.6176%, 21.6115% and 24.5215%. The highest SiO<sub>2</sub> content value in a row in SG PP, PS SG and SG PO amounted to 39.48%, 52.73% and 50.74%.*

*Keywords: Boiler Ash, HCl Concentration, Silica Gel*

#### 1. PENDAHULUAN

Implikasi dari kegiatan industri akan diikuti oleh penurunan kualitas lingkungan yang disebabkan oleh pencemaran dari limbah yang dihasilkan (Purwati, dkk., 2017). Limbah padat berupa abu hasil pembakaran (*boiler ash*) atau abu boiler selama ini hanya ditimbun. Pengelolaan limbah dengan metoda penimbunan (*landfill*) belum bisa menjadi penyelesaian masalah, karena membutuhkan areal penimbunan (*landfill*) yang luas dan dalam jangka waktu lama akan menimbulkan dampak yang serius pada lingkungan. Mengacu pada hal tersebut, perlu dilakukan upaya untuk meminimalisir pencemaran terhadap lingkungan dengan cara dikelola dan dimanfaatkan kembali menjadi material baru yang mempunyai nilai ekonomis (Suprpto, 2009).

Menurut penelitian Purwati, dkk (2017) berdasarkan hasil uji karakteristik abu hasil pembakaran (*boiler ash*) pada industri *pulp and paper* menunjukkan adanya kandungan unsur silika (SiO<sub>2</sub>) sebesar 55-70% yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali. Begitupula pada industri kelapa sawit, pada abu boiler industri kelapa sawit, silika merupakan komponen yang paling dominan jumlahnya

pada cangkang sebesar 61% lalu pada *fiber* kelapa sawit sebesar 59,1% (Jannah, 2015) dan pada industri yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar, penggunaan batubara sebagai salah satu sumber energi menghasilkan residu padat berupa abu dasar (*bottom ash*) dan abu terbang (*fly ash*). *Bottom ash* batubara mengandung unsur silika sebesar 64,30%. Dengan kandungan silika yang cukup tinggi pada macam-macam abu boiler tersebut, abu boiler memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai salah satu bahan baku alternatif pembuatan adsorben berupa silika gel.

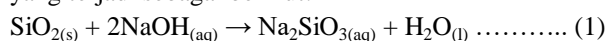
Silika gel merupakan produk penyerap kelembaban udara yang sangat cocok diaplikasikan untuk menjaga kualitas produk dalam kemasan tertutup. Silika gel bekerja efektif tanpa mengubah produk, bentuk zat dan apabila disentuh tetap kering walaupun sudah bereaksi menyerap kelembaban udara (Anjani, 2015). Silika gel dapat digunakan sebagai adsorben untuk senyawa-senyawa polar, desikan, pengisi pada kolom kromatografi dan sebagai isolator. Silika gel juga dapat digunakan untuk menyerap ion logam dengan prinsip pertukaran ion (Mujiyanti, dkk., 2010). Silika gel memiliki situs aktif berupa gugus siloksan (Si-O-Si) dan silanol (Si-OH) yang dapat mengadsorpsi kation dimana gugus tersebut

berperan sebagai ligan yang akan menyediakan elektron bebas yang digunakan untuk berikatan dengan kation.

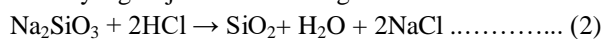
Menurut Yusuf (2014) pada penelitiannya menyatakan bahwa pembuatan silika gel dapat dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

- Pembentukan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dari reaksi  $\text{SiO}_2$  dengan  $\text{NaOH}$ .
- Reaksi pembentukan silika hidrosol dari reaksi antara  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dengan asam.
- Polimerisasi asam silikat membentuk silika hidrogel.
- Pemanasan silika hidrogel menjadi silika gel.

Dari reaksi silika dengan natrium hidroksida akan dihasilkan natrium silikat yang larut dalam air, reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Pengasaman terhadap larutan natrium silikat dengan asam klorida akan membentuk silika hidrosol yang apabila didiamkan akan membentuk hidrogel, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Pemanasan pada suhu  $110^\circ\text{C}$  mengakibatkan dehidrasi pada hidrogel dan terbentuklah silika gel ( $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) dengan kandungan air yang bervariasi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesis silika gel dari jenis abu boiler yang berbeda, yaitu abu boiler dari industri *pulp and paper*, abu boiler dari industri kelapa sawit dan abu boiler dari industri pupuk, dan pada penelitian ini akan dilihat bagaimana pengaruh penggunaan variasi konsentrasi HCl terhadap sifat fisis silika gel hasil sintesis yang optimum, sifat fisis silika gel yang diamati meliputi kadar  $\text{SiO}_2$ , kadar air, dan daya serap terhadap uap air.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan dan Alat

Bahan baku utama yang digunakan pada penelitian ini berupa abu boiler dari PT Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*, PT Pupuk Sriwidjaja Palembang dan PT Sriwijaya *Palm Oil* Indonesia. Adapun bahan baku penunjang adalah Asam Klorida (HCl) 37%, Natrium Hidroksida (NaOH) padatan, Asam Nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 65%, Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 98% dan Akuades.

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu seperangkat alat ekstraksi, *vacuum filter*, alat *sieving*, pemanas listrik (*heater*), *Oven*, *Furnace*, kertas pH, kertas saring *Whatman* no.40, 41 dan Alat-alat gelas merk *Pyrex*.

### 2.2 Sintesis Silika Gel

Sintesis Silika Gel diadopsi dari berbagai metode yang dikembangkan oleh Kristianingrum, dkk., (2011), Retnosari (2013), Melinda (2015), dan Andriana (2016).

Langkah awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah preparasi bahan baku, abu boiler diayak dengan alat *sieving* 200 mesh lalu abu boiler di oven pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 4 jam dengan tujuan untuk mengurangi kandungan air dalam bahan baku. Kemudian dilakukan ekstraksi silika dengan cara menimbang sebanyak 50 gr abu boiler dan memasukkannya kedalam labu leher 3 lalu menambahkan larutan NaOH 3 M sebanyak 250 mL, proses ekstraksi silika dilakukan pada temperatur  $80^\circ\text{C}$  selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan 300 rpm.

Setelah proses ekstraksi selesai, ekstrak yang didapat kemudian didinginkan dalam desikator hingga suhu kamar, ekstrak yang telah dingin kemudian disaring dengan kertas saring *Whatman* no. 40 untuk mendapatkan filtrat berupa Natrium Silikat. Selanjutnya larutan Natrium Silikat di presipitasi dengan larutan HCl dengan variasi konsentrasi 1, 3 dan 5 M. HCl ditambahkan per tetes sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* kecepatan 75-100 rpm sampai terbentuk endapan silika yakni apabila mencapai pH 7, lalu endapan gel yang terbentuk didiamkan selama 18 jam dan endapan gel disaring dengan penyaring vakum sehingga didapatkan endapan dan filtrat. Endapan dikeringkan di oven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 6 jam, sehingga didapatkan silika, silika yang didapat dihaluskan dengan cara digerus dan serbuk silika dipanaskan pada suhu  $700^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Selanjutnya silika gel yang telah didapat, dianalisa sifat fisisnya melalui analisa kadar  $\text{SiO}_2$  melalui metode Gravimetri SNI-7574-2010, analisa kadar air dengan metode SNI-03-1971-1990 dan analisa daya serap terhadap uap air dengan metode ASTM C20-00(2005).

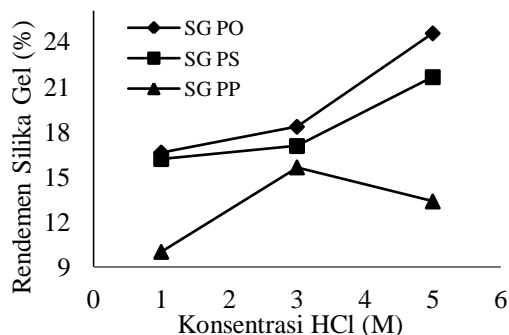
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan sintesis silika gel dengan variasi bahan baku dan konsentrasi HCl. Bahan baku yang digunakan yaitu abu boiler yang berasal dari PT Tanjungenim *Pulp and Paper* (Silika Gel SG PP), PT Pupuk Sriwidjaja Palembang (Silika Gel SG PS) dan PT Sriwijaya *Palm Oil* Indonesia (Silika Gel SG PO). Variasi konsentrasi HCl yang digunakan pada proses sintesis silika gel yaitu 1 M, 3 M dan 5 M. Pada penelitian ini abu boiler disintesis menjadi silika gel dengan cara ekstraksi, presipitasi. Silika gel hasil sintesis dianalisa kadar  $\text{SiO}_2$  dengan metode gravimetri,

kadar air dan pengaplikasian silika gel terhadap kelembaban udara.

### 3.1 Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Rendemen Silika Gel

Pada penelitian ini pengaruh konsentrasi HCl terhadap rendemen silika gel dengan variasi abu boiler dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Rendemen Silika Gel

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa pada silika gel SG PP bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl yang digunakan, maka rendemen silika gel yang dihasilkan akan semakin meningkat, namun apabila konsentrasi terlampaui tinggi maka akan mengakibatkan rendemen yang dihasilkan menurun, hal ini disebabkan oleh reaksi pembentukan gel yang sangat cepat pada konsentrasi asam yang tinggi sehingga pengadukan menjadi tidak optimal. Pengadukan yang tidak optimal menyebabkan gel yang terbentuk berukuran besar dengan bagian dalam masih berupa natrium silikat sehingga hanya didapatkan sedikit silika gel. Silika gel paling banyak dihasilkan pada konsentrasi HCl 3 M dengan rendemen sebesar 15,6176%.

Silika gel SG PS dan silika gel SG PO dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi HCl maka massa silika gel yang didapat juga semakin meningkat. Hal ini dikarenakan larutan HCl memiliki proton dari asam klorida yang mampu membentuk asam silikat pada saat proses presipitasi. Adapun reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

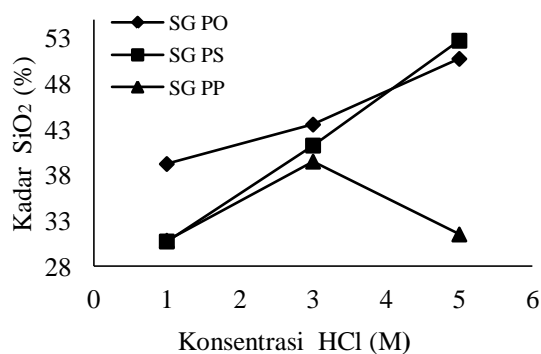


Pada proses tersebut terjadi reaksi antara natrium silikat dan asam klorida, semakin besar konsentrasi HCl maka larutan memiliki konsentrasi proton dari asam klorida yang semakin banyak (Yusuf, 2014), sehingga  $\text{SiO}_3^{2-}$  yang bereaksi dengan proton atau ion  $\text{H}^+$  akan menyebabkan asam silikat yang terbentuk juga semakin banyak. Rendemen silika gel yang paling tinggi dihasilkan pada konsentrasi HCl

5 M yaitu sebesar 21,6115 % pada Silika gel SG PS dan 24,5215 % pada Silika gel PO.

### 3.2 Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Kadar $\text{SiO}_2$ Silika Gel

Silika gel yang dihasilkan dari proses sintesis dianalisa menggunakan metode gravimetri SNI-7574-2010, metode ini dilakukan untuk mengetahui kadar silika yang terdapat pada silika gel. Pada penelitian ini metode gravimetri dilakukan dengan cara penguapan yaitu analit diuapkan, ditimbang dan bagian yang hilang ditentukan. Analisa gravimetri pada penelitian ini menggunakan tiga asam kuat yaitu HCl,  $\text{HNO}_3$ , dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Penambahan tiga asam kuat tersebut diharapkan dapat mengurangi kontaminasi endapan oleh zat-zat lain pada silika.



Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Kadar  $\text{SiO}_2$  Silika Gel

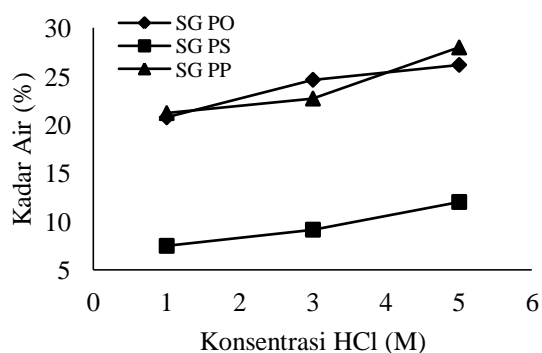
Berdasarkan Gambar 2, dapat diketahui bahwa variasi konsentrasi HCl berpengaruh dalam proses pembentukan silika, yang mana mempengaruhi kadar silika yang dihasilkan. Pada silika gel SG PP, diperoleh kadar silika tertinggi yaitu pada konsentrasi 3 M sebesar 39,48%. Hal ini disebabkan karena pembentukan gel silika pada konsentrasi 3 M membentuk gel yang cepat dan banyak, penambahan asam klorida menyebabkan anion silikat berubah menjadi silanol sehingga ketika silanol bereaksi dengan anion silikat kembali akan membentuk siloksan.

Pada silika gel SG PS dan silika gel SG PO, didapatkan kadar silika tertinggi yaitu pada konsentrasi HCl 5 M dengan kadar  $\text{SiO}_2$  sebesar 52,73% untuk silika gel SG PS dan 50,74% untuk silika gel SG PO. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin besar konsentrasi HCl maka semakin besar pula kandungan silika, hal ini dikarenakan ion  $\text{H}^+$  yang berikatan dengan  $\text{SiO}_3^{2-}$  juga semakin banyak, seperti yang terjadi pada reaksi (3). Selain itu, proses ekstraksi juga memberi pengaruh yang cukup besar terhadap kadar silika yang dihasilkan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Retnosari (2013) dengan memvariasikan konsentrasi dan lama waktu yang digunakan untuk ekstraksi terhadap kadar silika yang dihasilkan dapat diketahui bahwa perbedaan konsentrasi NaOH dan waktu ekstraksi sangat berpengaruh dalam pembentukan silika. Semakin besar konsentrasi NaOH yang digunakan maka kadar silika yang dihasilkan juga semakin banyak, begitupun dengan lama waktu ekstraksi. Waktu ekstraksi sangat berperan penting dalam menghasilkan kadar silika, karena kadar silika hasil ekstraksi akan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu yang digunakan pada saat proses ekstraksi. Hal ini dikarenakan kontak antara ekstrak dan zat terlarut juga semakin lama yang mengakibatkan silika yang terlarut dalam ekstrak juga semakin banyak.

### 3.3 Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Kadar Air Silika Gel

Penentuan kadar air pada silika gel dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang dilepaskan oleh silika gel selama pemanasan pada temperatur tertentu. Nilai kadar air yang diukur pada penelitian ini adalah air yang terikat secara fisik dengan temperatur yang digunakan yaitu 100°C. Hasil dari penentuan kadar air pada silika gel dapat dilihat pada Gambar 3.



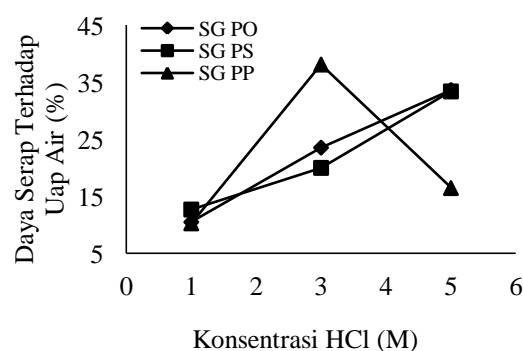
Gambar 3. Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Kadar Air Silika Gel

Berdasarkan Gambar 3, kadar air dipengaruhi oleh konsentrasi HCl, semakin tinggi konsentrasi HCl yang digunakan dalam sintesis silika gel maka kadar air silika gel akan meningkat. Banyaknya gugus silanol dan siloksan yang terdapat pada permukaan silika gel mempengaruhi banyaknya kadar air yang terkandung dalam silika gel (Yusuf, 2014). Hal ini dikarenakan semakin banyak konsentrasi asam yang digunakan maka semakin banyak jumlah proton yang terkandung dalam larutan sehingga

menyebabkan meningkatnya gugus silanol. Banyaknya gugus silanol (Si-OH) yang terdapat pada silika gel mengakibatkan kemampuan silika untuk mengikat molekul air yang terjadi melalui ikatan hidrogen semakin besar (Brinker dan Scherer, 2013). Rumus kimia silika gel juga dapat ditentukan melalui data kadar air dengan asumsi bahwa silika gel hanya terdiri dari unsur SiO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O saja.

### 3.4 Aplikasi Silika Gel terhadap Daya Serap Uap Air (Kelembaban Udara)

Silika gel yang dihasilkan diuji kemampuannya dalam menyerap kelembaban udara. Kemampuan adsorpsi kelembaban udara oleh silika gel disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Silika Gel terhadap Daya Serap terhadap Uap Air

Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat pada silika gel SG PP bahwa pada konsentrasi HCl 3 M yakni dengan Kadar SiO<sub>2</sub> yang paling tinggi, daya serap silika gel terhadap uap air berbanding lurus, yakni semakin tinggi kadar SiO<sub>2</sub> maka daya serap silika gel terhadap uap air akan semakin tinggi pula, hal ini disebabkan karena silika gel dengan kandungan silika yang lebih banyak akan mampu mengikat lebih banyak -OH dan O yang berasal dari uap air, hal inilah yang menyebabkan semakin besarnya daya penyerapan silika gel. Daya serap uap air bergantung pada banyaknya gugus silanol dan siloksan yang terdapat pada permukaan silika gel. Penyerapan silika gel dipengaruhi banyak faktor seperti kandungan silika, oksigen, dan unsur pengotor yang dapat mempengaruhi proses penyerapan silika gel.

Sedangkan pada silika gel SG PS dan silika gel SG PO, dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl yang digunakan dalam pembentukan silika gel, maka semakin baik dalam menyerap kelembaban udara. Hal ini sesuai dengan pendapat Yusuf, dkk. (2014) melalui penelitiannya, mereka mengatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl yang digunakan, maka semakin

banyak jumlah proton yang berada dalam larutan sehingga meningkatnya gugus silanol (Si-OH). Silika gel memiliki dua gugus yaitu yang pertama ada gugus siloksan yang berperan sebagai penghubung antara gugus silanol yang satu dengan yang lainnya dan yang kedua adalah gugus silanol yang berperan sangat penting pada saat proses adsorpsi. Penentuan kadar air yang terdapat pada silika gel dengan kemampuan daya serap silika gel berbanding lurus, sehingga menyebabkan meningkatnya gugus silanol yang terdapat dalam silika gel. Banyaknya gugus silanol (Si-OH) yang terdapat pada silika gel mengakibatkan kemampuan silika untuk mengikat molekul air yang terjadi melalui ikatan hidrogen juga semakin besar.

Dari hasil analisa diatas, dapat dilihat bahwa silika gel hasil sintesis dari bahan baku abu boiler

industri *pulp and paper* optimum pada konsentrasi HCl 3M, sedangkan silika gel hasil sintesis dari bahan baku abu boiler industri kelapa sawit dan abu boiler batubara optimum pada konsentrasi HCl 5M ditinjau dari sifat fisisnya.

### 3.5 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dapat dijadikan referensi untuk penelitian yang akan dilakukan. Dengan mengembangkan metode dan variasi yang dilakukan pada penelitian terdahulu seperti bahan baku, variabel penelitian dan pengaplikasian hasil penelitian. Adapun perbandingan hasil penelitian dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

Bahan Baku	Rendemen (%)	Kadar Silika (%)	Kadar Air (%)	Pengaplikasian	Daya Serap Uap Air (%)	Peneliti
Abu Bagasse	TD	TD	12,88	Adsorben Logam Cu(II)	TD	Kristianingrum, dkk., (2011)
Fly Ash Batubara	6,62	13	TD	TD	TD	Retnosari (2013)
Abu Cangkang dan <i>Fiber</i> Kelapa Sawit	TD	TD	TD	Penyerapan Uap Air	26,20	Melinda (2015)
Fly Ash Batubara	9,72	TD	TD	Adsorben Zat Warna Metilen Biru	TD	Andriana (2016)
Abu Boiler PP	15,62	39,48	22,7	Penyerapan Uap Air	38,14	Penelitian Sekarang
Abu Boiler PS	21,61	52,73	12,02	Penyerapan Uap Air	33,43	Penelitian Sekarang
Abu Boiler PO	24,52	50,74	26,18	Penyerapan Uap Air	33,68	Penelitian Sekarang

Berdasarkan Tabel 1. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Kristianingrum, dkk., (2011) silika gel yang dihasilkan dari bahan baku Abu Bagasse memiliki kadar air sebesar 12,88% dan silika gel diaplikasikan sebagai adsorben untuk logam Cu(II), sedangkan penelitian silika gel dari bahan baku Abu Cangkang dan *Fiber* Kelapa Sawit oleh Melinda (2015) memiliki nilai daya serap terhadap uap air sebesar 26,20% dengan pengaplikasian sebagai adsorben untuk penyerapan uap air, lalu pada penelitian Retnosari (2013) dan Andriana (2016) yang menggunakan bahan baku Fly Ash Batubara menghasilkan rendemen berturut-turut sebesar 6,62% dan 9,72% dengan pengaplikasian sebagai adsorben zat warna metilen biru. Pada penelitian yang dilakukan saat

ini yaitu sintesis silika gel dari Abu Boiler PP, PS, dan PO dihasilkan kadar silika berturut-turut sebesar 15,62%, 21,61% dan 24,52%, kadar air sebesar 39,48%, 52,73% dan 50,74% dan daya serap air sebesar 22,7%, 12,02%, 26,18%. Silika gel dari Abu Boiler PP, PS, dan PO diaplikasikan sebagai adsorben untuk penyerapan uap air. Dengan mengembangkan metode sintesis silika gel dari penelitian terdahulu, didapatkan hasil yang lebih baik daripada penelitian terdahulu. Hal tersebut dapat dilihat pada silika gel dari bahan baku Abu Boiler PP, Abu Boiler PS dan Abu Boiler PO didapatkan hasil rendemen silika gel, kadar silika, kadar air, dan daya serap silika gel terhadap uap air yang lebih baik daripada penelitian terdahulu.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Variasi bahan baku abu boiler mempengaruhi kondisi optimum sintesis silika gel dengan variasi konsentrasi HCl 3 M untuk silika gel SG PP dan variasi konsentrasi HCl 5 M untuk silika gel SG PS dan silika gel SG PO.
2. Pengaruh konsentrasi HCl terhadap sifat fisis silika gel hasil sintesis menunjukkan nilai rendemen tertinggi berturut-turut pada SG PP, SG PS, dan SG PO adalah sebesar 15,6176%, 21,6115% dan 24,5215%. Nilai kadar SiO<sub>2</sub> tertinggi berturut-turut pada SG PP, SG PS, dan SG PO adalah sebesar 39,48%, 52,73% dan 50,74%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Andriana, N. (2016). *Pemanfaatan Silika Gel Berbasis Abu Terbang (Fly Ash) Batubara PLTU Paiton-Probolinggo sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru*. Skripsi. Fakultas MIPA. Kimia. Universitas Jember : Jember.
- Anjani, D. (2015). *Pembuatan Silika Gel Menggunakan Abu Kerak Boiler PT. Sriwijaya Palm Oil Indonesia Terhadap Pengaruh Konsentrasi Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Sebagai Pelarut*. Tugas Akhir. Teknik Kimia. Politeknik Negeri Sriwijaya : Palembang.
- ASTM Standards. (2005). *Standard Test Methods for Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water*. ASTM International, West Conshohocken, PA. [http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C20-00\(2005\)](http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C20-00(2005)) (Diakses pada 25 April 2020)
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI-03-1971-1990. *Metode Pengujian Kadar Air Agrerat*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. <http://www.ocw.upj.ac.id/files/Textbook-CIV-203-SNI-03-1971-1990-Kadar-Air.pdf> (Diakses pada 20 April 2020)
- Badan Standardisasi Nasional. (2010). SNI 7574-2010. *Penentuan Kadar CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O, dan LOI dalam contoh batu gamping, kalsit, dolomit dan marmer*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. <https://perpustakaan.bsn.go.id/repository/01d02119584f63eb83825b84ca53ebe1.pdf> (Diakses pada 20 April 2020)
- Brinker, C.J., dan Scherer, G.W. (2013). *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. San Diego: Academic Press.
- Jannah, M. (2015). *Pembuatan Silika Gel Dari Abu Cangkang Kelapa Sawit dan Fiber Kelapa Sawit PT. SPOI Dengan Pengaruh Temperatur Ekstraksi*. Tugas Akhir. Teknik Kimia. Politeknik Negeri Sriwijaya : Palembang.
- Kristianingrum, S., Siswani, E. D., dan Fillaeli, A. (2011). *Pengaruh Jenis Asam Pada Sintesis Silika Gel dari Abu Bagasse dan Uji Sifat Adsorptifnya Terhadap Ion Logam Tembaga (II)*. *Jurnal Kimia*, 2(1), 281–292.
- Melinda, U. (2015). *Pembuatan Silika Gel dari Campuran Abu Cangkang Kelapa Sawit dan Serabut Kelapa Sawit dengan Pengaruh Komposisi Bahan Baku*. Tugas Akhir. Teknik Kimia. Politeknik Negeri Sriwijaya : Palembang.
- Mujiyanti, D. R., Nuryono, dan Kunarti, E. S. (2010). *Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi yang Diimmobilisasi dengan 3-(Trimetoksisilil)-1-Propantiol*. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, 4(2), 150–167.
- Purwati, S., Soetopo, R. S., dan Setiawan, Y. (2017). *Potensi dan Alternatif Pemanfaatan Limbah Padat Industri Pulp dan Kertas*. *Jurnal Selulosa*, 41(2), 67–80.
- Retnosari, A. (2013). *Ekstraksi dan Penentuan Kadar Silika (SiO<sub>2</sub>) Hasil Ekstraksi dari Abu Terbang (Fly Ash) Batubara*. Skripsi. Fakultas MIPA. Kimia. Universitas Jember : Jember.
- Suprpto, S. (2009). *Penanganan limbah pembakaran batubara pada pabrik tekstil*. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 5(14), 19-31.
- Yusuf, M. (2014). *Studi Karakteristik Silika Gel Hasil Sintesis dari Abu Ampas Tebu dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida*. <http://digilib.uinsgd.ac.id/id/eprint/4292> (Diakses pada 23 Maret 2020)