



Pengaruh Konsentrasi Pelarut NaOH dan Waktu Aging pada Pembuatan Silika Gel dari *Fly Ash* Batu Bara

The Effect of NaOH Solvent Concentration and Aging Time on the Synthesis of Silica Gel from Coal Fly Ash

Fatimah*, Muhammad Turmuzi, Zanni Latifah Syam, Trisna Putri Yunita

Departemen Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater Kampus USU, Medan, 20155, Indonesia

*Email: fatimah@usu.ac.id

Article history:

Diterima : 4 Agustus 2023
Direvisi : 19 Agustus 2023
Disetujui : 7 September 2023
Mulai online : 28 September 2023

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Fatimah, Muhammad Turmuzi, Zanni Latifah Syam, Trisna Putri Yunita. (2023). Pengaruh Konsentrasi Pelarut NaOH dan Waktu Aging pada Pembuatan Silika Gel dari *Fly Ash* Batu Bara. Jurnal Teknik Kimia USU, 12(2), 124-131.

ABSTRAK

Fly ash berpotensi dijadikan sebagai bahan baku pembuatan silika gel. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi *fly ash* dan silika gel, mengetahui pengaruh konsentrasi NaOH dan waktu *aging* pada pembuatan silika gel, dan mengetahui daya jerap silika gel. Pada penelitian ini, pembuatan silika gel diawali dari pencucian *fly ash* dengan HCl. Selanjutnya, NaOH ditambahkan dengan variasi konsentrasi 1,5 N, 2,5 N, 3,5 N, dan 4,5 N. Na₂SiO₃ yang terbentuk ditambahkan H₂SO₄ 3 N dengan variasi waktu *aging* 12 jam, 15 jam, dan 18 jam. *Yield* silika gel tertinggi sebesar 49,61% diperoleh pada konsentrasi NaOH 4,5 N dan waktu *aging* 15 jam. Daya serap tertinggi silika gel terhadap uap air sebesar 883,00 mg/g pada konsentrasi NaOH 3,5 N dengan waktu *aging* 15 jam. Hasil karakterisasi SEM-EDX menunjukkan morfologi dan ukuran *fly ash* dan silika gel sangat beragam. Kandungan SiO₂ pada *fly ash* sebesar 41,64% serta pada silika gel sebesar 41,42%. Hasil karakterisasi FTIR *fly ash* dan silika gel mengandung gugus fungsi Si-O, Si-O-Si, dan Si-OH yang merupakan sisi aktif silika gel.

Kata kunci: *fly ash*, silika gel, silanol, siloksan, waktu *aging*

ABSTRACT

Fly ash has the potential to be used as a raw material in the production of silica gel. This study aims to characterize fly ash and silica gel, determine the effect of NaOH concentration and aging time on the manufacture of silica gel, and determine the trapping power of silica gel. In this research, the production of silica gel begins with the washing of fly ash using HCl. Next, NaOH is added with varying concentrations of 1.5 N, 2.5 N, 3.5 N, and 4.5 N. The formed Na₂SiO₃ is then mixed with H₂SO₄ of 3 N concentration, with aging times of 12 hours, 15 hours, and 18 hours. The highest yield of silica gel is 49.61% at a NaOH concentration of 4.5 N and an aging time of 15 hours. The highest water vapor adsorption capacity of the silica gel is 883.00 mg/g at a NaOH concentration of 3.5 N and an aging time of 15 hours. SEM-EDX characterization results indicate a diverse morphology and size for both fly ash and silica gel. The SiO₂ content in fly ash is 41.64%, while in silica gel, it is 41.42%. FTIR characterization of fly ash and silica gel reveals the presence of functional groups such as silanol (Si-O), siloxane (Si-O-Si), and hydroxyl (Si-OH) which are active sites in silica gel.

Keyword: *fly ash*, silica gel, silanol, siloxane, aging time



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International. <https://doi.org/10.32734/jtk.v12i2.13314>

1. Pendahuluan

Kandungan oksida silika yang tinggi pada *fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan silika gel. Partikel *fly ash* pada umumnya berbentuk bulat dan memiliki ukuran mulai dari 2 μm hingga 10 μm . *Fly ash* mengandung beberapa senyawa kimia, seperti silikon dioksida (SiO_2) sebesar 64,97%, aluminium oksida (Al_2O_3) sebesar 26,64%, besi (III) oksida (Fe_2O_3) sebesar 5,69%, kalsium oksida (CaO) sebesar 0,33%, dan magnesium oksida (MgO) sebesar 0,85% [1]. Berdasarkan karakteristik tersebut, *fly ash* memiliki komposisi SiO_2 yang tinggi, sehingga *fly ash* berpotensi sebagai bahan baku pada pembuatan silika gel.

Beberapa penelitian tentang pembuatan silika gel dari *fly ash* dengan metode ekstraksi telah dilakukan. Aman dkk (2016) meneliti pengaruh pH pada pembuatan silika gel dengan menggunakan natrium hidroksida (NaOH) 0,02 g/g dan asam sulfat (H_2SO_4) 10%. Hasil terbaik pada pH 9 dengan kandungan silika yang diperoleh sebesar 82% [2]. Sulistyoko dkk (2017) mendapatkan hasil analisis *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), dan *X-Ray Diffraction* (XRD) silika gel yang dibuat dari *fly ash* batu bara berbentuk amorf. Silika gel yang diperoleh memiliki gugus siloksan (Si-O-Si) dan silanol (Si-OH) dan luas ukuran partikel sebesar 25,977 m^2/g [3]. Penelitian yang dilakukan oleh Regna dkk (2023) mengenai ekstraksi silika dari *fly ash* pabrik kelapa sawit dengan variasi pelarut karbonat memperoleh silika sebesar 19,189% serta penggunaan pelarut karbonat dan asam klorida (HCl) 3 M pada pH 3,51 yang memperoleh silika sebesar 68,17 ppm [4].

Silika gel merupakan padatan anorganik yang memiliki sisi aktif gugus fungsi Si-O-Si dan gugus fungsi Si-OH [5]. Keberadaan gugus fungsi tersebut menjadikan silika gel berpotensi dijadikan sebagai adsorben [6]. Kemampuan jerap adsorben silika gel dipengaruhi oleh gugus Si-OH dan gugus Si-O-Si [7]. Pada umumnya, silika gel digunakan sebagai desikan pada produk makanan dan non-makanan. Silika gel bersifat *inert*, tidak beracun, tidak mudah terbakar, tidak menimbulkan reaksi kimia ketika menyerap uap air, dan dapat digunakan berulang kali, sehingga lebih menguntungkan secara ekonomi [8]. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi *fly ash* dan silika gel yang terbentuk, mengetahui pengaruh konsentrasi NaOH dan waktu *aging* pada pembuatan silika gel, dan mengetahui daya jerap silika gel yang terbentuk.

2. Metode

Bahan dan Peralatan

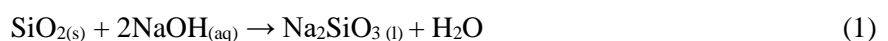
Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* batu bara yang diperoleh dari PT. SOCI MAS, Medan, Sumatera Utara, Indonesia pada Maret 2021. Penelitian berlangsung mulai bulan Maret 2021 hingga September 2021 di Laboratorium Kimia Organik, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara. Bahan kimia yang digunakan diperoleh dari PT Merck berupa natrium hidroksida (NaOH), asam sulfat (H_2SO_4) 96%, asam klorida (HCl) 37%, dan *aquadest* (H_2O). Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah neraca analitik, ayakan 180/200 mesh, kertas saring Whatman No. 41, *beaker glass*, *hot plate*, *magnetic stirrer*, mortar dan *pestle*, desikator, *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX, JEOL JSM-6510LA), dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR, Perkin-Elmer UATR *Spectrum Two*).

Proses Preparasi Bahan Baku

Fly ash sebanyak 50 g diayak dengan ukuran 180/200 mesh lalu direndam dengan asam klorida (HCl) 1 N selama 24 jam untuk melarutkan impuritas yang terkandung dalam *fly ash*. Setelah itu, campuran disaring dengan kertas saring Whatman No. 41, kemudian residu dicuci dengan *aquadest* bersuhu 100 °C hingga pH residu menjadi sekitar 6,5-7,0. Residu kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 120 °C hingga massanya konstan.

Pembuatan Natrium Silikat (Na_2SiO_3) dari *Fly Ash*

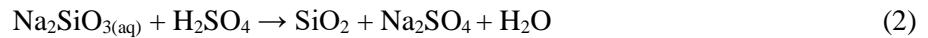
Fly ash yang telah dikeringkan ditambahkan 500 ml natrium hidroksida (NaOH) dengan variasi penambahan berturut-turut 1,5 N, 2,5 N, 3,5 N, dan 4,5 N dalam *beaker glass* serta diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sambil dipanaskan pada suhu 105 °C di atas *hot plate* dengan kecepatan pengadukan sebesar 500 rpm selama 150 menit. Natrium silikat (Na_2SiO_3) akan terbentuk mengikuti reaksi pada persamaan 1 [9]:



Filtrat Na_2SiO_3 yang terbentuk kemudian dipisahkan dari partikel sisa kandungan *fly ash* yang tidak bereaksi menggunakan kertas saring whatman no.41. Filtrat berupa Na_2SiO_3 tersebut digunakan sebagai bahan baku pembuatan silika gel.

Pembuatan Silika Gel

Filtrat natrium silikat (Na_2SiO_3) ditetesi dengan asam sulfat (H_2SO_4) 3 N sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* hingga terbentuk gel berwarna putih dengan pH 7,5-8,0. Pembentukan silika gel mengikuti reaksi pada persamaan 2 [9]. Gel yang telah terbentuk didiamkan (*aging*) pada suhu kamar dengan variasi waktu 12 jam, 15 jam, dan 18 jam, kemudian gel disaring dan dibilas dengan *aquadest* bersuhu 100°C hingga pH 7,0-7,5. Selanjutnya, silika gel yang terbentuk dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C hingga massanya konstan. Silika gel yang telah kering kemudian dihaluskan menggunakan mortar dan *pestle* sebelum dilakukan pengujian daya jerap dan karakterisasi.



Pengujian Fly Ash dan Silika Gel

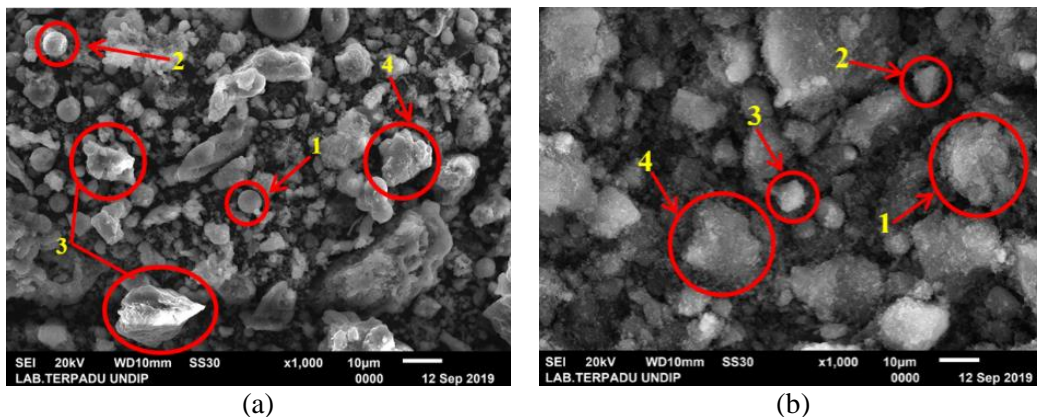
Uji karakteristik terhadap *fly ash* dan silika gel dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dengan perbesaran hingga 3.000 kali untuk mengetahui morfologi dan komposisi pada *fly ash* dan silika, *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) pada gelombang 500 cm^{-1} - 4000 cm^{-1} untuk mengetahui gugus fungsi *fly ash* dan silika gel, dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal silika gel pada rentang sudut 2θ antara 10° sampai 90° . Silika gel yang terbentuk diukur daya jerapnya sesuai standar SNI 06-2477-1991 terhadap air [10] dengan cara menempatkan silika gel sebanyak 2 g ke dalam desikator yang berisi air pada bagian bawah piringan. Silika gel dibiarkan selama 24 jam, kemudian dikeluarkan dan ditimbang massanya. Daya jerap silika gel ditentukan dengan persamaan 3 [8]:

$$\text{Daya Jerap Uap Air (mg/g)} = \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{adsorben}}} \quad (3)$$

3. Hasil

Karakterisasi Menggunakan SEM-EDX

Karakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan untuk mengetahui morfologi dan komposisi pada *fly ash* dan silika gel. Hasil karakterisasi menggunakan SEM memperlihatkan bahwa morfologi *fly ash* dan silika gel sangat beragam dengan ukuran yang bervariasi masing-masing dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil karakterisasi SEM dengan perbesaran 1.000 kali pada (a) *fly ash* (b) silika gel

Hasil SEM pada gambar 1(a) menunjukkan morfologi *fly ash* sebagai berikut, (1) bentuk partikel *magnettie* berukuran $5\ \mu\text{m}$ - $15\ \mu\text{m}$, berbentuk bulat seperti bola dengan permukaan yang halus. (2) bentuk partikel *hemattie* berukuran $5\ \mu\text{m}$ - $10\ \mu\text{m}$, berbentuk bulat seperti bola dengan permukaan yang kasar dan seperti berongga. (3) bentuk *quartz* dengan sisi yang tajam memiliki ukuran sebesar $20\ \mu\text{m}$ - $250\ \mu\text{m}$, dan (4) bentuk karbon yang morfologinya tidak teratur memiliki ukuran sebesar $22\ \mu\text{m}$ - $150\ \mu\text{m}$, terbentuk akibat proses agresasi partikel-partikel kecil lainnya.

Hasil SEM pada gambar 1(b) menunjukkan morfologi silika gel berbentuk (1) amorf, (2) *quartz*, (3) tridimit, dan (4) kristobalit yang ukurannya berbeda satu dengan yang lainnya dan memiliki permukaan yang kasar. Permukaan silika gel yang kasar dan tidak rata ini disebabkan oleh adanya lapisan gugus hidroksil (Si-OH) yang merupakan sisi aktif silika gel yang menutupi permukaan silika gel [10-12].

Pada Tabel 1 dapat dilihat hasil dari analisis EDX yang menunjukkan silikon dioksida (SiO_2) sebagai elemen dominan dalam *fly ash* dan silika gel. SiO_2 merupakan unsur utama yang terkandung dalam silika gel.

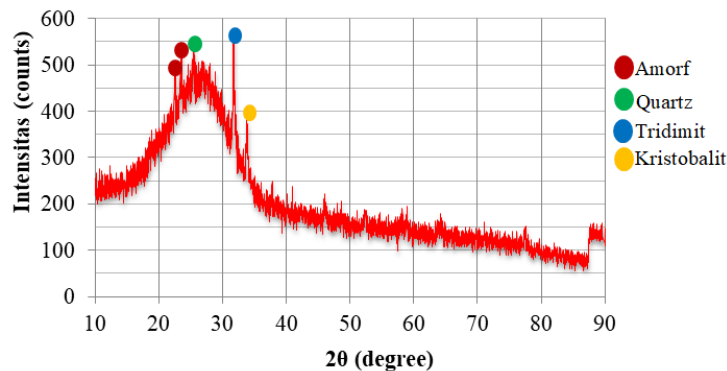
Persentase SiO_2 yang terkandung pada silika gel masih mungkin ditingkatkan dengan meminimalkan zat-zat pengotor yang terikat bersama silika gel. Salah satu zat pengotor yang mempengaruhi kemurnian silika gel yang diperoleh pada penelitian ini berupa natrium sulfat (Na_2SO_4) yang merupakan produk samping dari reaksi pembentukan SiO_2 . Na_2SO_4 merupakan garam dengan valensi 2 yang tingkat kelarutannya meningkat pada temperatur 32,38 °C dan tingkat kelarutannya dapat menurun seiring meningkatnya temperatur [14]. Pada saat proses pencucian silika gel yang diperoleh, *aquadest* dengan temperatur 100 °C yang digunakan menyebabkan berkurangnya kelarutan Na_2SO_4 , sehingga masih terdapat kandungan Na_2SO_4 dalam bentuk natrium oksida (Na_2O) dan sulfur trioksida (SO_3) pada silika gel yang diperoleh.

Tabel 1. Hasil karakterisasi EDX *fly ash* dan silika gel

Komponen	% Massa	
	<i>Fly ash</i>	Silika Gel
Karbon (C)	19,71	26,55
Natrium Oksida (Na_2O)	2,01	12,29
Magnesium Oksida (MgO)	2,04	-
Aluminium Oksida (Al_2O_3)	21,05	15,93
Silikon Dioksida (SiO_2)	41,64	41,42
Fosfor Pentaoksida (P_2O_5)	0,57	-
Kalium Oksida (K_2O)	0,33	-
Kalsium Oksida (CaO)	1,84	-
Titanium Oksida (TiO_2)	1,72	-
Besi (II) Oksida (FeO)	6,15	-
Tembaga (II) Oksida (CuO)	1,54	1,18
Zink Oksida (ZnO)	1,39	-
Sulfur Trioksida (SO_3)	-	2,62

Karakterisasi Silika Gel Menggunakan XRD

Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengetahui struktur kristal silika gel dengan menggunakan rentang sudut 2θ antara 10° sampai 90°. Hasil karakterisasi XRD pada silika gel dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil karakterisasi XRD pada silika gel

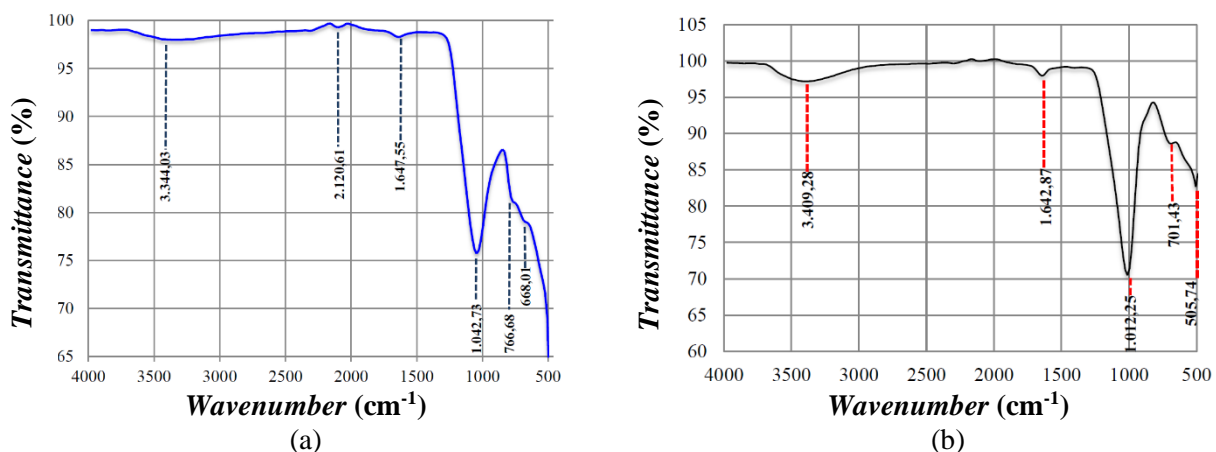
Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa silika gel memiliki empat fasa, yaitu fasa amorf yang berada pada $2\theta < 26^\circ$, fasa kristalinit yang terdiri dari fasa *quartz* yang terbentuk pada $2\theta = 26^\circ$, fasa *tridimit* yang terbentuk pada $2\theta = 31^\circ$, dan fasa *kristobalit* yang terbentuk pada $2\theta = 33^\circ$ [15]. Hasil karakterisasi SEM juga menunjukkan bahwa silika gel yang diperoleh memiliki fasa amorf, *quartz*, *tridimit*, dan *kristobalit*.

Karakterisasi Menggunakan FTIR

Identifikasi gugus-gugus fungsi yang terdapat dalam *fly ash* dan silika gel dilakukan menggunakan alat FTIR pada bilangan panjang gelombang 500 cm^{-1} - 4000 cm^{-1} . Spektra FTIR dari gugus fungsi yang terdapat pada *fly ash* dan silika gel dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 bagian (a), grafik *fly ash* menunjukkan adanya gugus fungsi silanol (Si-O) yang merupakan vibrasi ulur dari gugus fungsi siloksan (Si-O-Si) pada pita serapan dengan bilangan gelombang 766,68 cm^{-1} dan 668,01 cm^{-1} . Pita serapan dengan bilangan gelombang 1.042,73 cm^{-1} menunjukkan vibrasi rentangan asimetris Si-O-Si yang memiliki intensitas yang tinggi [16]. Pita serapan 1.647,55 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus fungsi hidroksil (-OH) yang merupakan vibrasi ulur dari gugus fungsi air (H-O-H). Keberadaan gugus fungsi -OH yang merupakan vibrasi ulur dari gugus fungsi Si-OH pada pita serapan dengan bilangan gelombang 2.120,61 cm^{-1} dan 3.344,03 cm^{-1} . Dari hasil karakterisasi *fly ash* dengan menggunakan FTIR, dapat disimpulkan bahwa *fly ash* berpotensi sebagai bahan baku pembuatan silika gel yang dapat dilihat pada gugus fungsi Si-O-Si, dan gugus fungsi Si-O yang merupakan vibrasi ulur dari gugus fungsi Si-O-Si.

Spektra silika gel pada Gambar 3 bagian (b) menunjukkan adanya vibrasi ulur dan vibrasi tekuk gugus fungsi Si-O dari gugus fungsi Si-O-Si pada pita serapan 701,43 cm^{-1} dan 505,74 cm^{-1} . Keberadaan ikatan terkuat dari gugus fungsi Si-O-Si ditunjukkan dengan pita serapan pada bilangan gelombang 1.012,25 cm^{-1} . Vibrasi ulur puncak serapan pada bilangan gelombang 1.642,87 cm^{-1} menunjukkan keberadaan vibrasi tekuk gugus fungsi -OH dari gugus fungsi Si-OH. Puncak serapan dengan bilangan gelombang 3.409,28 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur gugus fungsi -OH dari gugus fungsi Si-OH yang dihasilkan dari molekul H₂O yang terjerap pada permukaan silika gel [16].



Gambar 3. Hasil karakterisasi FTIR (a) *fly ash* dan (b) silika gel

Pada silika gel dapat dilihat bahwa terdapat sisi aktif yang berupa gugus fungsi Si-O-Si dengan puncak serapan yang lebih kuat dan gugus fungsi Si-O. Puncak serapan yang lebih tinggi menunjukkan bahwa gugus fungsi Si-O-Si memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan zat lainnya. Kemampuan adsorpsi silika gel dipengaruhi oleh gugus aktif, yaitu gugus Si-O dan gugus Si-O-Si pada permukaannya yang reaktif.

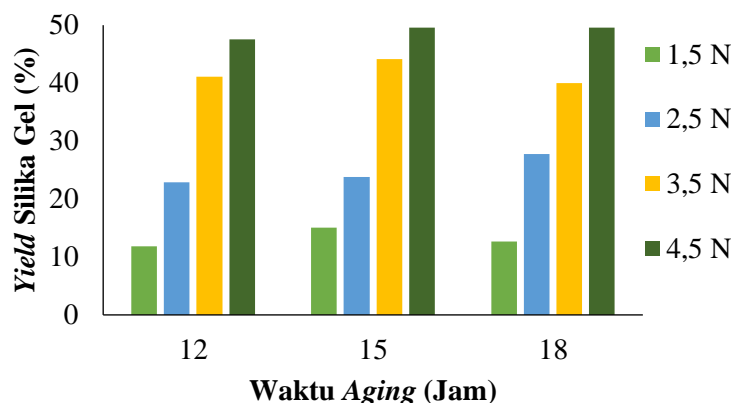
Yield Silika Gel dari Fly Ash Batubara

Pengaruh konsentrasi pelarut natrium hidroksida (NaOH) terhadap *yield* silika gel ditunjukkan pada gambar 4. *Yield* silika gel yang diperoleh mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya konsentrasi NaOH. Pada penelitian ini diperoleh *yield* silika gel terendah berada pada konsentrasi NaOH 1,5 N dengan waktu *aging* 12 jam sebesar 11,85% dan *yield* silika gel tertinggi berada pada konsentrasi NaOH 4,5 N dengan waktu *aging* 15 jam sebesar 49,61%.

Persentase standar silika gel komersial adalah sebesar 95% [18]. Hasil yang diperoleh masih jauh dari standar silika gel komersial. Salah satu faktor yang mempengaruhi kemurnian silika gel yang diperoleh adalah adanya kopresipitasi yang terjadi sewaktu endapan terbentuk dari partikel-partikel primernya. Partikel primer ini akan mengalami adsorpsi permukaan sampai tingkat tertentu, dan sewaktu partikel-partikel ini saling bergabung, zat pengotor akan terperangkap sebagian pada proses terbentuknya kristal-kristal tunggal yang besar dan prosesnya berlangsung lambat [19].

Beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas perolehan sintesis silika gel adalah waktu kontak, suhu, ukuran partikel, jenis pelarut, rasio pelarut/padatan, dan konsentrasi pelarut [19-21]. Konsentrasi pelarut yang berupa NaOH dapat mempengaruhi ekstraksi *fly ash* menjadi larutan natrium silikat (Na₂SiO₃). Semakin tinggi konsentrasi NaOH, maka semakin banyak Na₂SiO₃ yang terbentuk dan akan semakin banyak silika gel yang diperoleh [23, 24]. Waktu *aging* adalah salah satu faktor yang mempengaruhi proses pembentukan silika gel. Proses *aging* merupakan proses terbentuknya gel hasil titrasi dari proses ekstraksi. Pada proses ini, ikatan kimia

antarpartikel dapat terjadi meskipun telah selesai proses pembentukan gel pada saat titrasi dengan asam sulfat (H_2SO_4). Proses *aging* dapat mempengaruhi banyaknya silika gel yang terbentuk. Semakin lama waktu *aging*, maka akan semakin banyak silika gel yang terbentuk [25]. Kelebihan asam sulfat yang ditambahkan pada pembentukan silika gel dapat menurunkan *yield* silika gel karena bereaksi kembali dengan silika gel yang terbentuk.



Gambar 4. Pengaruh waktu *aging* terhadap *yield* silika gel pada berbagai konsentrasi pelarut NaOH

Uji Daya Jerap Uap Air Silika Gel

Uji daya jerap uap air bertujuan untuk mengetahui daya jerap silika gel terhadap uap air. Menurut persyaratan yang telah dikeluarkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-2477-1991, daya jerap silika gel minimum sebesar 750 mg/g [10]. Pada Tabel 2 dapat dilihat hubungan antara konsentrasi dan waktu *aging* terhadap daya jerap silika gel terhadap air. Berdasarkan hasil pengukuran daya jerap tertinggi silika gel terhadap uap air, daya jerap uap air yang diperoleh pada konsentrasi pelarut natrium hidroksida (NaOH) 3,5 N dan waktu *aging* selama 15 jam adalah sebesar 883,00 mg/g. Daya jerap uap air di atas nilai minimum SNI adalah dengan nilai sebesar 809,75 mg/g, 827,25 mg/g, 883,00 mg/g, 765,50 mg/g, dan 783,75 mg/g.

Tabel 2. Daya jerap uap air silika gel

Konsentrasi Pelarut NaOH (N)	Waktu <i>Aging</i> (jam)	Daya Jerap (mg/g)
1,5	12	587,30
	15	718,70
	18	693,75
2,5	12	809,75
	15	666,95
	18	827,25
3,5	12	742,35
	15	883,00
	18	765,50
4,5	12	727,95
	15	783,75
	18	600,35

Ukuran partikel yang lebih kecil memiliki luas kontak yang lebih besar, sehingga dapat meningkatkan daya jerap lebih banyak dibandingkan dengan ukuran partikel yang lebih besar [26]. Pada penelitian ini, silika gel yang diperoleh pada konsentrasi pelarut NaOH 4,5 N memiliki bentuk fisik yang sangat rapuh. Hal ini disebabkan konsentrasi pelarut sangat pekat, sehingga silika gel yang diperoleh mudah hancur dan menyebabkan berkurangnya daya jerap uap air pada silika gel. Semakin lama waktu *aging*, ikatan kimia antarpartikel yang terbentuk semakin banyak, sehingga kekuatan ikatan jaringan silika gel semakin kuat dan akan terjadi pengerutan permukaan yang dapat mengurangi luas permukaan silika gel [27].

4. Kesimpulan

Fly ash sisa pembakaran batu bara dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan silika gel. Berdasarkan hasil karakterisasi SEM-EDX, morfologi dan ukuran pada *fly ash* dan silika gel sangat beragam dan kandungan silikon dioksida (SiO_2) pada *fly ash* dan silika gel masing-masing sebesar 41,64% dan 41,42%. Hasil karakterisasi FTIR pada *fly ash* dan silika gel mengandung gugus fungsi silanol (Si-O), siloksan (Si-O-Si), dan hidroksil (Si-OH) yang merupakan sisi aktif silika gel. *Yield* silika gel tertinggi diperoleh pada konsentrasi pelarut natrium hidroksida (NaOH) 4,5 N dan waktu *aging* selama 15 jam sebesar 49,61% dan daya jerap uap air terbesar pada konsentrasi pelarut NaOH 3,5 N dengan waktu *aging* 15 jam sebesar 883,00 mg/g. Penelitian ini perlu dikembangkan untuk memperoleh *yield* yang lebih tinggi dengan cara memisahkan bahan baku *fly ash* dari impuritis yang terkandung dan meningkatkan pembentukan natrium silikat, serta dilanjutkan kepada tahap pengembangan bentuk silika gel dari bubuk menjadi kristal agar mempunyai bentuk yang lebih menarik. Silika gel yang diperoleh dapat digunakan untuk menyerap air untuk mencegah munculnya karat pada logam, mencegah pertumbuhan jamur, dan lain-lain.

5. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] D. Adak, M. Sarkar, and S. Mandal, "Effect of nano-silica on strength and durability of fly ash based geopolymer mortar," *Constr Build Mater*, vol. 70, pp. 453–459, 2014.
- [2] Aman, P. Setia Utama, and E. Saputra, "High purity silica from palm oil mill fly ash for catalyst zsm-5 zeolite synthesis," *Applied Science and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 267–272, 2016.
- [3] Y. A. Sulistiyo, N. Andriana, B. Piluharto, and Z. Zulfikar, "Silica gels from coal fly ash as methylene blue adsorbent: isotherm and kinetic studies," *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, vol. 12, no. 2, p. 263, 2017.
- [4] Regna Tri Jayanti, Jerry, and Miftahurrahmah, "Ekstraksi silika dari fly ash pabrik kelapa sawit menggunakan variasi pelarut karbonat," *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 12, no. 1, pp. 9–17, 2023.
- [5] H. Sharifnasab and M. Y. Alamooti, "Preparation of silica powder from rice husk," *Agricultural Engineering International*, vol. 19, no. 1, pp. 158–161, 2017.
- [6] D. O. Latif, A. Rifa'i, and K. B. Suryolelono, "Chemical characteristics of volcanic ash in Indonesia for soil stabilization: morphology and mineral content," *International Journal of GEOMATE*, vol. 11, no. 26, pp. 2606–2610, 2016.
- [7] A. Yehia, T. R. Boulos, M. B. Morsi, and S. S. Ibrahim, "High quality fused silica from egyptian silica sand concentrate recycling of shredded currency waste of egyptian central bank for making a good quality papers view project processing of an east mediterranean egyptian phosphate view project high quality fused silica from egyptian silica sand concentrate," *International Journal of Science and Engineering Investigations*, vol. 6, no. 62, 2017.
- [8] A. M. S. H. Amarakoon and N. Senevirathne, "Evaluation of the effectiveness of silica gel desiccant in improving the keeping quality of rice crackers," *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 6, no. 1, pp. 2163–2168, 2017.
- [9] A. Mourhly, M. Khachani, A. El Hamidi, M. Kacimi, M. Halim, and S. Arsalane, "The synthesis and characterization of low-cost mesoporous silica SiO_2 from local pumice rock," *Nanomaterials and Nanotechnology*, vol. 5, 2015.
- [10] SNI, "Standar Nasional Indonesia Metode pengujian kadar silika dalam air dengan alat spektrofotometer secara molibdat silikat Badan Standardisasi Nasional," Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 1991.
- [11] X. L. Zhang, G. J. Wu, T. D. Yao, C. L. Zhang, and Y. H. Yue, "Characterization of individual fly ash particles in surface snow at Urumqi Glacier No. 1, Eastern Tianshan," *Chinese Science Bulletin*, vol. 56, no. 32, pp. 3464–3473, 2011.
- [12] M. N. Akhtar, J. Akhtar, and N. Tarannum, "Physiochemical characterization and dematerialization of coal class F flyash residues from thermal power plant," *Civil Engineering Journal (Iran)*, vol. 5, no. 5, pp. 1041–1051, 2019.
- [13] B. Jha and D. N. Singh, "ChemInform abstract: a review on synthesis, characterization and industrial applications of flyash zeolites," *ChemInform*, vol. 43, no. 25, p. no-no, 2012.

- [14] P. Bharmoria, P. S. Gehlot, H. Gupta, and A. Kumar, “Temperature-dependent solubility transition of Na_2SO_4 in water and the effect of NaCl therein: solution structures and salt water dynamics,” *Journal of Physical Chemistry B*, vol. 118, no. 44, pp. 12734–12742, 2014.
- [15] A. Proctor, “X-ray diffraction and scanning electron microscope studies of processed rice hull silica,” *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, vol. 67, no. 9, pp. 576–584, 1990.
- [16] C. A. Morales-Paredes, I. Rodríguez-Linzán, M. D. Saquete, R. Luque, S. M. Osman, N. Boluda-Botella, and R. D. J. Manuel, “Silica-derived materials from agro-industrial waste biomass: characterization and comparative studies,” *Environ Res*, vol. 231, 2023.
- [17] C. El Abiad, S. Radi, M. E. Massaoudi, M. Lamsayah, F. Figueira, M. A. F. Faustino, M. G. P. M. S. Neves, and N. M. M. Moura, “Porphyrin-silica gel hybrids as effective and selective copper (II) adsorbents from industrial wastewater,” *J Environ Chem Eng*, vol. 11, no. 3, 2023.
- [18] P. S. Utama, R. Yamsaengsung, and C. Sangwichien, “Production and characterization of precipitated silica from palm oil mill fly ash using CO_2 impregnation and mechanical fragmentation,” *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 36, no. 1, pp. 523–530, 2019.
- [19] G. Svehla, *Vogel: Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*, 5th ed. Jakarta: Kalman Media Pustaka, 1985.
- [20] R. Chirinos, H. Rogez, D. Campos, R. Pedreschi, and Y. Larondelle, “Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers,” *Sep Purif Technol*, vol. 55, no. 2, pp. 217–225, 2007.
- [21] S. I. Mussatto, L. F. Ballesteros, S. Martins, and J. A. Teixeira, “Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds,” *Sep Purif Technol*, vol. 83, pp. 173–179, 2011.
- [22] N. G. T. Meneses, S. Martins, J. A. Teixeira, and S. I. Mussatto, “Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer’s spent grains,” *Sep Purif Technol*, vol. 108, pp. 152–158, 2013.
- [23] R. K. Iler, *The chemistry of silica: solubility, polymerization, colloid and surface properties and biochemistry of silica*. New York: John Wiley and Sons Ltd, 1979.
- [24] P. Setia Utama, R. Yamsaengsung, and C. Sangwichien, “Silica gel derived from palm oil mill fly ash,” *Songklanakarin J. Sci. Technol*, vol. 40, no. 1, pp. 121–126, 2018.
- [25] A. Ubaid, N. Hidayat, and Munasir, “Aging time effect on porous characteristics of natural mud-based silica prepared by hydrothermal-coprecipitation route,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, 2017, vol. 202, no. 1.
- [26] H. Susilo, A. Putra, and A. Astuti, “Pengaruh konsentrasi NaOH pada sintesis nanosilika dari sinter silika mata air panas sentral, Solok Selatan, Sumatera Barat dengan metode kopresipitasi,” *Jurnal Fisika Unand*, vol. 5, no. 4, pp. 334–338, 2016.
- [27] S. Iswar, W. J. Malfait, S. Balog, F. Winnefeld, M. Lattuada, and M. M. Koebel, “Effect of aging on silica aerogel properties,” *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 241, pp. 293–302, 2017.