



## Pengaruh Variasi Pelarut Pencucian Abu Terbang dan Konsentrasi HCl dalam Proses Gelasi terhadap Sintesis Silika Xerogel

Anisa Dwi Putri\*, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Edi Nasra, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Desy Kurniawati, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Annisa Haqqu, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Mila Lusy Tri Nandi, Universitas Negeri Padang, Indonesia

### ABSTRACT

Coal is used as a source of coal-fire power plant (CFPP) through combustion which produces fly ash waste. fly ash contains various chemical materials such as  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . The potential chemical content makes fly ash which can be used as an adsorbent for heavy metals and dyes by forming silica xerogel with sol-gel method. To increase the silica oxide content in fly ash, a washing process is carried out with various solvents. The results obtained after washing with  $\text{HNO}_3$  were 55.424%, while the  $\text{SiO}_2$  content in fly ash after washing with  $\text{NaOH}$  was only 45.551%. However, these two results are still below the  $\text{SiO}_2$  content in fly ash after washing with  $\text{HCl}$  in previous research, namely 56.777%. Neutralization of sodium silicate with 3M  $\text{HCl}$  produces a yield of 24%; 5M  $\text{HCl}$  produces a %yield of 68.4%; and 7M  $\text{HCl}$  concentration produces a %yield of 80.8%.

### ARTICLE HISTORY

Submitted 02/05/2025

Revised 13/06/2025

Accepted 20/06/2025

### KEYWORDS

Fly ash; silica xerogel;  $\text{NaOH}$ ;  $\text{HNO}_3$ ;  $\text{HCl}$

### CORRESPONDENCE AUTHOR

✉ [anisadwiputri100@gmail.com](mailto:anisadwiputri100@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.30743/cheds.v7i1.11124>

## 1. PENDAHULUAN

Abu terbang batu bara adalah komponen abu pada pembakaran batu bara yang sangat halus yang terbawa ke atas gas buangan dan dikumpulkan pada pengendap elektrostatis yang kuat sebelum dilepaskan ke atmosfer. Limbah abu terbang di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 9,7 juta ton menurut data Kementerian Energi dan Sumber daya mineral (Nurmahdani et al., 2022), dan untuk Tahun 2027 diprediksi limbah abu terbang dapat mencapai 16,2 juta ton (Abinawa & Gobel, 2024). Abu terbang ini dapat dikategorikan sebagai bahan berbahaya dan beracun (B3) karena mengandung logam berat seperti As, Ba, Hg, Cr, Ni, V, Pb, Zn and Se yang berbahaya untuk lingkungan (Pavithra et al., 2021). Dibalik sifat toksiknya, abu terbang juga mengandung beberapa senyawa anorganik, seperti  $\text{SiO}_2$  sebanyak 51.64%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebanyak 33.66%; dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebanyak 2.41%, yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan material yang fungsional (Imoisili & Jen, 2024). Sehingga, limbah abu terbang yang jumlahnya semakin bertambah dapat dikurangi dengan mengolahnya menjadi material yang lebih bermanfaat.

Senyawa Silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) merupakan komponen utama dari abu terbang yang dapat dimanfaatkan, salah satunya sebagai bahan dasar dalam sintesis silika xerogel. Silika xerogel merupakan salah satu adsorben untuk penyerapan ion logam maupun zat warna (Kundari et al., 2020). Pada umumnya, silika xerogel disintesis menggunakan tetraetilortosilikat (TEOS) dan tetrametoksisilane (TMOS) yang mahal dan bersifat toksik (Prihastuti, 2021). Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif lain seperti abu terbang untuk menjadi bahan baku pembuatan silika xerogel yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Adapun bahan-bahan lain yang telah berhasil dijadikan alternatif dalam pembuatan silika xerogel pada penelitian sebelumnya yaitu, abu kacang polong, abu daun bambu, sabut kelapa, rumput gajah, kulit jagung, lumpur vulkanik, lumpur geotermal, dan abu kulit durian (Putri et al., 2024). Hal ini menunjukkan bahwa limbah alam maupun limbah industri dapat dimanfaatkan sebagai prekursor yang potensial dalam pembentukan material silika xerogel (Kaya et al., 2020; Rizky et al., 2023).

Sintesis silika xerogel umumnya dilakukan menggunakan metode Sol-Gel, yaitu suatu teknik dalam sintesis senyawa anorganik dengan melibatkan reaksi kimia dalam media larutan pada suhu yang rendah. Suspensi sol pada dasarnya disintesis melalui hidrolisis prekursor metal alkoksida dengan air, yang menghasilkan partikel logam hidroksida dalam larutan (Megasari et al., 2019). Dalam prosesnya, kandungan silika dalam abu terbang akan diekstrak menjadi natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) menggunakan larutan basa, kemudian direaksikan menggunakan asam seperti  $\text{HCl}$  agar hidrogel dapat terbentuk. Tahapan awal yang sangat penting dalam proses ini adalah pencucian abu terbang dengan



pelarut asam ataupun basa untuk menghilangkan pengotor dan meningkatkan kadar  $\text{SiO}_2$ . Pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kadar  $\text{SiO}_2$  pada abu terbang setelah dicuci dengan pelarut HCl 3 M sebesar 56,777% (Cynthia & Nasra, 2024a). Evaluasi efektivitas dari pelarut pencucian abu terbang dilakukan menggunakan instrumen X-Ray Fluorescence (XRF) untuk menentukan komposisi unsur dalam sampel silika xerogel hasil sintesis (A'yuni et al., 2023).

Dari berbagai masalah yang terjadi akibat abu terbang tersebut, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian guna mengurangi dampak negatif dari abu terbang dengan memanfaatkannya menjadi suatu material yang lebih fungsional. Alasan lain dari dilakukannya penelitian ini karena potensi abu terbang yang sangat tinggi untuk digunakan sebagai prekursor dalam pembuatan silika xerogel belum banyak dimanfaatkan secara optimal, padahal limbah abu terbang ini tersedia dalam jumlah besar dan dapat digunakan sebagai salah satu solusi dalam menjaga lingkungan serta dapat bermanfaat juga pada sektor lainnya. Untuk memaksimalkan hasil dari sintesis silika xerogel dari abu terbang perlu dilakukan optimasi seperti, menentukan jenis pelarut terbaik yang dapat meningkatkan kadar  $\text{SiO}_2$  dalam abu terbang, dan menentukan pengaruh konsentrasi HCl terhadap jumlah silika xerogel yang dihasilkan melalui metode Sol-Gel. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya dapat berkontribusi pada pengurangan jumlah limbah abu terbang, tetapi juga sebagai tambahan pengetahuan dalam menjaga lingkungan serta menjadi rujukan untuk penelitian di masa yang akan datang.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua kategori, yaitu peralatan untuk proses sintesis dan peralatan untuk karakterisasi. Pada tahap sintesis, digunakan berbagai alat laboratorium, antara lain gelas kimia, labu ukur, gelas ukur, pipet, spatula, batang pengaduk, *magnetic stirrer* beserta *spin bar*, corong kaca, kertas saring, botol semprot, pH meter, saringan dengan ukuran 200 mesh, timbangan analitik (ABS 220-4), hot plate, oven, dan termometer. Sementara itu, karakterisasi material dilakukan menggunakan instrumen X-Ray Fluorescence (XRF) yang berasal dari Netherlands dan dilengkapi dengan perangkat lunak Epsilon 3 Ranalytical.

Untuk bahan yang dipakai dalam sintesis silika xerogel pada penelitian ini yaitu abu terbang yang didapatkan dari PT Semen Padang, larutan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ), asam klorida (HCl), kristal natrium hidroksida (NaOH), dan aquades.

### 2.2 Prosedur Kerja

#### 2.2.1 Preparasi Abu Terbang

Abu terbang sebanyak 20 g dimasukkan ke gelas kimia 250 mL dan dilakukan pencucian dengan 100 mL pelarut yang berbeda yaitu NaOH 3M dan  $\text{HNO}_3$  3M sambil diaduk secara kontinu selama 2 jam. Kemudian campuran disaring dan residunya dicuci dengan aquades hingga pH filtratnya netral untuk menghilangkan klorida yang tertinggal.

#### 2.2.2 Karakterisasi Abu Terbang Hasil Pencucian dengan XRF

Residu yang dihasilkan pada proses pencucian dimasukkan dalam oven pada suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Abu terbang yang telah kering dikarakterisasi dengan XRF yang bertujuan untuk mengetahui senyawa dan kadar kandungan yang terdapat pada abu terbang yang digunakan sebagai bahan baku dalam sintesis silika xerogel

#### 2.2.3 Sintesis Silika Xerogel

Sebanyak tiga gelas kimia disiapkan, masing-masing diisi dengan abu terbang sebanyak 2,5 gram yang telah ditimbang secara akurat. Abu terbang tersebut kemudian dilarutkan dalam 60 mL larutan NaOH berkonsentrasi 7 M, dan campuran diaduk secara kontinu pada suhu  $80^\circ\text{C}$  selama satu jam untuk menghasilkan larutan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Larutan hasil reaksi kemudian disaring guna memperoleh filtrat natrium silikat. Filtrat dari masing-masing gelas kimia selanjutnya dititrasi menggunakan larutan HCl menggunakan pipet tetes dengan variasi konsentrasi sebesar 3 M, 4 M, dan 5 M. Penambahan HCl dilakukan tetes demi tetes sambil diaduk dan dipantau pHnya menggunakan pH meter. Titik akhir titrasi adalah pada pH 7-8 yang menandakan telah terbentuknya hidrogel. Hidrogel yang terbentuk kemudian mengalami proses penuaan (aging) selama 18 jam dalam wadah tertutup pada suhu ruang untuk memperkuat struktur jaringan gel. Setelah proses aging selesai, hidrogel disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu  $70^\circ\text{C}$  selama 5 jam untuk memperoleh produk akhir berupa silika xerogel.

Kandungan silika xerogel dalam abu terbang batu bara dengan variasi konsentrasi HCl dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{massa silika xerogel}}{\text{massa abu terbang}} \times 100\% \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pencucian Abu Terbang

Proses pencucian abu terbang dilakukan menggunakan larutan NaOH 3M dan HNO<sub>3</sub> 3M, kemudian akan dibandingkan juga dengan data pencucian menggunakan HCl 3 M dari penelitian sebelumnya (Cynthia, 2024). Hal ini bertujuan untuk mengurangi kandungan oksida logam selain SiO<sub>2</sub> pada abu terbang, karena SiO<sub>2</sub> merupakan salah satu komponen utama abu terbang dan memiliki berbagai manfaat, salah satunya sebagai bahan baku pembuatan silika gel. Pencucian abu terbang menggunakan HNO<sub>3</sub> dilakukan karena silika, yang merupakan komponen utama abu terbang, memiliki sifat resisten terhadap asam, kecuali asam florida (HF) (Afriani & Nasra, 2024). Kelebihan asam dapat dihilangkan dengan pencucian pada residu fly ash hingga filtrat yang dihasilkan mencapai pH netral sehingga pengotor dan garam-garam yang terbentuk dapat berkurang. Pencucian dengan asam HNO<sub>3</sub> ini merupakan salah satu upaya dalam pemurnian kandungan natrium silika yang terdapat dalam abu terbang, hal ini karena asam dapat menghilangkan pengotor yang berupa oksida-oksida logam selain SiO<sub>2</sub> seperti Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, dan oksida logam lainnya. Sedangkan pada penelitian sebelumnya diperoleh hasil pencucian dengan basa NaOH memungkinkan meningkatkan kandungan SiO<sub>2</sub> dan melarutkan Ca (Anisara et al., 2024). Dari proses pencucian abu terbang dengan pelarut berbeda terjadi perubahan pada warna pelarut yang awalnya tidak berwarna setelah dikontakan dengan abu terbang dan disaring filtratnya menjadi kekuningan. Hal ini menandakan telah terjadi reaksi antara beberapa senyawa dalam abu terbang dengan pelarut HNO<sub>3</sub> dan NaOH. Setelah itu, abu terbang yang telah dicuci dinetralkan dengan aquades residunya hingga pH 7 atau netral untuk menghilangkan kelebihan asam dan basa pada residunya. Selanjutnya dikeringkan kembali pada suhu 105°C untuk menghilangkan kadar airnya. Setelah itu dikarakterisasi kembali dengan XRF untuk melihat kandungan senyawa kimia pada abu terbang tersebut, khususnya kandungan SiO<sub>2</sub>.

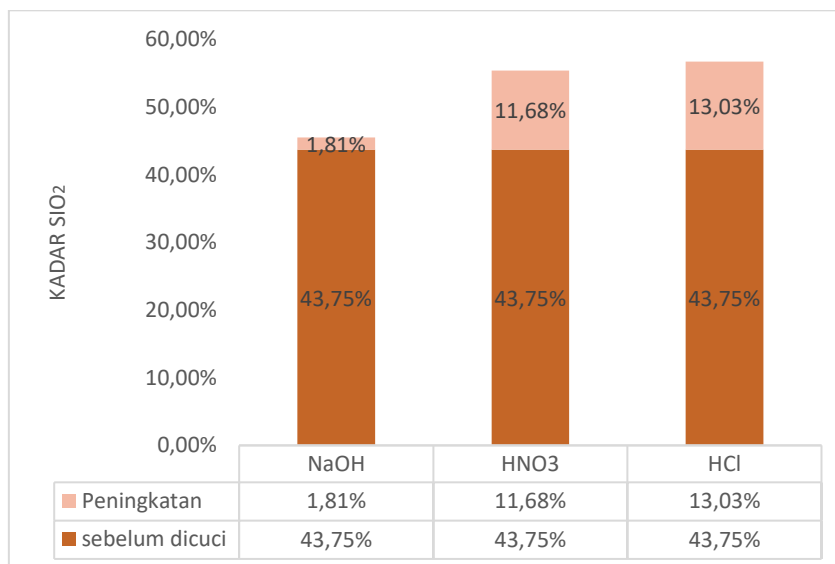
3.2 Hasil Karakterisasi XRF Abu Terbang setelah Pencucian

Kandungan yang terdapat pada abu terbang setelah proses pencucian dengan berbagai pelarut dapat dianalisis dengan menggunakan XRF dan diketahui persentase kandungan SiO<sub>2</sub> dan oksida logam lainnya dalam abu terbang yang telah dicuci. Hasil analisis XRF memberikan informasi penting mengenai efektivitas proses pencucian dengan berbagai pelarut dalam meningkatkan kadar SiO<sub>2</sub> pada abu terbang, sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan silika xerogel.

Table 1. Komposisi Abu Terbang Sebelum dan Setelah Dicuci dengan Pelarut HNO<sub>3</sub>, NaOH, dan HCl dengan Konsentrasi 3 M

| Kandungan Senyawa              | Komposisi %                        |                                             |                                 |                                           |
|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
|                                | Sebelum dicuci<br>(Penelitian ini) | Dicuci HNO <sub>3</sub><br>(Penelitian ini) | Dicuci NaOH<br>(Penelitian ini) | Dicuci HCl<br>(Cynthia & Nasra,<br>2024b) |
| SiO <sub>2</sub>               | 43,746                             | 55,424                                      | 45,551                          | 56,777                                    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14,286                             | 13,96                                       | 15,759                          | 13,482                                    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17,119                             | 18,618                                      | 17,743                          | 17,52                                     |
| CaO                            | 15,915                             | 5,434                                       | 14,148                          | 5,334                                     |
| MnO                            | 0,369                              | 0,29                                        | 0,437                           | 0,269                                     |
| As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,009                              | 0,003                                       | 0,004                           | 0,004                                     |
| SrO                            | 0,276                              | 0,083                                       | 0,245                           | 0,112                                     |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,017                              | 0,011                                       | 0,017                           | 0,011                                     |
| In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,426                              | 0,026                                       | 0,593                           | 0,079                                     |

Dalam penelitian ini, penggunaan pelarut HNO<sub>3</sub> 3M lebih efektif dalam meningkatkan kandungan SiO<sub>2</sub> pada abu terbang dibandingkan dengan penggunaan NaOH 3M. Hal ini terlihat dari persentase kandungan SiO<sub>2</sub> yang lebih tinggi setelah proses pencucian dengan HNO<sub>3</sub>. Dimana kadar SiO<sub>2</sub> yang sebelumnya 43,746% meningkat menjadi 55,424% setelah dicuci dengan HNO<sub>3</sub>, dan meningkat menjadi 45,551% setelah dicuci menggunakan NaOH. Walaupun demikian, dari penelitian sebelumnya dengan bahan baku abu terbang yang sama, namun menggunakan pelarut HCl 3 M memiliki peningkatan kadar SiO<sub>2</sub> yang lebih baik yaitu 56,777% (Wimarsela et al., 2021). Akan tetapi, baik menggunakan asam maupun basa sebagai pelarut, hasilnya tetap terjadi peningkatan pada kandungan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada setiap pelarut yang digunakan. Berikut ini adalah grafik peningkatan kandungan SiO<sub>2</sub> pada abu terbang setelah pencucian menggunakan berbagai variasi pelarut.

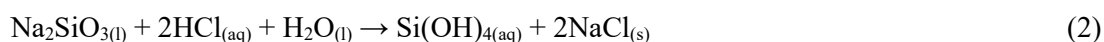


Gambar 1. Grafik Batang Pengaruh Pelarut (NaOH 3 M, HNO<sub>3</sub> 3 M, dan HCl 3 M) Pencucian terhadap Kadar SiO<sub>2</sub> dalam Abu Terbang Sebelum Dicuci dan Setelah Dicuci dengan Pelarut.

Grafik batang pada Gambar 1 menunjukkan hubungan antara pengaruh jenis pelarut pada sumbu x dengan peningkatan kadar SiO<sub>2</sub> sebelum dan setelah dicuci dengan pelarut. Dari grafik di atas terlihat bahwa peningkatan kadar SiO<sub>2</sub> menggunakan pelarut asam lebih baik dibandingkan menggunakan pelarut basa. Jika dibandingkan penggunaan pelarut asam HNO<sub>3</sub> 3 M pada penelitian ini belum dapat menjadi pilihan terbaik dalam proses pencucian abu terbang dengan peningkatan jumlah SiO<sub>2</sub> sebesar 11,68%. Sedangkan, penggunaan pelarut asam HCl 3 M untuk pencucian abu terbang pada penelitian oleh Dahliyanti et al. (2022) masih lebih baik untuk meningkatkan kadar SiO<sub>2</sub> sebesar 13,03%. Oleh karena itu, dalam penelitian yang lebih lanjut lebih baik menggunakan HCl sebagai pelarut pencucian abu terbang dan dapat melakukan variasi terhadap konsentrasinya ataupun menggunakan pelarut asam lain yang lebih efektif dalam ekstraksi SiO<sub>2</sub> dalam abu terbang.

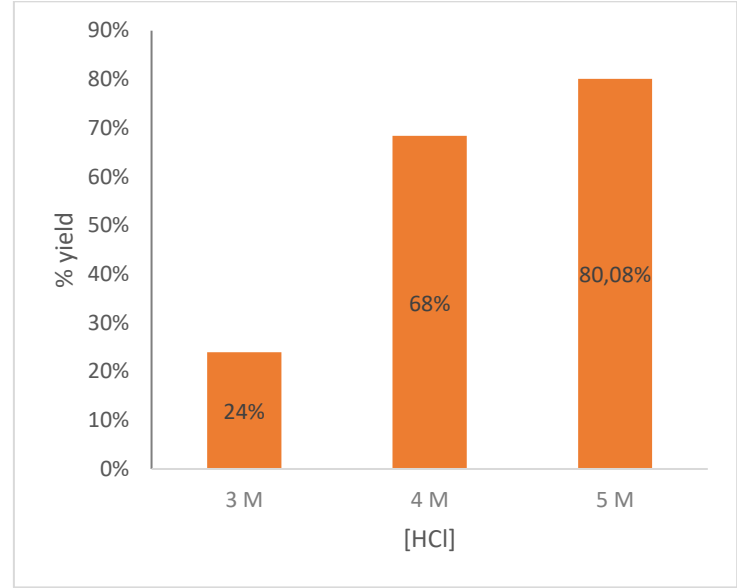
### 3.3 Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap %Yield Silika Xerogel

Penambahan HCl sangat penting dalam proses sintesis silika xerogel dari natrium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Hal ini karena HCl berperan dalam proses pembentukan monomer dari asam silikat yang akan membentuk gel (Widiyandari et al., 2021). Reaksi antara natrium silikat dan HCl adalah sebagai berikut:



HCl dapat berfungsi untuk netralisasi natrium silikat atau penurunan pH karena natrium silikat adalah basa lemah yang larut dalam air menghasilkan ion silikat (SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) dan ion natrium (Na<sup>+</sup>). Penurunan pH memicu protonasi ion silikat, mengubahnya menjadi asam silikat (Si(OH)<sub>4</sub>) (Meidinariasty et al., 2020). HCl juga digunakan sebagai larutan untuk menyesuaikan pH larutan Natrium Silikat disekitar pH 7 yang diperlukan untuk pembentukan gel (Yasrin et al., 2020). Asam silikat yang terbentuk selanjutnya bereaksi satu sama lain melalui proses polimerisasi. Dalam proses ini, gugus silanol (Si-OH) dari asam silikat saling berkondensasi, melepaskan molekul air untuk membentuk rantai dan jaringan silika yang dikenal sebagai silika gel. HCl dapat bertindak sebagai katalis untuk mempercepat laju polimerisasi silika. Selain itu, HCl dapat membantu kondensasi silika dengan meningkatkan stabilitas asam silikat dan mengurangi presipitasi silika. Konsentrasi HCl dapat mempengaruhi ukuran pori silika xerogel. Konsentrasi HCl yang lebih tinggi umumnya menghasilkan silika xerogel dengan pori yang lebih kecil dan luas permukaan yang lebih besar.

Pada penelitian ini digunakan variasi HCl untuk melihat %yield silika xerogel yang terbentuk. Konsentrasi HCl yang digunakan adalah 3M, 5M dan 7M. Di mana setiap 2,5 g abu terbang yang digunakan menghasilkan silika xerogel dengan berat masing-masing pada HCL 3 M, 5M, dan 7 M yaitu sebesar 0,6 g; 1,71 g; dan 2,02 g. Di bawah ini dapat dilihat trend dari setiap variasi konsentrasi HCl yang digunakan dan %yield silika xerogel dari setiap variasi konsentrasi HCl tersebut:



Gambar 2. Grafik Perbandingan Konsentrasi HCl (3 M, 4 M, dan 5 M) dalam proses Gelasi terhadap %Yield Silika Xerogel yang Dihasilkan

Grafik batang pada Gambar 2 menunjukkan hubungan antara variasi konsentrasi HCl dan %yield silika xerogel yang dihasilkan. Dari hasil netralisasi natrium silikat dengan HCl 3M menghasilkan %yield sebesar 24%; HCl 5M menghasilkan %yield sebesar 68,4%; dan konsentrasi HCl 7M menghasilkan %yield sebesar 80,8%. Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa seiring meningkatnya konsentrasi HCl maka semakin banyak silika xerogel yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena HCl menyediakan proton ( $H^+$ ) yang bereaksi dengan ion silikat untuk membentuk asam silikat. Konsentrasi HCl yang semakin tinggi ini dapat meningkatkan ketersediaan proton, sehingga mendorong bertambahnya jumlah asam silikat yang terbentuk (Rachmayani et al., 2023; Yasrin et al., 2020). Oleh karena itu, dari penelitian dapat diketahui bahwa penggunaan asam dengan konsentrasi yang tinggi dapat meningkatkan jumlah silika xerogel yang dihasilkan.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan analisis data yang diperoleh, maka penulis dapat menyimpulkan:

- 1. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan pelarut asam lebih baik dibandingkan pelarut basa dalam pencucian abu terbang. Kadar  $SiO_2$  setelah pencucian dengan pelarut NaOH 3 M dan  $HNO_3$  3 M pada masing-masing pelarut sebesar 45,551% dan 55,424%. Namun, peningkatan kadar  $SiO_2$  pada abu terbang setelah dicuci HCl pada penelitian sebelumnya lebih tinggi yaitu sebesar 56,777%.
- 2. Selanjutnya dari hasil Netralisasi natrium silikat pada proses gelasi didapatkan konsentrasi HCl 7 M adalah yang terbaik untuk meningkatkan %yield silika xerogel, yaitu sebesar 80,8%.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan:

- 1. Dari proses pencucian disarankan agar digunakan pelarut HCl 3 M untuk penelitian yang akan dilakukan atau dapat melakukan variasi konsentrasi untuk HCl agar didapatkan hasil yang baik.
- 2. Dalam proses gelasi, walau sudah didapatkan hasil rendemen yang lebih tinggi pada konsentrasi HCl 7 M, disarankan agar melakukan analisis lebih lanjut terhadap silika xerogel yang dihasilkan untuk mengetahui kualitas silika xerogel yang dihasilkan.
- 3. Analisis lebih lanjut untuk bahan dapat menggunakan instrumen seperti XRF, FTIR, SEM, dan BET untuk mengetahui kandungan, gugus fungsional, struktur pori, serta luas permukaan dari silika xerogel.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Abinawa, C., & Gobel, A. P. (2024). Studi Pengolahan Limbah Fly Ash Batubara dalam Upaya Peningkatan Konsentrasi Silika Menggunakan Asam Sitrat. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(3), 288–296. <https://doi.org/10.55123/insologi.v3i3.3519>
- Afriani, R., & Nasra, E. (2024). Variasi Waktu Kontak terhadap Penyerapan Ion  $\text{Cd}^{2+}$  Menggunakan Xerogel dari Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(2), 18658–18662. <https://doi.org/10.31004/JPTAM.V8I2.15114>
- Anisara, R., Wardhani, G. A. P. K., & Taufiq, A. (2024). Silica Gel From Bagasse Ash for Methylene Blue Adsorption. *Sains Natural: Journal of Biology and Chemistry*, 14(3), 142–153. <https://doi.org/10.31938/jsn.v14i3.738>
- A'yuni, Q., Rahmayanti, A., Hartati, H., Purkan, P., Subagyo, R., Fuadah, S., Sholeha, N. A., Bahruji, H., & Hikmat, H. (2023). Transforming Volcanic Mud into Mesoporous Silica Xerogel and Its Performance for Efficient Humidity Adsorption. *Journal of Saudi Chemical Society*, 27(6), 101771. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2023.101771>
- Cynthia. (2024). *Sintesis dan Karakterisasi Silika Xerogel dari Limbah Abu Terbang (FlyAsh) dengan Metode Sol-Gel*. Universitas Negeri Padang.
- Cynthia, & Nasra, E. (2024a). Penentuan Kondisi Optimum Waktu Aging pada Sintesis Silika Xerogel dari Limbah Abu Terbang. *Gudang Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 2(2), 50–53. <https://doi.org/10.59435/GJMI.V2I2.282>
- Cynthia, & Nasra, E. (2024b). Penentuan Kondisi Optimum Waktu Aging Pada Sintesis Silika Xerogel Dari Limbah Abu Terbang. *Gudang Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 2(2), 50–53. <https://doi.org/10.59435/gjmi.v2i2.282>
- Dahliyanti, A., Yunitama, D. A., Rofiqoh, I. M., & Mustapha, M. (2022). Synthesis and Characterization of Silica Xerogel from Corn Husk Waste as Cationic Dyes Adsorbent. *F1000Research*, 11, 305. <https://doi.org/10.12688/f1000research.75979.1>
- Imoisili, P. E., & Jen, T.-C. (2024). Synthesis and Characterization of Amorphous Nano Silica from South African Coal Fly Ash. *Materials Today: Proceedings*, 105, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.077>
- Kaya, G. G., Yilmaz, E., & Deveci, H. (2020). Synthesis of Sustainable Silica Xerogels/Aerogels Using Inexpensive Steel Slag and Bean Pod Ash: A Comparison Study. *Advanced Powder Technology*, 31(3), 926–936. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2019.12.013>
- Kundari, N. A., Megasari, K., & Yusephin, C. (2020). Kinetics Adsorption of Strontium(II) by Silica Xerogel from Fly Ash. *Journal of Physics: Conference Series*, 1494(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1494/1/012024>
- Megasari, K., Herdiyanti, H., Nurliati, G., Kadarwati, A., & Swantomio, D. (2019). Sintesis Silika Xerogel dari Abu Daun Bambu Sebagai Adsorben Uranium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, 13(1), 27–36.
- Meidinariasty, A., Purnamasari, I., Zamhari, M., Permadi, J., Fadillah, N. Z., & Luthfiah, S. (2020). Pengaruh Variasi Jenis Abu Boiler dan Konsentrasi HCL terhadap Sifat Fisis Silika Gel Hasil Sintesis. *KINETIKA*, 11(3), 28–33. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/article/view/3097>
- Nurmahdani, E., Junaidi, R., & Purnamasari, I. (2022). Silikon Hasil Reduksi Silika Dari Fly Ash Batubara Untuk Pembuatan Hidrogen Silica-Reduced Silicon From Coal Fly Ash for Hydrogen Manufacturing. *Jurnal Kinetika*, 13(03), 20–25.
- Pavithra, S., Thandapani, G., S, S., P.N., S., Alkhamis, H. H., Alrefaei, A. F., & Almutairi, M. H. (2021). Batch Adsorption Studies on Surface Tailored Chitosan/Orange Peel Hydrogel Composite for The Removal of  $\text{Cr(VI)}$  and  $\text{Cu(II)}$  Ions from Synthetic Wastewater. *Chemosphere*, 271, 129415. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129415>
- Prihastuti, H. (2021). Pengaruh Penggunaan Asam terhadap Pemisahan Logam dari Abu Layang Batubara sebagai Bahan Dasar Sintesis Zeolit. *Jurnal Kartika Kimia*, 4(1), 13–29. <https://doi.org/10.26874/jkk.v4i1.72>
- Putri, S. E., Nasra, E., & Sanjaya, H. (2024). Pengaruh Massa dan Waktu Kontak Terhadap Penyerapan Ion Logam  $\text{Pb}^{2+}$  Menggunakan Xerogel dari Abu Kulit Durian (*Durio zibethinus* Murr.). *Chemistry Journal of Universitas*, 13(1). <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia>
- Rachmayani, D. N., Salsabila, F. F., & Triana, N. W. (2023). Sintesis Silika Xerogel dari Rumput Gajah (*Pennisetum Purpureum*) dengan Metode Sol-Gel. *Prosiding Seminar Nasional Soebardjo Brotohardjono*, 19(1), 169–173. <https://snsb.upnjatim.ac.id/index.php/snsb/article/view/29>
- Rizky, A. A., Muhammad, M., Ginting, Z., Nurlaila, R., & ZA, N. (2023). Pengaruh Variasi Suhu dan Lama Waktu Pembakaran terhadap Hasil Sintesis Silika dari Daun Bambu Menggunakan Metode Sol-Gel. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 2(5), 107–116. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i5.8104>

- Widiyandari, H., Adhani, S. H., Subagio, A., & Purwanto, A. (2021). Synthesis of Silica Xerogel from Geothermal Sludge by Ultrasonic Assisted Alkali Extraction-Acid Precipitation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1825(1), 012071. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1825/1/012071>
- Wimarsela, S., Junaidi, R., & Silviyati, I. (2021). Sintesis Silika Gel dari Abu Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit Terimobilisasi Difenilkarbazon dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 1(2), 165–174. <https://doi.org/10.54082/jupin.24>
- Yasrin, Y., Alimuddin, A., & Panggabean, A. S. (2020). The Manufacturing of Silica Gel From Bamboo Leaf Ash (*Dendrocalamus Asper* (Sult. F) Backer Ex Heyne) and The Application for Adsorption ION Cd (II). *JURNAL ATOMIK*, 5(2), 107–113. <https://jurnal.kimia.fmipa.unmul.ac.id/index.php/JA/article/view/831>