

# Studi Pemanfaatan dan Metode Pemisahan Silika dari *Coal Fly Ash*

## *A Study for Silika Utilization and Its Separation Method from Coal Fly Ash*

Farrah Fadhillah Hanum<sup>1\*</sup>, Aster Rahayu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri,  
Universitas Ahmad Dahlan

\*email: farrah.hanum@che.uad.ac.id

*Disubmit: 04 Januari 2022 Direvisi: 06 Januari 2022 Diterima: 08 Januari 2022*

### ABSTRAK

Penggunaan batubara sebagai sumber energi masih belum tergantikan hingga saat ini, sehingga kajian mengenai pemanfaatan abu batubara masih sangat perlu untuk dikembangkan. Abu batubara merupakan limbah hasil proses pembakaran batu bara yang komposisinya akan berbeda sesuai dengan jenis batubara yang digunakan dan proses pembakaran yang dilakukan. Salah satu komposisi penyusun utama dari abu batubara ini adalah silika. Silika memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam berbagai tujuan seperti untuk pengolahan limbah, untuk bahan aditif dalam pertanian, hingga sebagai nanosilika. Paper ini berisi informasi mengenai pemanfaatan silika dari abu batubara yang sudah ada serta metode yang efektif untuk mendapatkan silika dari limbah abu batu bara ini. Dari pembahasan diketahui bahwa studi pemanfaatan silika saat ini umumnya berfokus ke arah sintesis zeolite. Penelitian pemanfaatan silika sebagai nanosilika baru mulai dikembangkan baru-baru ini. Sementara itu, pemanfaatan silika tidak terlepas dari metode ekstraksi silika dari coal fly ash tersebut. Dari pembahasan diketahui NaOH masih menjadi pilihan utama dalam proses leaching silika. Studi ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi kemajuan riset dalam rangkapengolahan dan pemanfaatan limbah.

**Kata kunci:** *Coal fly ash*, Ekstraksi, Pemanfaatan, Silika.

### ABSTRACT

*The use of coal as an energy source has not been replaced until now, subsequently the studies on the utilization of coal fly ash still need to be developed. Coal fly ash is waste from the coal combustion process whose composition will differ according to the type of coal used and the combustion process carried out. One of the main constituents of coal ash is silica. Silica has the potential to be used in various purposes such as for waste treatment, for additives in agriculture, to nanosilica. This paper contains information on the utilization of silica from existing coal fly ash and an effective method for obtaining silica from the coal fly ash. Based on the discussion, it is known that the current study of the use of silica generally focuses on the synthesis of zeolite. The research on the use of silica as nanosilica has only recently been developed. Meanwhile, the role of silica is related to the method of extracting silica from the coal fly ash. It is known that NaOH is the main leaching solution in the case of silica leaching process. This study is expected to provide information for research progress in the context of processing and utilizing waste.*

**Keywords:** *Coal fly ash*, Extraction, Utilization, Silica.

## PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari BP Energy Outlook tahun 2020, kebutuhan batubara dunia mulai mengalami penurunan di tahun ini setelah selama 30 tahun terakhir mengalami kenaikan. Namun penggunaan batubara sebagai sumber energi ini diprediksi masih akan menjadi salah satu kebutuhan utama sampai tahun 2050. Sementara itu di Indonesia, konsumsi diprediksi mengalami kenaikan lebih kurang 3,5%. Proses pembakaran abu batubara diketahui akan menghasilkan abu batubara berupa *fly ash* dan bottom ash. *Coal fly ash* diketahui mengandung zat-zat yang cukup berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu, studi mengenai pemanfaatan abu sisa pembakaran batubara (*coal fly ash*) masih perlu terus dikembangkan. Sejalan dengan regulasi terbaru mengenai status limbah *coal fly ash* saat ini di Indonesia, maka dengan status *coal fly ash* yang bukan lagi termasuk ke dalam limbah B3, maka perlu regulasi yang jelas dalam mengupayakan pemanfaatan *coal fly ash* di Indonesia.

Banyak riset yang telah dilakukan untuk pemanfaatan *coal fly ash* ini, seperti pemanfaatannya sebagai aditif pada *concrete* dalam bidang konstruksi (Ghazali, *et al.*, 2019), sebagai adsorben untuk penyerapan zat toxin piridin dari limbah (Sofia *et al.*, 2020), pemanfaatannya dalam bidang pertanian seperti menjadi media tanam dan aditif pada pupuk (Dahiya, *et al.*, 2018), serta pemanfaatannya dalam bidang lingkungan seperti menjadi media tanaman penyerap bahan berbahaya pada lahan pertanian yang terkontaminasi (Kisku, *et al.*, 2018). Masing-masing pemanfaatan silika tersebut dari tahun ke tahun juga akan memberikan informasi mengenai metode pemisahan silikanya. Sehingga, studi ini juga akan membahas metode yang digunakan untuk ekstraksi silika dalam rangka proses pemanfaatan silika tersebut.

Pada penelitian sebelumnya, peneliti telah melakukan uji karakteristik untuk *coal fly ash* dari berbagai jenis pembangkit listrik (Hanum *et al.*, 2018; Hanum *et al.*, 2020) dan diketahui silika merupakan salah satu komposisi utama penyusun pada *coal fly ash*. Silika merupakan salah satu material yang banyak diketahui dapat digunakan dalam berbagai peruntukan seperti sebagai adsorben pengolahan limbah, sebagai zeolite, dan juga dalam bidang pertanian. Oleh karena itu, tulisan ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pemanfaatan silika dari *coal fly ash* serta metode yang digunakan untuk mendapatkan ekstraksi silika dari material *coal fly ash* tersebut.

### BERBAGAI PEMANFAATAN SILIKA DARI COAL FLY ASH

Silika merupakan salah satu *by-products* yang akan selalu dihasilkan dari proses pembakaran batubara. Silika-alumina-potassium merupakan komponen yang menentukan propertis dari *coal fly ash*, komponen-komponen ini merupakan hasil dari pemisahan material anorganik selama proses pembakaran batubara (Król, 2016). Bahan-bahan anorganik yang melewati proses pembakaran batubara menghasilkan komponen silika-alumina-potassium yang tidak stabil, kemudian meleleh dan membentuk padatan yang sangat halus yang berstruktur sferikal.

Di Indonesia banyak dikaji tentang pemanfaatan silika menjadi biosilika gel, adsorber logam berat dalam pengolahan limbah, dll. Biasanya penelitian di Indonesia masih masih terfokus pada silika dari limbah sekam. Pembahasan pemanfaatan silika dari abu batubara ini masih relative sedikit ditemukan di penelitian Indonesia. Oleh karena itu pada tulisan kali ini, penulis akan membahas mengenai potensi pemanfaatan

silika berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dari berbagai macam negara pada rentang tahun 2002-2021. Tabel 1. menunjukkan arah pemanfaatan silika yang telah banyak dikaji oleh peneliti-peneliti dari berbagai negara.

**Tabel 1.** Penelitian mengenai pemanfaatan silika dari coal fly ash dari berbagai negara pada tahun 2002-2021.

Judul Artikel	Author, Tahun	Keterangan Paper
Pure zeolite synthesis from silica extracted from coal fly ashes	Moreno, <i>et al.</i> , 2002	Metode ekstraksi silika dari abu batubara untuk dimanfaatkan menjadi zeolite
Extraction of silica and alumina from coal fly ash for the synthesis of zeolites	Kamarudin, <i>et al.</i> , 2009	Sintesis zeolite memanfaatkan silika dari abu batubara
Using the response surface methodology to optimize the extraction of silica and alumina from coal fly ash for the synthesis of zeolite Na-A	Matlob, <i>et al.</i> , 2012	Sintesis zeolite memanfaatkan silika dari abu batubara
Preparation of Xonotlite nano-fibres using the silica source from coal fly ash and Ca(OH) <sub>2</sub>	Yang, <i>et al.</i> , 2014	Pemanfaatan silika dari coal fly ash menjadi xonotlite nano-fiber
Novel synthesis of cyano-functionalized mesoporous silica nanospheres (MSN) from coal fly ash for removal of toxic metals from wastewater	Wang, <i>et al.</i> , 2018	Pemanfaatan silika untuk penghilangan logam berat dari air limbah
Synthesis and characterisation of high silica zeolites with MOR and MFI framework type from South African coal fly ash.	Cornelius, <i>et al.</i> , 2019	Pemanfaatan silika dari <i>coal fly ash</i> menjadi <i>high zeolites silica</i>
Performance of Silica Membranes from Fly Ash Coal of PT Semen Baturaja in Reducing Metal Content in Mine Acid Water	Trisnaliani, <i>et al.</i> , 2020	Pemanfaatan silika dari <i>coal fly ash</i> menjadi membran untuk mengurangi kandungan logam pada tambang
Reactive adsorption of parabens on synthesized micro-and mesoporous silica from coal fly ash: pH effect on the modification process	de Oliveira, <i>et al.</i> , 2020	Pemanfaatan silika dari <i>coal fly ash</i> menjadi adsorber
Preparation of sodium silicate solutions and silica nanoparticles from South African coal fly ash	Aphane, <i>et al.</i> , 2020	Pemanfaatan silika dari <i>coal fly ash</i> menjadi silika nanopartikel untuk

---

		<i>supporting</i> katalis
Coal fly ash derived silica nanomaterial for mms-application in CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> separation	Miricioiu, <i>et al.</i> , 2021	Pemanfaatan silika dari <i>coal fly ash</i> menjadi membrane dengan selektivitas tinggi

---

Dari Tabel 1. diketahui arah pemanfaatan silika pada umumnya adalah ke arah pengolahan limbah, dimana silika diubah diekstrak dan diubah ke dalam struktur yang berbeda sehingga bisa digunakan sebagai zeolite, membran dan juga adsorber. Penelitian terbaru mengenai pemanfaatan silika adalah pemanfaatannya dalam bentuk nanopartikel, dimana dalam form tersebut silika dalam digunakan sebagai katalis dan membrane tipis.

Pembahasan mengenai pemanfaatan silika juga terkait dengan cara proses mendapatkannya. Penelitian mengenai pemanfaatan zeolite seperti yang tertulis pada tabel di atas memiliki cara ekstraksi yang berbeda pula. Sehingga, pada tulisan kali ini juga akan dibahas mengenai metode-metode yang efektif digunakan dalam mengekstrak silika dari *coal fly ash*.

### EKSTRAKSI SILIKA DARI COAL FLY ASH

#### Ekstraksi Silika dengan NaOH dan *pre-heating*

Pada umumnya, ekstraksi silika dilakukan dengan NaOH. Perbedaan hasil ekstraksi silika ini akan dipengaruhi oleh jenis batubara yang digunakan pada proses pembakaran, kualitas proses pembakaran yang berlangsung, serta kondisi ekstraksi yang digunakan seperti konsentrasi NaOH, temperature ekstraksi, alat dan lama waktu ekstraksi. Moreno, *et al* (2002) mendapatkan temperatur rata-rata dalam proses ekstraksi silika dari coal fly ash ini adalah 90°C memberikan hasil ekstraksi yang cukup baik, namun setelah dilakukan *pre-treatment* dengan memanaskan NaOH 2M dan coal fly ash sampai suhu 1000°C dapat meningkatkan yield silika. Diketahui juga bahwa kenaikan NaOH tidak mempengaruhi jumlah silika ekstraksi yang didapatkan, namun dapat meningkatkan jumlah pengotor pada hasil ekstraksi silika.

#### Ekstraksi Silika dengan NaOH dan *microwave irradiation*

Kamarudin (2009) melakukan ekstraksi pada suhu ruangan dengan memvariasikan konsentrasi NaOH, setelah slurry NaOH dan coal fly ash terbentuk kemudian dilanjutkan dengan proses microwave irradiation dengan variasi waktu 3-6 menit. Hasil yang didapatkan adalah dengan waktu pemanasan dengan microwave 3.5 menit dan daya listrik microwave oven sebesar 50Watt serta konsentrasi NaOH 4M dapat menghasilkan yield silika yang cukup tinggi. Pengaturan level untuk daya iradiasi microwave berperan penting dalam menahan produk yang tidak diinginkan terbentuk. Dari riset ini terlihat perkembangan dari riset sebelumnya (Moreno, *et. al.*, 2002) yaitu suhu ekstraksi lebih mudah untuk dilakukan dan waktu reaksi lebih cepat karena adanya proses iradiasi microwave ini.

Matlob, *et al.*, (2012) juga melakukan ekstraksi silika dengan menggunakan sistem *microwave irradiation* untuk digunakan sebagai material untuk sintesis zeolite. Ekstraksi silika ini dilakukan dengan variasi konsentrasi NaOH 2, 4, dan 6 M, variasi power dari microwave yaitu 10, 50, dan 100Watt serta variasi lama waktu pada *microwave* nya 1,

3.5 dan 6 menit. Setelah proses microwave irradiation selesai, proses ekstraksi akan dilanjutkan dengan magnetic stirrer di suhu ruangan. Hasil yang didapatkan adalah semakin tinggi konsentrasi NaOH dan power level untuk proses *microwave irradiation* nya, maka konsentrasi silika dan alumina didapatkan lebih banyak, namun untuk silika yang tepat sebagai material sintesis zeolite maka didapatkan yang terbaik pada konsentrasi NaOH 5M dan waktu eksposur dengan microwave selama 1,3 menit dengan power level dari *microwave* sebesar 100 W. Hasil ini sedikit berbeda dengan riset sebelumnya (Kamarudin, *et al.*, 2009) walaupun peruntukannya sama-sama untuk sintesis zeolite.

### **Ekstraksi Silika dengan proses leaching**

Aphane, *et al.*, (2020) melakukan ekstraksi silika untuk menghasilkan nanopartikel dari silika yang nantinya dapat diaplikasikan sebagai katalis, atau supporting katalis, pigment, substrat pada lapisan film, dll. Proses leaching dilakukan dengan membandingkan dua proses leaching yaitu SAAL dan DAL. Untuk leaching dengan metode SAAL (Sequential Acid-Alkaline Leaching), leaching dilakukan 2 tahap dengan tahap pertamanya adalah leaching menggunakan asam yaitu  $H_2SO_4$ , yang bertujuan untuk melarutkan silika dan alumina dan dilanjutkan dengan ekstraksi dengan basa yaitu NaOH untuk memisahkan Si dari alumina. Untuk leaching dengan metode DAL (Direct Alkaline Leaching) ini langsung mengontakkan coal fly ash dengan NaOH. Hasil yang didapatkan adalah menggunakan leaching dengan metode SAAL maka silika yang didapatkan lebih sedikit pengotor Al nya. Metode SAAL ini dianggap lebih efektif jika kita ingin memproduksi silika dengan kemurnian atau konsentrasi yang tinggi

Mohanty, *et al.*, (2022) melakukan ekstraksi silika dari coal fly ash dengan metode leaching dan sintering menggunakan pelarut NaOH dengan variasi waktu leaching, temperature dan rasio coal fly ash dengan larutan NaOH nya. Hasil maksimum didapatkan pada suhu  $95^{\circ}C$  dan waktu leaching 1 jam dengan rasio coal fly ash : NaOH sebanyak 1:1.

Dari beberapa metode ekstraksi silika di atas dapat diketahui bahwa ekstraksi silika dengan NaOH merupakan yang paling tepat, hanya berbeda cara dan kondisi operasinya. Metode SAAL merupakan metode yang paling efektif untuk mendapat silika yang sedikit jumlah pengotornya, sedangkan dengan metode lainnya suhu dan lama waktu kontak antara silika dan NaOH menjadi penentu utama jumlah yield silika yang didapatkan.

### **SIMPULAN**

Berdasarkan studi dan pembahasan mengenai pemanfaatan silika dari coal fly ash ini dapat disimpulkan bahwa silika dalam coal fly ash memiliki potensi yang tinggi untuk dimanfaatkan dalam berbagai keperluan. Pada umumnya pemanfaatan silika sampai saat ini masih berfokus pada sintesis zeolite untuk pengolahan limbah dan pembuatan nanosilika untuk dapat dibuat menjadi katalis, fiber, dan bahan pendukungnya. Potensi pemanfaatan silika di bidang pertanian merupakan arah penelitian yang berpotensi untuk dikembangkan juga kedepannya. Sehingga perlu dikembangkan terus metode ekstraksi silika yang efektif sesuai dengan peruntukan dari silika tersebut nantinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aphane, M. E., Doucet, F. J., Kruger, R. A., Petrik, L., & van der Merwe, E. M. (2020). Preparation of Sodium Silicate Solutions and Silica Nanoparticles from South African Coal Fly Ash. *Waste and Biomass Valorization*, 11(8), 4403–4417. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00726-6>
- BP Energy. (2020). Energy Outlook 2020 edition explores the forces shaping the global energy transition out to 2050 and the surrounding that. *BP Energy Outlook 2030, Statistical Review*. London: British Petroleum., 81. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf>
- CNCB Indonesia. (2021) <https://www.cnbcindonesia.com/news/20210204090609-4-220919/masih-pandemi-konsumsi-energi-ri-2021-diprediksi-bakal-naik>. Diakses 28 Desember 2021
- Cornelius, M. L. U. (2019). Synthesis and characterisation of high silica zeolites with MOR and MFI framework type from South African coal fly ash. Dissertation: Chemistry Department, University of Western Cape. <https://etd.uwc.ac.za/handle/11394/7153>
- Dahiya, H. S., & Budania, Y. K. (2018). Prospects of Fly Ash Application in Agriculture: A Global Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(10), 397–409. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.043>
- De Oliveira, F. F., Moura, K. O., Costa, L. S., Vidal, C. B., Loiola, A. R., & Do Nascimento, R. F. (2020). Reactive Adsorption of Parabens on Synthesized Micro- And Mesoporous Silica from Coal Fly Ash: PH Effect on the Modification Process. *ACS Omega*, 5(7), 3346–3357. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03537>
- Ghazali, N., Muthusamy, K., & Wan Ahmad, S. (2019). Utilization of Fly Ash in Construction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 601(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/601/1/012023>
- Hanum, F. F., Desfitri, E. R., Hayakawa, Y., & Kambara, S. (2018). Preliminary study on additives for controlling As, Se, B, and F leaching from coal fly ash. *Minerals*, 8(11), 493–503. <https://doi.org/10.3390/min8110493>
- Hanum, F. F.; Rahayu, A., Sutopo, U. M., & Mufrodi, Z. (2020). Coal Fly Ash Characterization From Cement Industry X As an Initial Study in Its Utilization. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 7(1), 57–62. <https://doi.org/10.26555/chemica.v7i1.16715>
- Kamarudin, R. A., Matlob, A. S., Jubri, Z., & Ramli, Z. (2009). Extraction of silica and alumina from coal fly ash for the synthesis of zeolites. *ICEE 2009 - Proceeding 2009 3rd International Conference on Energy and Environment: Advancement Towards Global Sustainability, December*, 456–461. <https://doi.org/10.1109/ICEENVIRON.2009.5398608>
- Kisku, G. C., Kumar, V., Sahu, P., Kumar, P., & Kumar, N. (2018). Characterization of coal fly ash and use of plants growing in ash pond for phytoremediation of metals from contaminated agricultural land. *International Journal of*

- Phytoremediation*, 20(4), 330–337.  
<https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1381942>
- Król, A. (2016). The role of the silica fly ash in sustainable waste management. *E3S Web of Conferences*, 10, 4–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20161000049>
- Matlob, A. S., Kamarudin, R. A., Jubri, Z., & Ramli, Z. (2012). Using the response surface methodology to optimize the extraction of silica and alumina from coal fly ash for the synthesis of zeolite Na-A. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37, 27–40. <https://doi.org/10.1007/s13369-011-0149-2>
- Mohanty, R., Mishra, S. K., Mohapatra, S. S., & ... (2022). Extraction of Silica (Sio<sub>2</sub>) from Coal Fly Ash by Leaching and Sintering Technology. *Advanced in Thermofluids and Renewable Energy*, 389–395. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3497-0\\_30](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3497-0_30)
- Moreno, N., Querol, X., Plana, F., Andres, J. M., Janssen, M., & Nugteren, H. (2002). Pure zeolite synthesis from silica extracted from coal fly ashes. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 77(3), 274–279. <https://doi.org/10.1002/jctb.578>
- Miricioiu, M. G., Niculescu, V. C., Filote, C., Raboaca, M. S., & Nechifor, G. (2021). Coal fly ash derived silica nanomaterial for mmms-application in CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> separation. *Membranes*, 11(2), 1–18. <https://doi.org/10.3390/membranes11020078>
- Sofia, I., Utomo, W. B.; Sarangga, A.; Pirri, R. I. (2020). Pemanfaatan Limbah Batubara Fly Ash Sebagai Adsorben Untuk Penyerapan Zat Toksin Piridin. Prosiding 4 SENWODIPA. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, September, 253–259. <http://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/snp2m/article/view/2465/2177>
- Trisnaliani, L., Purnamasari, I., & Ahmadan, F. (2019). Performance of Silica Membranes from Fly Ash Coal of PT Semen Baturaja in Reducing Metal Content in Mine Acid Water. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 4(1), 9–14. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v4.il.09>
- Wang, B., Zhou, Y., Li, L., Xu, H., Sun, Y., & Wang, Y. (2018). Novel synthesis of cyano-functionalized mesoporous silica nanospheres (MSN) from coal fly ash for removal of toxic metals from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 345, 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.063>
- Yang, J., Zhang, X., Ma, H., Wang, M., & Wu, H. (2014). Preparation of xonotlite nano-fibres using the silica source from coal fly ash and Ca(OH)<sub>2</sub>. *Key Engineering Materials*, 633, 7–10. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.633.7>