

## Ekstraksi Alumina dan Besi dari Limbah *Fly Ash* Menggunakan Asam Sulfat

Maria Tania Agustia Sagala<sup>(1)</sup>, Mikail Ali Reza<sup>(2)</sup>, Sutiyono<sup>(3)</sup>

Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur  
Jln. Raya Rungkut Madya Gunung Anyar, Surabaya, Indonesia

Email: <sup>1</sup>sagalamariatania@gmail.com, <sup>2</sup>mikailreza25@gmail.com,  
<sup>3</sup>sutiyono13@yahoo.co.id

---

### Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

---

### Sejarah Artikel

Diterima 13 Agustus 2025  
Direvisi 19 Januari 2026  
Disetujui 20 Januari 2026  
Dipublikasikan 23 Mei 2026

---

### Keywords:

Alumina, Fly ash, Iron, Leaching

**Abstract:** Fly ash contains alumina and iron that are generated during industrial production processes. Effective utilization of fly ash requires a clear understanding of its physical and chemical properties to ensure optimal use. Fly ash comprises various components, including 13.05 wt% SiO<sub>2</sub>, 16.04 wt% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 36.06 wt% Fe<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, and 6.20 wt% CaO. The objective of this inquire about was to decide the degree to which alumina and iron can be extracted by means of sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) leaching. The experimental variables included extraction temperature 85, 90, 95, 100, and 120°C and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentration at 3, 6, 9, 12, and 15% by volume. The procedure began with standardizing the fly ash by grinding to 60 mesh, followed by washing and drying. Next, the extraction process was carried out for 60 minutes with the addition of an aqueous H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution. The coming about filtrate was analyzed utilizing Nuclear Retention Spectrophotometry (AAS) to evaluate the concentrations of broken up aluminum and iron. The highest extraction rates were achieved at 120°C with 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, yielding approximately 2.79% Al and 7.61% Fe.

---

### Kata Kunci:

Alumina, Besi, Ekstraksi, Fly ash

---

### Corresponding Author:

Name:  
Sutiyono  
Email:  
sutiyono13@yahoo.co.id

**Abstrak:** Fly ash memiliki kandungan alumina dan besi yang diciptakan melalui proses produksi setiap industri. Pemanfaatan limbah fly ash memerlukan pemahaman mengenai karakteristik fisik dan kimianya agar dapat dioptimalkan. Fly ash terdiri dari beragam komponen di antaranya adalah SiO<sub>2</sub> 13,05%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 16,04%, Fe<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 36,06% dan CaO 6,20%. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur kadar alumina dan besi yang dapat diekstraksi menggunakan pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Penelitian ini menggunakan variabel temperatur ekstraksi pada 85, 90, 95, 100 dan 120 °C dan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 3, 6, 9, 12 dan 15%. Proses diawali dengan penyeragaman fly ash 60 mesh, lalu dilanjutkan dengan pencucian dan pengeringan. Kemudian proses ekstraksi dilakukan dalam waktu 60 menit dengan penambahan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) untuk mengidentifikasi aluminium dan besi yang terkandung di dalamnya. Laju ekstraksi terbaik diperoleh pada temperatur 120 °C dengan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 15% sebesar 2,79% Al dan 7,61% Fe.

## PENDAHULUAN

Batu bara sering dimanfaatkan di sektor industri sebagai sumber energi untuk memproduksi steam yang berfungsi sebagai pemanas atau penggerak turbin listrik. Banyak sektor produksi di Indonesia beralih ke pemanfaatan batu bara sebagai alternatif bahan bakar. Perubahan ini disebabkan oleh tingginya tarif bahan bakar minyak yang memiliki biaya lebih mahal dibandingkan dengan batu bara (Wardhani et al., 2012). Fly ash atau abu layang ialah hasil

samping dari proses pembakaran batu bara yang didalamnya terdapat berbagai elemen, termasuk  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ , dan  $\text{MgO}$  (Khasanah & Budiono, 2022).

Peningkatan jumlah fly ash menjadi masalah internasional. Limbah fly ash selama ini dibuang tanpa diproses lebih lanjut (Yao et al., 2014). Fly ash yang dibuang ditanah akan mencemari air tanah dengan logam berat. Oleh karena itu diperlukan proses daur ulang dan penanganan lebih lanjut (Sahoo et al., 2016). Asam sulfat adalah senyawa asam kuat yang sering digunakan sebagai pelarut. dalam berbagai proses hidrometalurgi, pelarut asam sulfat sering digunakan sebagai tahap pertama untuk mengekstraksi logam berharga dari campuran material karena harganya yang murah dan penggunaan yang mudah (Tan et al., 2025). Rasio antara pelarut yang digunakan dengan zat padat harus sesuai dengan kelarutan solut dalam pelarut. Semakin rendah kelarutan solut dalam pelarut, maka semakin tinggi rasio pelarut terhadap zat padat (Ketaren, 1986). Asam sulfat memiliki kemampuan yang efektif dalam mengolah kandungan silika yang tinggi untuk dipisahkan dengan mudah dari aluminium. Aluminium oksida, yang juga dikenal sebagai alumina, merupakan katalis asam yang dapat diterapkan dalam proses pemecahan katalitik. Dalam katalis tersebut, terkandung senyawa kimia berupa aluminium serta oksigen. Komponen tersebut mempunyai ketahanan terhadap suhu ekstrem, oleh karena itu kerap dipakai menjadi katalis atau katalis padatan pendukung. Aluminium oksida mempunyai karakteristik kekuatan alami, stabilitas yang cukup pada suhu yang tinggi, struktur pori yang luas, kemudahan dalam pembentukan, dan titik leleh yang tinggi (Aswan et al., 2021). Aluminium juga memiliki sifat amfoter, yang memungkinkannya bereaksi baik dengan asam maupun dengan basa (Hartomo, 1992).

Kadar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dalam fly ash memiliki potensi dimanfaatkan menjadi koagulan melalui ekstraksi ion Al dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$  serta ion Fe dari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Metode yang dapat diterapkan untuk memperoleh ion Al dan Fe ini bervariasi, contohnya adalah teknik pemisahan padat-cair (leaching). Dalam prosedur pemisahan tersebut, digunakan pelarut untuk memisahkan komponen yang dapat larut dari material padat (Fan & Zhang, 2024). Aluminium memiliki kegunaan yang luas di bidang konstruksi, aerospace, transportasi, pengemasan dan industri baterai (Jin et al., 2025). Besi adalah salah satu unsur kimia yang dapat ditemukan di hampir setiap lokasi di planet ini, di semua lapisan geologi dan pada seluruh tubuh air. Secara umum, kandungan besi dalam air dapat berada dalam keadaan terlarut dalam bentuk  $\text{Fe}^{2+}$  (fero) atau  $\text{Fe}^{3+}$ . Tingginya kadar Fe ini bisa dirasakan dan dapat mengubah warna kain serta alat masak (Rofi Taufiqurrahman et al., 2024). Besi (Fe) hadir di dalam tanah serta batuan dalam bentuk ferioksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan ferihidroksida ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) (Febrina & Ayuna, 2015).

Penelitian (Su et al., 2011) mempelajari pengaruh pelarut NaOH suhu dan waktu ekstraksi. Hasil terbaik diperoleh pada suhu  $95^\circ\text{C}$  dalam waktu 150 menit sebesar 89%. Dalam studi yang dilakukan (Malau et al., 2024) mempelajari proses ekstraksi dengan metode kalsinasi-pengasaman. Diperoleh hasil ekstraksi sebesar 97,91% menggunakan pelarut HCl selama 6 jam dan sebesar 99,66% menggunakan pelarut  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10% selama 6 jam. Penelitian (Valeev et al., 2018) menunjukkan bahwa laju ekstraksi besi terbesar diperoleh pada suhu ekstraksi  $100^\circ\text{C}$ , konsentrasi HCl 20% yaitu sebesar 52%. Waktu ekstraksi tidak memberikan pengaruh terhadap hasil ekstraksi. Studi-studi ini menunjukkan bahwa aluminium dan besi dapat diekstraksi menggunakan pelarut asam. Namun, Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada pelarut HCl dan NaOH, sedangkan kajian mendalam menggunakan pelarut  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pada kondisi optimumnya masih terbatas.

Penelitian ini diperlukan untuk mengupayakan pemanfaatan limbah fly ash yang saat ini belum dimaksimalkan, dengan fokus pada ekstraksi alumina dan besi menggunakan pelarut  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Di samping itu, penelitian ini juga bertujuan untuk meningkatkan efektivitas pengolahan limbah melalui ekstraksi alumina dan besi menggunakan asam sulfat sebagai pelarut yang dapat memberikan solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Ekstraksi yang dilakukan yaitu ekstraksi asam dengan menggunakan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Kelebihan dari metode ini ialah kemampuannya yang efektif dalam mengolah kandungan silika yang tinggi. Sehingga silika dapat dipisahkan dari aluminium.

## METODE

Bahan yang dipakai dalam studi ini meliputi fly ash, asam sulfat, dan aquadest. Alat yang digunakan terdiri dari gelas beaker berkapasitas 300 ml, pengaduk magnetik, oven, neraca analitik, Erlenmeyer 100 ml, pipet tetes, gelas ukur berkapasitas 25 ml dan 10 ml, corong kaca, ayakan, spatula, termometer dan magnet bar.

Prosedur penelitian dilakukan dengan 4 tahapan, yaitu:

1. Tahap Persiapan Bahan  
Diawali dengan persiapan bahan baku berupa pengecilan ukuran, screening 60 mesh, pencucian dan pengeringan pada 110 °C.
2. Tahap Ekstraksi  
Proses ekstraksi dilakukan dengan mencampurkan 1,5 gram fly ash dengan 100 ml larutan asam sulfat pada konsentrasi 3, 6, 9, 12, dan 15%. Selanjutnya, pemanasan diikuti pengadukan selama 60 menit dengan kecepatan pengadukan 300 rpm pada variabel suhu 85, 90, 95, 100, dan 120 °C.
3. Tahap Pemisahan  
Kemudian dilakukan pemisahan filtrat dan residu dengan cara penyaringan. Residu yang diperoleh dari pemisahan selanjutnya dilakukan pencucian menggunakan aquadest 50ml serta dilakukan pemisahan untuk menghasilkan filtrat hasil pencucian.
4. Tahap Analisis

Hasil pencampuran filtrat hasil ekstraksi dan filtrat hasil pencucian selanjutnya dianalisis dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Fly ash adalah hasil pembakaran batu bara yang mengandung berbagai komponen, di antaranya adalah SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, dan MgO. Kandungan tersebut dapat dipisahkan dengan ekstraksi. Analisis fly ash (Tabel 1) menunjukkan nilai kandungan aluminium dan besi yang tinggi.

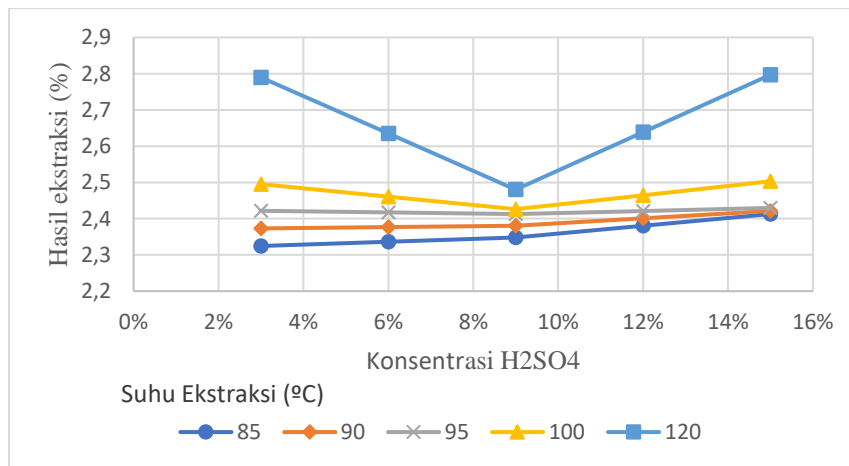
Tabel 1. Kandungan Unsur pada Fly Ash

Kandungan	Kadar (%)
Zn	12,00
Mg	12,40
Al	16,04
Cl	0,70
Fe	36,06
Si	13,05

Hasil analisis XRF menunjukkan adanya kandungan alumina sebesar 16.04% dan kandungan besi sebesar 36.06%.

### Pengaruh Variasi Temperatur Ekstraksi dan Konsentrasi Pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Terhadap Laju Ekstraksi Alumina

Penelitian ini menggunakan analisa Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) untuk mengetahui kandungan Al dan Fe didalam filtrat. Secara garis besar, hasil ekstraksi alumina menunjukkan bahwa semakin besar penambahan konsentrasi pelarut maka semakin besar hasil ekstraksi yang diperoleh. Demikian juga dengan semakin tinggi suhu ekstraksi maka semakin besar juga hasil ekstraksi yang diperoleh.



Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi Pelarut Dan Variasi Temperatur Terhadap Hasil Ekstraksi Alumina

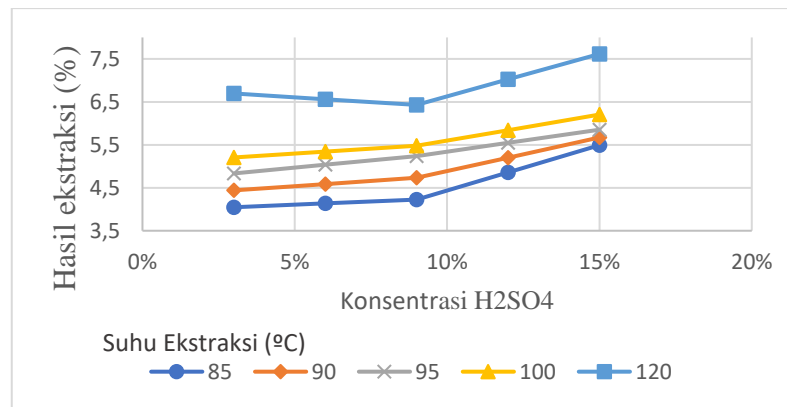
Gambar 1 menunjukkan pengaruh konsentrasi pelarut asam sulfat terhadap hasil ekstraksi alumina. Dapat diketahui bahwa pada suhu 85 °C, 90 °C, 95 °C, 100 °C, dan 120 °C terjadi kenaikan. Penelitian ini menunjukkan bahwa hasil ekstraksi alumina pada suhu 120 °C dengan konsentrasi pelarut asam sulfat 15% mencapai nilai tertinggi dan mengalami penurunan pada konsentrasi pelarut 9%. Pada konsentrasi pelarut 9%, terjadi penurunan pada suhu 120 °C. Kenaikan konsentrasi pelarut asam sulfat dapat meningkatkan efektivitas ekstraksi alumina dengan meningkatnya kemampuan pelarut untuk melepaskan alumina dari bahan baku fly ash, serta suhu yang tinggi juga meningkatkan laju reaksi dan efektivitas ekstraksi alumina.

Suhu ekstraksi pada rentang suhu 85–120 °C tidak mengalami peningkatan hasil ekstraksi alumina (Al) yang signifikan. Ketika suhu ekstraksi di bawah 100°C, penguraian permukaan fly ash tidak terlalu signifikan. Suhu optimum untuk menguraikan permukaan fly ash terdapat pada rentang suhu 120-275°C (Bai et al., 2011). Kandungan Al berpusat di bawah permukaan fly ash dengan terurainya permukaan fly ash, maka Al yang terestruk akan semakin banyak (Matjie et al., 2005).

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Shemi et al. (2012) menunjukkan hasil ekstraksi aluminium sebesar 15,7% pada 2 M; 16,6% pada 4 M; 16,5% pada 6 M; 14,8% pada 8 M; dan 10,9% pada 10 M. Hal ini menunjukkan penurunan ekstraksi aluminium di atas konsentrasi asam 6 M. Konsentrasi yang tinggi disebabkan oleh rendahnya laju perpindahan massa reaktan dan produk yang disebabkan oleh peningkatan jumlah pembentukan CaSO<sub>4</sub> dalam campuran. Hal yang serupa juga diteliti oleh (Seidel, 2006) dimana penulis menduga bahwa peningkatan konsentrasi asam menghasilkan dua efek yang berlawanan secara bersamaan. Peningkatan ion H<sup>+</sup> meningkatkan pelarutan aluminium, sedangkan peningkatan konsentrasi sulfat dan ion Ca<sup>+</sup> terlarut mengintensifkan pembentukan endapan kalsium sulfat. Endapan tersebut membentuk selubung yang menambal permukaan fly ash sehingga menghambat perpindahan massa melintasi permukaan fly ash (Nayak & Panda, 2010).

### **Pengaruh Variasi Temperatur Ekstraksi dan Konsentrasi Pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Terhadap Laju Ekstraksi Besi**

Hasil ekstraksi besi menggunakan analisis Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) menunjukkan bahwa semakin besar penambahan konsentrasi pelarut, maka semakin besar hasil ekstraksi yang diperoleh. Demikian juga dengan semakin tinggi suhu ekstraksi maka semakin besar juga hasil ekstraksi yang diperoleh



Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi Pelarut Dan Variasi Temperatur Terhadap Hasil Ekstraksi Besi

Hasil Gambar 2 menunjukkan bahwa ekstraksi besi paling efektif terjadi pada suhu 120°C dengan asam sulfat 15%. Terdapat peningkatan hasil ekstraksi besi seiring dengan kenaikan konsentrasi asam sulfat. Pada konsentrasi 15% diperoleh hingga 7,62% besi yang berhasil diekstraksi. Pernyataan ini mengacu pada studi terdahulu oleh (Prihastuti, 2021) bahwa konsentrasi asam yang tinggi dan suhu yang tinggi meningkatkan kemampuan pelarut untuk melepaskan besi dari fly ash dan mempercepat reaksi kimia. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa semakin tinggi konsentrasi, semakin banyak ion Fe yang terikat dan bereaksi dengan asam sulfat. Besi (III) oksida yang terkandung di fly ash akan bereaksi dengan asam sulfat membentuk Besi (III) sulfat. Berdasarkan Anggia & Suprpto (2015), dengan meningkatnya konsentrasi asam, jumlah logam yang larut juga meningkat. Ini terjadi karena semakin banyak ion H<sup>+</sup> dari asam sulfat yang terdifusi, sehingga logam Fe dalam fly ash berinteraksi dengan ion sulfat untuk membentuk Besi (III) sulfat.

Peningkatan temperatur reaksi akan meningkatkan efisiensi ekstraksi. Gambar 2 menunjukkan bahwa pemecahan besi meningkat seiring naiknya temperatur dari 85 °C sampai 120 °C. Laju ekstraksi pada temperatur reaksi 120 °C adalah 7,62%. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Li et al., 2011) dengan variabel temperatur (180–220) °C, diperoleh laju ekstraksi terbesar adalah 76.2% pada temperatur 220 °C.

## SIMPULAN

Pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 15% dan temperatur ekstraksi 120°C menghasilkan laju ekstraksi alumina dan besi sebesar 2,80% dan 7,62%. Perubahan temperatur dengan variasi suhu (85–120 °C) dalam proses ekstraksi tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Konsentrasi asam sulfat sebagai pelarut memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap perolehan hasil ekstraksi alumina dan besi dibandingkan dengan suhu (85–120 °C).

## DAFTAR RUJUKAN

- Anggia, D. M., & Suprpto, S. (2015). Pemurnian Silika Pada Abu Layang Dari Pembangkit Listrik di Paiton (PT YTL) Dengan Pelarutan Asam Klorida dan Aqua regia. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 5(2), 130262.
- Aswan, A., Syakdani, A., Manggala, A., Monika, I., Dwi Cendani, M., Kimia, T., & Negeri Sriwijaya Jl Sriwijaya, P. (2021). CONVERSION OF LDPE PLASTIC WASTE TO LIQUID FUEL USING ALUMINIUM OXIDE AND ZEOLITE CATALYSTS IN THE MULTISTAGE SEPARATOR. *Jurnal Kinetika*, 12(02), 51–57. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Bai, G., Qiao, Y., Shen, B., & Chen, S. (2011). Thermal decomposition of coal fly ash by concentrated sulfuric acid and alumina extraction process based on it. *Fuel Processing Technology*, 92(6), 1213–1219. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.01.017>
- Fan, R., & Zhang, W. (2024). Research on Comprehensive Utilization of Efficient Extraction of Aluminum Oxide from Fly Ash. *International Core Journal of Engineering*, 10(7), 31–36.

- Febrina, L., & Ayuna, A. (2015). Studi penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air tanah menggunakan saringan keramik. *Jurnal Teknologi*, 7(1), 35–44.
- Hartomo, J., Anton, 1992, *Mengenal Lapisan Logam*, Yogyakarta: Andi Offset.
- Jin, X., Huo, M., Wei, Q., & Ren, X. (2025). A new extraction mechanism in sulfuric acid media for the recovery of aluminum. *Separation and Purification Technology*, 353, 128452.
- Ketaren, S., 1986, 'Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan', Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Khasanah, L., & Budiono, A. (2022). Pengaruh penambahan FABA terhadap sifat fisik dan derajat keasaman (pH) kompos. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(3), 460–468.
- Li, L., Wu, Y., Liu, Y., & Zhai, Y. (2011). Extraction of alumina from coal fly ash with sulfuric acid leaching method. *The Chinese Journal of Process Engineering*, 11(2).
- Malau, A., Hendrawan, A., Albar, A., Lilih, H., & Ardiansah, A. (2024). Pemanfaatan Limbah Fly Ash Sebagai Koagulan Dalam Pengolahan Air Melalui Ekstraksi Aluminium Dan Besi Menggunakan Metode Kalsinasi–Pengasaman. *JNSTA ADPERTISI JOURNAL*, 4(1), 41–46.
- Matjie, R. H., Bunt, J. R., & Van Heerden, J. H. P. (2005). Extraction of alumina from coal fly ash generated from a selected low rank bituminous South African coal. *Minerals Engineering*, 18(3), 299–310.
- Nayak, N., & Panda, C. R. (2010). Aluminium extraction and leaching characteristics of Talcher Thermal Power Station fly ash with sulphuric acid. *Fuel*, 89(1), 53–58.
- Prihastuti, H. (2021). Pengaruh penggunaan asam terhadap pemisahan logam dari abu layang batubara sebagai bahan dasar sintesis zeolit. *Jurnal Kartika Kimia*, 4(1). <https://doi.org/10.26874/jkk.v4i1.72>
- Rofi Taufiqurrahman, Shalaho Dina Devy, Windhu Nugroho, Agus Winarno, & Henny Magdalena. (2024). Optimalisasi Penggunaan Fly Ash Untuk Reduksi Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Serta Peningkatan pH Dalam Air Asam Tambang. *Manufaktur: Publikasi Sub Rumpun Ilmu Keteknikan Industri*, 2(3), 66–75. <https://doi.org/10.61132/manufaktur.v2i3.470>
- Sahoo, P. K., Kim, K., Powell, M. A., & Equeenuddin, S. M. (2016). Recovery of metals and other beneficial products from coal fly ash: a sustainable approach for fly ash management. *International Journal of Coal Science & Technology*, 3(3), 267–283. <https://doi.org/10.1007/s40789-016-0141-2>
- Seidel, V. (2006). Initial and bulk extraction. In *Natural products isolation* (pp. 27–46). Springer.
- Shemi, A., Mpana, R. N., Ndlovu, S., Van Dyk, L. D., Sibanda, V., & Seepe, L. (2012). Alternative techniques for extracting alumina from coal fly ash. *Minerals Engineering*, 34, 30–37.
- Su, S. Q., Yang, J., Ma, H. W., Jiang, F., Liu, Y. Q., & Li, G. (2011). Preparation of ultrafine aluminum hydroxide from coal fly ash by alkali dissolution process. *Integrated Ferroelectrics*, 128(1), 155–162.
- Tan, H., Liu, Y., Fan, B., Xu, K., Zheng, S., & Zhang, Y. (2025). Separation and recovery of molybdenum, vanadium and nickel from a sulfuric acid-leaching solution. *Separation and Purification Technology*, 361, 131611.
- Valeev, D., Mikhailova, A., & Atmadzhidi, A. (2018). Kinetics of Iron Extraction from Coal Fly Ash by Hydrochloric Acid Leaching. *Metals*, 8(7), 533. <https://doi.org/10.3390/met8070533>
- Wardhani, E. K. A., Sutisna, M., & Dewi, A. H. (2012). Evaluasi pemanfaatan abu terbang (fly ash) batubara sebagai campuran media tanam pada tanaman tomat (*Solanum lycopersicum*). *Jurnal Itenas Rekayasa*, 16(1).
- Yao, Z. T., Xia, M. S., Sarker, P. K., & Chen, T. (2014). A review of the alumina recovery from coal fly ash, with a focus in China. *Fuel*, 120, 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.12.003>