

Studi Pengolahan Limbah *Fly Ash* Batubara dalam Upaya Peningkatan Konsentrasi Silika Menggunakan Asam Sitrat

Chinara Abinawa¹, Alieftiyani Paramita Gobel²

^{1,2}Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km. 32 Indralaya, Sumatera Selatan, Indonesia

E-mail: ¹chinara.abinawa@gmail.com. ²*alieftiyanigobel@gmail.com.

Abstract

The combustion of coal produces two types of waste, namely light ash (Fly Ash) and heavy ash (Bottom Ash). Fly ash is the waste generated by power plants, contributing to environmental pollution. According to data from the Ministry of Industry of the Republic of Indonesia in 2022, the current amount of fly ash and bottom ash in Indonesia continues to increase in line with the development and growth of the manufacturing industry as well as the increasing demand for electricity supplied by power plants. The combined fly ash and bottom ash generated from power plants alone in 2021 are estimated to reach 12 million tons, and it is projected to increase to 16.2 million tons by 2027. This poses a problem because the reused amount of fly ash and bottom ash is very small, necessitating the storage and/or landfilling of the remaining waste. The quantity of fly ash and bottom ash continues to grow without proper management, potentially contaminating the environment due to fine particles from coal combustion that become airborne. One way to utilize the silica contained in coal fly ash is through a hydrometallurgical extraction process. This process involves extracting metal compounds from ore using liquids such as acid. In the extraction process of silica from coal fly ash, pure citric acid is used as the extraction liquid. This process has several advantages compared to conventional processing methods, such as sintering or roasting, as it is more cost-effective, efficient, and environmentally friendly.

Keywords: Fly Ash, Citric Acid, Silica.

Abstrak

Pembakaran batubara menghasilkan dua jenis limbah yaitu abu ringan (Fly Ash) dan abu berat (Bottom Ash). Abu terbang (fly ash) merupakan limbah yang dihasilkan oleh PLTU yang berkontribusi pencemaran lingkungan (Jadhao, 2008). Menurut data Kementerian Perindustrian republik Indonesia pada tahun 2022, Saat ini jumlah fly ash dan bottom ash di Indonesia terus bertambah seiring dengan perkembangan dan pertumbuhan industri manufaktur serta meningkatnya kebutuhan listrik yang dipasok PLTU. fly ash dan bottom ash yang dihasilkan dari PLTU saja pada tahun 2021 diperkirakan mencapai 12 juta ton dan pada tahun 2027 diproyeksikan menjadi sebesar 16,2 juta ton. Hal ini menimbulkan permasalahan karena fly ash dan bottom ash yang dimanfaatkan kembali jumlahnya sangat sedikit sehingga sisanya harus disimpan dan/atau ditimbun (landfill). fly ash dan bottom ash jumlahnya terus bertambah dan tidak Ada penanganan yang baik, maka abu tersebut berpotensi mengotori lingkungan yang disebabkan oleh partikel halus sisa pembakaran batubara yang ikut terbang di udara. Salah satu cara untuk memanfaatkan silika yang terkandung dalam fly ash batubara adalah dengan menggunakan proses ekstraksi hidrometalurgi. Proses ini melibatkan ekstraksi senyawa-senyawa logam dari bijih dengan menggunakan cairan seperti asam. Pada proses ekstraksi silika dari fly ash batubara, asam sitrat murni digunakan sebagai cairan ekstraksi. Proses ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode pengolahan konvensional, seperti proses sintering atau roasting, di mana prosesnya lebih murah, efisien, dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: Fly Ash, Asam Sitrat, Silika.

1. PENDAHULUAN

Pembakaran batubara menghasilkan dua bentuk limbah, yakni abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Abu terbang (*fly ash*) adalah hasil samping dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang berkontribusi terhadap polusi lingkungan (Jadhao, 2008). Menurut data Kementerian Perindustrian republik Indonesia pada tahun 2022, Saat ini jumlah *fly ash* dan *bottom ash* di Indonesia terus bertambah seiring dengan perkembangan dan pertumbuhan industri manufaktur serta meningkatnya kebutuhan listrik yang dipasok PLTU. Jumlah *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) pada tahun 2021 diperkirakan mencapai 12 juta ton, dan diperkirakan akan meningkat menjadi sekitar 16,2 juta ton pada tahun 2027. Situasi ini menghadirkan masalah karena pemanfaatan kembali *fly ash* dan *bottom ash* sangat terbatas, sehingga sisa limbah harus disimpan atau dibuang di tempat pembuangan (*landfill*). *fly ash* dan *bottom ash* jumlahnya terus bertumbuh dan tidak Ada penanganan yang baik, maka abu tersebut berpotensi mengotori lingkungan yang disebabkan oleh partikel halus sisa pembakaran batubara yang ikut terbang di udara.

Fly ash batubara merupakan limbah padat yang dihasilkan dalam jumlah yang cukup besar dari proses pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Limbah ini mengandung silika dalam jumlah yang signifikan, sekitar 40-60%, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam berbagai industri seperti kaca, semen, keramik, dan elektronik.

Salah satu cara untuk memanfaatkan silika yang terkandung dalam *fly ash* batubara adalah dengan menggunakan proses ekstraksi hidrometalurgi. Proses ini melibatkan ekstraksi senyawa-senyawa logam dari bijih dengan menggunakan cairan seperti asam. Pada proses ekstraksi silika dari *fly ash* batubara, asam sitrat murni digunakan sebagai cairan ekstraksi. Proses ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode pengolahan konvensional, seperti proses *sintering* atau *roasting*, di mana prosesnya lebih murah, efisien, dan ramah lingkungan.

Meskipun, proses ekstraksi *hidrometalurgi* telah banyak digunakan dalam pengolahan bijih logam, dan pengaruh asam sitrat murni pada proses ekstraksi silika dari *fly ash* batubara belum banyak diteliti. Oleh karena itu, penelitian ini akan dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh asam sitrat murni pada proses ekstraksi *hidrometalurgi* untuk menghasilkan silika dari *fly ash* batubara. Selain itu, penelitian ini juga akan menentukan kadar silika yang dapat dihasilkan dari *fly ash* batubara melalui proses ekstraksi *hidrometalurgi* yang telah dioptimalkan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan selama 5 bulan dimulai dengan pengambilan sampel *fly ash* di PLTU PT Bukit Asam pada tanggal 24 April 2023 kemudian dilanjutkan pada Laboratorium Pendidikan Kimia Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan dimulai pada tanggal 14 Juni sampai 24 Agustus 2023 kemudian sampel diuji pada Laboratorium Kimia Analis dan Instrumentasi Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya.

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* batubara yang diambil langsung dari PLTU PT Bukit Asam yang berlokasi di Tanjung Enim Provinsi Sumatera Selatan.

Perjalanan menuju PLTU ditempuh dengan jarak 197 km dari Kota Palembang menggunakan kendaraan bermotor atau mobil dengan perkiraan waktu 4 jam lebih 9 menit.

Metode penelitian yang dilakukan diawali dengan menimbang sample *fly ash* sebanyak 50 gram, menimbang NaOH 10 M dan Asam Sitrat 6 M



Gambar 1. Penimbangan
Sumber gambar: Dok. Penulis

Kemudian Asam Sitrat dan NaOH masing-masing ditambahkan akua demineralisasi dan dilakukan pengadukan menggunakan batang pengaduk hingga larutan tercampur rata, setelah itu dimasukan kedalam gelas ukur, di campurkan asam sitrat kedalam *fly ash* lalu di diamkan selama 24 jam.



Gambar 2. Pencampuran larutan kedalam *fly ash*

Setelah didiamkan selama 24 jam lalu sampel ditambahkan NaOH 10 M dan diaduk Kembali hingga semua tercampur dengan rata dan dimasukan kedalam wadah botol berukuran 500 mL.

Lalu disaring menggunakan kertas saring *whattman* no 41 kertas saring ini digunakan karena memiliki kerapatan yang tinggi sehingga sampel halus dapat tersaring dengan baik, lalu di saring menggunakan bantuan pompa vakum, penyaringan ini dilakukan sambil membilas sampel dengan akua demineralisasi agar mengurangi kadar asam yang terdapat pada sampel.



Gambar 3. Penyaringan dan pembilasan sampel

Setelah sampel disaring dan dibilas, sampel dimasukkan kedalam wadah besi untuk dimasukkan kedalam oven yang sudah diatur suhunya pada 110 derajat *Celsius* dan didiamkan selama 8 jam untuk mengeringkan sampel *fly ash* yang masih basah.



Gambar 4. Pengeringan menggunakan oven

Lalu sampel diangkat dari oven dan dibiarkan terlebih dahulu, lalu dimasukkan kedalam cawan penumbuk untuk dihaluskan karena sampel yang keluar dari oven berbentuk padat agak keras sehingga perlu dilakukan penumbukan dan penghalusan.



Gambar 5. Penghalusan sampel

Setelah sampel di haluskan, dimasukkan kedalam plastik sampel dan dilakukan pengujian dengan uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui kadar mineral yang terkandung di dalam sampel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi *fly ash* terdiri dari partikel-partikel halus yang terdiri dari berbagai oksida, termasuk Oksida Silikon (SiO_2), Oksida Alumina (Al_2O_3), Oksida Besi (Fe_2O_3), dan Kalsium Oksida (CaO). Selain itu, terdapat pula mineral-mineral lain yang turut menyusun komposisi *fly ash*. Oleh karena itu, *fly ash* batubara menjadi sumber yang penting dalam industri konstruksi dan material bangunan, karena memiliki sifat-sifat yang menguntungkan seperti kemampuan untuk memperbaiki sifat fisik dan mekanik beton serta mengurangi kebutuhan akan bahan baku alami. Selain itu, penggunaan *fly ash* juga dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari pembuangan limbah batubara.

Karakterisasi dari *fly ash* batubara yang berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menunjukkan bahwa material ini memiliki warna hitam kecoklatan yang khas, dan merupakan partikel-partikel halus yang berbentuk serbuk halus. Partikel-

partikel tersebut sangat kecil sehingga *fly ash* memiliki tekstur yang lembut, hampir tidak terlihat secara langsung. Selain itu, *fly ash* ini juga memperlihatkan struktur yang tidak beraturan dan kurang teratur dalam susunannya. Selain itu, penggunaan *fly ash* juga berkontribusi dalam upaya mengurangi dampak lingkungan dari pembuangan limbah batubara.



Gambar 6. Karakteristik *Fly ash* batubara

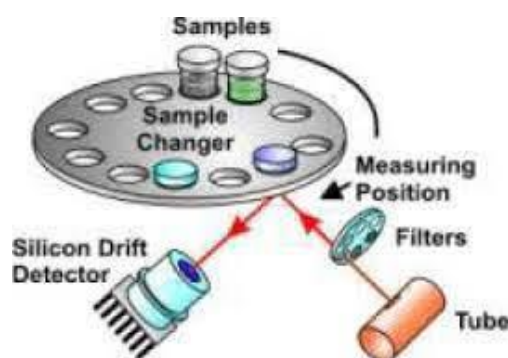
Fly Ash yang berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) umumnya dilakukan pengujian menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). Metode ini dipilih karena sifatnya yang non-destruktif, memungkinkan analisis komposisi kimia dari *fly ash* dengan tidak merusak struktur atau sifat lain dari sampel. Proses ini dilakukan dengan menembakkan sinar-X tingkat energi tinggi kepada sampel, yang pada gilirannya menyebabkan atom-atom dalam sampel menghasilkan fluoresensi sinar-X dengan energi yang lebih rendah. Hasil fluoresensi sinar-X ini kemudian diukur secara akurat untuk menentukan elemen-elemen dan konsentrasi mereka dalam sampel *fly ash*. Metode XRF menjadi sangat penting dalam karakterisasi *fly ash* karena memberikan informasi yang mendetail mengenai komposisi kimia dari material tersebut, memungkinkan para peneliti dan ahli industri untuk memahami dan memanfaatkan *fly ash* secara optimal dalam berbagai aplikasi. Sehingga, penggunaan metode ini tidak hanya memajukan pemahaman ilmiah tentang *fly ash*, tetapi juga memperluas potensinya dalam pengembangan teknologi dan industri. *Fly ash* batubara yang masih belum dilakukan pengujian atau masih dalam keadaan asli dilakukan pengujian XRF atau *x-ray fluorescence* untuk melihat persentase kandungan logam awal yang terdapat dalam *fly ash* batubara sebelum dilakukan pengujian data tersebut dilampirkan pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil *fly ash* batubara sebelum dilakukan pengujian

No	Unsur	Konsentrasi
1	SiO ₂	50,929 ± 0,154%
2	Al ₂ O ₃	27,837 ± 0,147%
3	Fe ₂ O ₃	11,291 ± 0,037%
4	CaO	3,338 ± 0,022%
5	SO ₃	2,788 ± 0,030%
6	MgO	1,316 ± 0,091%
7	TiO ₂	1,025 ± 0,013%
8	K ₂ O	0,708 ± 0,021%
9	P ₂ O ₅	0,303 ± 0,023%
10	Na ₂ O	0,302 ± 0,278%
11	Mn ₃ O ₄	0,163 ± 0,006%

Tabel diatas merupakan hasil dari tes XRF (*x-ray fluorescence*) atau merupakan salah satu metode analisis untuk mengetahui komposisi unsur/elemen pada suatu bahan/sampel secara tepat. Penulis melakukan penelitian dengan menguji sampel untuk melihat dan menganalisa pada kenaikan serta perubahan pada Silika/SiO₂ yang dihasilkan dari *Fly Ash* yang dihasilkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau PLTU yang berlokasi di Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Hasil data pada Tabel 4.1 bisa dilihat bahwa sample *Fly Ash* sebelum dilakukan pengujian, Sampel diuji terlebih dahulu menggunakan metode XRF dan hasilnya adalah sebesar 50,929% kandungan SiO₂ atau Silika yang terkandung pada sampel *Fly Ash* sebelum dilakukan pengujian, kandungan terbanyak selanjutnya yaitu Al₂O₃ atau Aluminium Oksida yaitu sebesar 27,837% dan kandungan terbanyak pada sampel ini selanjutnya yaitu Fe₂O₃ atau Besi(III) Oksida sebanyak 11,291%, dan terdapat CaO atau kalsium oksida sebanyak 3,338% dan terdapat sebanyak 2,788% SO₃ atau belerang trioksida dan terdapat sebanyak 1,316% MgO atau magnesium oksida selanjutnya terdapat 1,025% mineral TiO₂ atau titanium dioksida dan terdapat juga K₂O atau oksida basa/kalium sebanyak 0,708% dan sebanyak 0,303% P₂O₅ atau fosfor pentoksida dan ada kandungan kecil dari Na₂O atau natrium oksida dan Mn₃O₄ atau mangan oksida fase housemanite sebanyak 0,302% dan 0,163%.

Metode yang dapat digunakan untuk menganalisis kandungan logam yaitu metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efekfotolistrik. Efekfotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Sehingga atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Skematik proses identifikasi dengan XRF tampak pada Gambar 7.



Gambar 7. Prinsip *X-Ray Fluorescence*
Sumber gambar: geochemsurvey.com

Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (discrete) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum discrete yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat *massif*, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis

unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi). Oleh karena itu, Peneliti tertarik untuk menggunakan Metode X-Ray Fluorescence (XRF) untuk menentukan komposisi kandungan Oksida Silikon (SiO_2), Oksida Alumina (Al_2O_3), Oksida Besi (Fe_2O_3), dan Kalsium Oksida (CaO) dan mineral lainnya yang terdapat pada sampel yang diuji, Hasil dari pengujian menggunakan metode X-Ray fluorescence dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil XRF *fly ash* setelah ditambahkan Asam Sitrat dan NaOH

No	Unsur	Konsentrasi
1	SiO_2	$47,076 \pm 0,247\%$
2	Al_2O_3	$22,221 \pm 0,177\%$
3	Na_2O	$12,863 \pm 0,381\%$
4	Fe_2O_3	$11,491 \pm 0,061\%$
5	SO_3	$2,241 \pm 0,031\%$
6	CaO	$1,473 \pm 0,018\%$
7	MgO	$1,023 \pm 0,098\%$
8	TiO_2	$0,990 \pm 0,014\%$
9	K_2O	$0,413 \pm 0,022\%$
10	Mn_3O_4	$0,140 \pm 0,006\%$
11	P_2O_5	$0,071 \pm 0,020\%$

Data pada table 2 menunjukan ketika *Fly Ash* yang dicampurkan Asam Sitrat kadar silika/ SiO_2 yang dihasilkan yaitu sebesar 47,076% dan mengandung 22,221% Al_2O_3 atau aluminium oksida (alumina) dan selanjutnya terdapat Na_2O atau natrium oksida sebanyak 12,863% dan terdapat juga Fe_2O_3 atau besi (III) oksida atau dikenal sebagai bijih besi atau maghemite sebanyak 11,491% dan selanjutnya adanya SO_3 atau belerang trioksida sebanyak yang terkandung yaitu 2,241% dan terkandung juga di dalam sampel sebanyak 1,473% CaO atau kalsium oksida dan selanjutnya sebanyak 1,023% MgO atau magnesium oksida dan terdapat juga TiO_2 atau titanium dioksida sebanyak 0,990% dan sebanyak 0,413% kandungan K_2O atau kalium hidroksida dan terdapat sedikit Mn_3O_4 atau mangan oksida fase housemanite dan P_2O_5 atau fosfor pentoksida masing-masing sebanyak 0,140% dan 0,071%.

Pengaruh Asam Sitrat yaitu untuk membantu mengangkat mineral-mineral yang terkandung pada sampel dan setelah mineral diangkat oleh Asam Sitrat lalu NaOH berfungsi untuk mengendapkan mineral yang sudah diangkat tadi. Persentase Silika/ SiO_2 yang terdapat pada sampel *fly ash* batubara sebelum dilakukan pengujian yaitu sebesar 50,929% dan persentase silika/ SiO_2 setelah dilakukan pengujian dengan dicampurkan asam sitrat yaitu sebesar 47,076% dimana mengalami penurunan kadar silika sebesar 3,853%.

Perendaman *fly ash* dengan asam sitrat berfungsi untuk melakukan aktivasi kimia serta membersihkan *fly ash* dari pengotor anorganik, meningkatkan rasio Si/Al dan menguatkan struktur di dalam katalis (Lestari,2013). lalu ditambahkan NaOH, NaOH bereaksi dengan Silika dan melarutkannya ke dalam filtrat, terjadinya penurunan kadar silika disebabkan karena asam sitrat merupakan asam lemah yang mana kurang efisien dalam mengikat silika yang terdapat di dalam *fly ash* batubara.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Karakteristik *fly ash* batubara adalah berwarna hitam kecoklatan dan mempunyai tekstur yang lembut dan halus dan memiliki partikel yang kecil, Dari data pengujian menggunakan metode XRF atau *X-Ray Fluorescence* didapatkan kandungan silika pada sampel *fly ash* batubara yang belum di lakukan percobaan didapatkan silika sebesar 50,929%.

Penggunaan konsentrasi 6 M Asam Sitrat dan NaOH 10 M yang dicampurkan kepada *fly ash* batubara dan di uji menggunakan metode XRF atau *X-Ray Fluorescence* mempengaruhi kadar silika yang dihasilkan yaitu sebesar 47,076%.

Silika yang dihasilkan dari *fly ash* batubara sebelum dilakukan pengujian yaitu sebesar 50,929% sedangkan kadar silika yang dihasilkan dari *fly ash* batubara yang dicampurkan oleh asam sitrat dan diuji menggunakan XRF yaitu sebesar 47,076%, Dimana mengalami penurunan kadar silika sebesar 3,853% dikarenakan asam sitrat merupakan asam lemah yang mana kurang efisien dalam mengikat silika yang terdapat didalam *fly ash* batubara.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterima kasih kepada Bapak Rosihan Pebriato S.T.,M.T. dan Ibu Eva Oktarinasari S.T.,M.T. sebagai dosen pembimbing, serta Ibu Alieftiyani Paramitha Gobel S.T.,M.T. selaku pembimbing lapangan yang sudah memberikan waktu, pikiran, kesempatan, mendukung dalam pengambilan data, mengizinkan dalam menggunakan data serta dapat diajak diskusi dalam penelitian ini.

REFERENCES

- A costa, Dafi . (2009). Pemanfaatan Fly Ash (abu terbang) Dari Pembakaran Batubara Pada PLTU Suralaya Sebagai Bahan Baku Pembuatan Refraktori Cor. *Jurnal teknologi mineral dan batubara*.
- Agung, G.F., R. F. Muhammad, dan M. Primata. (2013). Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi dengan Pelarut KoH. *Jurnal Konversi*. 2(1): 28 – 30.
- Amrulloh, H. (2014). Sintesis Zeolit Berbasis Silika Sekam Padi dengan Metode Elektrokimia Sebagai Adsorben Rhodamin B. Skripsi. Departemen Kimia FMIPA Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hlm. 13 – 52.
- Cotton dan Wilkinson. (1989). Kimia Anorganik Dasar. *Terjemahan Sahati Sunarto dari Basic Inorganic Chemistry* (1976). Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia Press.
- Harasa Ramadhany, Gunawan Tanzil.(2018). “*Pengaruh Penggunaan Fly Ash Dan Waste Glass Powder Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran Self-Compacting Concrete Tanpa Curing*.” Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Jumaeri, Astuti, W. dan Lestari, W.T.P., (2007), Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara Secara Alkali Hidrotermal, *jurnal Reaktor*, Vol. 11, No. 1, UNES, hal. 38-44.
- Keenan,C.W.,Kleinfelter,D.C.,dan Wood,J.H. (1992). Ilmu Kimia Untuk Universitas. Edisi keenam. Jilid 2. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Kirk, R.E. and Othmer, D.F., (1979), *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed., vol 15-20, The Inter Science Encyclopedia, Inc., New York Nck,

- R.A. Akram, M. Asof, Mukiat. (2020). “*Analisi Ekstraksi Dan Karakteristik Mineral Silika Dari Limbah Padat Fly Ash Dan Bottom Ash Hasil Pembakaran Batubara Menggunakan Metode Asam KOH Dan H₂SO₄*.” Indralaya: Universitas Sriwijaya.
- Retnosari, Agustin. (2013) *Ekstraksi dan penentuan kadar silika (sio₂) hasil ekstraksi dari abu terbang (fly ash) batubara*. jurusan kimia FMIPA universitas jember.
- Vogel. (1985). Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro. Edisi kelima. Bagian I. PT Kalman Pustaka: Jakarta.
- Z. Helwani, MR Othman, N. Aziz, WJN Fernando, J. Kim, Teknologi untuk produksi biodiesel dengan teknik green catalytic: review, Fuel Proses Technol. 90 (2009) 1502-1514 .