

SKRIPSI

**ANALISIS PENINGKATAN KADAR SILIKA (SiO_2) PADA
BOTTOM ASH BATUBARA MENGGUNAKAN ASAM
SULFAT DI PLTU PT. BUKIT ASAM TBK., TANJUNG ENIM
SUMATERA SELATAN**



Oleh:

MUHAMMAD RAIHAN CHANDRA PUTRA

NIM. 03021281924035

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN DAN GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

SKRIPSI

ANALISIS PENINGKATAN KADAR SILIKA (SiO_2) PADA BOTTOM ASH BATUBARA MENGGUNAKAN ASAM SULFAT DI PLTU PT. BUKIT ASAM TBK., TANJUNG ENIM SUMATERA SELATAN

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana
Teknik pada Jurusan Pertambangan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**



Oleh:

MUHAMMAD RAIHAN CHANDRA PUTRA

NIM. 03021281924035

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN DAN GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENINGKATAN KADAR SILIKA (SiO_2) PADA BOTTOM ASH BATUBARA MENGGUNAKAN ASAM SULFAT DI PLTU PT. BUKIT ASAM TBK., TANJUNG ENIM SUMATERA SELATAN

SKRIPSI

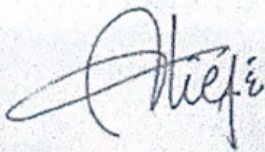
Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Pertambangan dan Geologi
Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh :

MUHAMMAD RAIHAN CHANDRA PUTRA
03021281924035

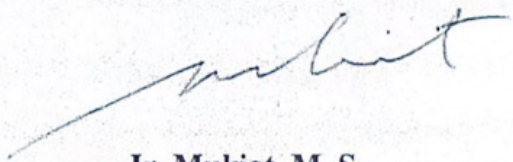
Palembang, Mei 2025

Pembimbing I



Ir. Alieftiyani Paramita Gobel, S.T., M. T.
NIP. 199308212019032018

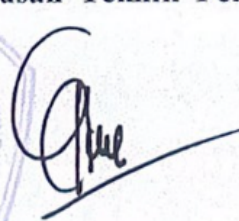
Pembimbing II



Ir. Mukiat, M. S.
NIP. 195811221986021002

Menyetujui:

Ketua Jurusan Teknik Pertambangan




Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S., CP., IPU., ASEAN. Eng., APEC.Eng., ACPE.
NIP.196902091997032001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : MUHAMMAD RAIHAN CHANDRA PUTRA
NIM : 03021281924035
Judul : Analisis Peningkatan Kadar Silika (SiO_2) pada Bottom
Ash Batubara Menggunakan Asam Sulfat Di PLTU PT.
Bukit Asam Tbk., Tanjung Enim Sumatera Selatan

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi oleh Tim Pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam laporan Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari siapapun.



Palembang, Mei 2025



M. Raihan Chandra Putra

NIM. 03021281924035

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : MUHAMMAD RAIHAN CHANDRA PUTRA
NIM : 03021281924035
Judul : Analisis Peningkatan Kadar Silika (SiO_2) pada Bottom
Ash Batubara Menggunakan Asam Sulfat Di PLTU PT.
Bukit Asam Tbk., Tanjung Enim Sumatera Selatan

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari siapapun.

Palembang, Mei 2025



M. Raihan Chandra Putra

NIM. 03021281924035

RIWAYAT HIDUP



Muhammad Raihan Chandra Putra, Anak Laki-laki yang lahir pada 12 Maret 2002. Anak kedua dari 3 bersaudara dari pasangan Teddy Chandra dan Sarah Namira. Memiliki saudari bernama Nabila Asyura Chandra Putri. Mengawali Pendidikan di SD Iba Palembang pada tahun 2007. Pada tahun 2015 melanjutkan Pendidikan SMP di SMP IT Izzuddin Palembang dan SMA di SMAN 1 Palembang pada tahun 2016-2019. Penulis melanjutkan Pendidikan di Universitas Sriwijaya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pertambangan melalui Jalur SBMPTN pada tahun 2019. Selama menjadi Mahasiswa di Universitas Sriwijaya penulis aktif dalam kegiatan organisasi IATMI SM UNSRI (Ikatan Ahli Perminyakan Indonesia Seksi Mahasiswa Universitas Sriwijaya) sebagai anggota di tahun 2020-2022.

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

Kedua orang tua tercinta, Ayah saya Teddy Chandra dan Ibu saya Sarah Namira,
Saudari saya Nabila Asyura.

Terima kasih keluarga saya terutama Ibu saya terkasih atas dukungan dan doa yang tiada henti, kasih sayang dan pengorbanan yang telah diberikan sehingga perjuangan yang saya lalui bisa berjalan dengan baik dan lancar. Terima kasih untuk semua hal yang sudah diberikan untuk saya selama ini.

Dosen Pembimbing saya yang telah banyak membantu dan memberi dukungan baik moril maupun materi serta telah sabar dalam membimbing saya, semoga Tuhan membalas kebaikan yang telah diberikan.

Teman-teman seperjuangan saya yang telah banyak membantu saya.

Semoga silaturahmi kita semua tetap terjalin untuk di masa depan.

Terima kasih semuanya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini, yang berjudul “Analisis Peningkatan Kadar Silika (SiO_2) pada Bottom Ash Batubara Menggunakan Asam Sulfat Di PLTU PT. Bukit Asam Tbk., Tanjung Enim Sumatera Selatan” yang dilaksanakan pada tanggal 24 April 2023 hingga tanggal 24 Agustus 2023.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Alieftiyani Paramita Gobel, S.T., M. T. selaku pembimbing pertama dan Ir. Mukiat, M. S. selaku pembimbing kedua. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada seluruh pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, antara lain :

1. Prof. Dr. Taufik Marwa, SE. M.Si. sebagai Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Prof. Dr. Ir. Bakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S., CP., IPU., ASEAN. Eng., APEC. Eng., ACPE. serta Ir. Rosihan Pebrianto, S.T., M.T. sebagai Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya.
4. Ir. Alieftiyani Paramita Gobel, S.T., M.T. sebagai pembimbing lapangan dan pembimbing pertama dalam skripsi ini, beserta seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmunya.
5. Seluruh pihak terkait yang telah membantu sehingga dapat diselesaikan tugas akhir ini dengan lancar.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam laporan tugas akhir ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif agar dapat memperbaiki dan memperkaya wawasan. Penulis berharap laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat dan pemahaman bagi semua yang terlibat.

Palembang, Mei 2025

Penulis

RINGKASAN

ANALISIS PENINGKATAN KADAR SILIKA (SiO_2) PADA BOTTOM ASH BATUBARA MENGGUNAKAN ASAM SULFAT

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Mei 2025

Muhammad Raihan Chandra Putra; Jurusan Teknik Pertambangan; Fakultas Teknik; Universitas Sriwijaya

Analysis of Silica Concentrate in The Processing of Coal Bottom Ash Waste with Sulfuric Acid Using The X-Ray Fluorescence (XRF) Method at the Electric Steam Power Plant PT. Bukit Asam

xv + 49 halaman, 11 gambar, 5 tabel, 3 lampiran

RINGKASAN

Pembakaran batubara dalam industri pembangkit listrik menghasilkan limbah padat yang disebut *bottom ash*. *Bottom ash* merupakan residu yang tersisa setelah pembakaran batubara. Dalam satu hari limbah *bottom ash* yang dikeluarkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di PT. Bukit Asam, Tbk., sebanyak 250 ton. Hal tersebut akan menimbulkan berbagai masalah sehingga diperlukan pengolahan limbah. Karena *bottom ash* disusun oleh komponen kimia silika (SiO_2), dapat dilakukan proses ekstraksi silika. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan asam sulfat dalam mengikat dan mengekstraksi silika dari *bottom ash*. Pengambilan sampel dilakukan secara acak atau *grab*. Sampel dipreparasi terlebih dahulu sebelum kemudian diuji menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). Ekstraksi silika dengan asam sulfat menggunakan parameter konsentrasi pelarut NaOH dengan variasi 3M; 6M dan 8M. Waktu yang digunakan untuk mengeringkan sampel yakni 8 jam dan dengan suhu 110°C menggunakan oven. Sampel kontrol *bottom ash* memiliki kandungan silika sebesar 64,141%, sampel *bottom ash* 3M, 6M dan 8M mengalami peningkatan konsentrasi silika dimana masing-masing persentasenya yakni 75,512%, 78,512% dan 79,436%. Dari data pengujian diketahui bahwa asam sulfat merupakan asam kuat sehingga mampu mengikat silika dari *bottom ash* dengan efisien dan semakin tinggi molaritas NaOH yang digunakan maka semakin tinggi pula persentase kadar silika yang dihasilkan.

Kata kunci : asam sulfat, *bottom ash*, silika (SiO_2), *X-Ray Fluorescence* (XRF).

SUMMARY

ANALYSIS OF INCREASING SILICA (SiO₂) CONTENT IN BOTTOM ASH COAL USING SULFURIC ACID

Scientific writing in the form of Thesis, May 2025

Muhammad Raihan Chandra Putra; Department of Mining Engineering; Engineering Faculty; Sriwijaya University

Analisis Konsentrat Silika Pada Pengolahan Limbah *Bottom Ash* Batubara Dengan Asam Sulfat Menggunakan Metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) Di PLTU PT. Bukit Asam

xv + 49 pages, 11 pictures, 5 tables, 3 attachments

SUMMARY

Coal burning in the power generation industry produces solid waste called bottom ash. In one day bottom ash waste released by the Electric Steam Power Plant at PT. Bukit Asam, Tbk., is approximately as much as 250 tons. This amount of coal bottom ash waste will cause various problems, and will require waste processing. Because bottom ash is composed of the chemical component silica (SiO₂), a silica extraction process can be carried out as an example of waste processing. This research aims to analyze the ability of sulfuric acid to bind and extract silica from bottom ash using the X-Ray Fluorescence (XRF) method. Extraction of silica with sulfuric acid using NaOH solvent concentration parameters with variations of 3M; 6M and 8M. The bottom ash control sample had a silica content of 64.141%, the 3M, 6M and 8M bottom ash samples experienced an increase in silica concentration where the respective percentages were 75.512%, 78.512% and 79.436%. From the data that was gathered, it can be concluded that sulfuric acid is a strong acid and it is able to bind silica from bottom ash efficiently.

Keywords : bottom ash, silica (SiO₂), sulfuric acid, X-Ray Fluorescence (XRF).

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
RIWAYAT PENULIS.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 <i>Bottom Ash</i> Batubara	4
2.1.1. Sifat Fisika dan Kimiawi pada <i>Bottom Ash</i>	5
2.2 Silika (SiO ₂).....	5
2.3. Sifat Fisika dan Kimiawi pada Silika (SiO ₂).....	6
2.3.1. Sifat Fisika Silika (SiO ₂).....	6
2.3.2. Sifat Kimia Silika (SiO ₂).....	6
2.4. Ekstraksi Silika dari <i>Bottom Ash</i>	6
2.4.1. Ekstraksi Fisik Silika dari <i>Bottom Ash</i>	7
2.4.2. Ekstraksi Kimia Silika dari <i>Bottom Ash</i>	8
2.5 Pengaruh Parameter terhadap Ekstraksi Silika.....	8
2.5.1. Parameter Suhu	8

2.5.2. Parameter Konsentrasi	9
2.5.3. Parameter Waktu Pengujian.....	9
2.6. Metode Pengujian.....	10
2.6.1. Pengambilan Sampel.....	10
2.6.2. <i>Mixing Process</i>	10
2.6.2. Metode <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	10
BAB 3 METODE PENELITIAN	12
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2. Jadwal Penelitian	13
3.3. Pengambilan Data.....	13
3.3.1. Data Primer	13
3.3.2. Data Sekunder.....	13
3.4. Alat dan Bahan	14
3.4.1 Alat.....	14
3.4.2 Bahan	14
3.5. Prosedur Penelitian.....	14
3.6. Analisis Sampel dan Pengolahan Data	17
3.7. Pembahasan	18
3.8. Kesimpulan dan Saran.....	18
3.9. Diagram Aliran Penelitian.....	19
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1. Analisis Karakterik dan Kandungan <i>Bottom Ash</i>	20
4.2. Pengaruh Peningkatan Kadar Silika pada <i>Bottom Ash</i> terhadap Konsentrasi Asam Sulfat	22
4.2.1 Pengaruh Asam Sulfat pada Variasi NaOH 3M	23
4.2.2 Pengaruh Asam Sulfat pada Variasi NaOH 6M.....	24
4.2.3 Pengaruh Asam Sulfat pada Variasi NaOH 8M.....	25
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	28
5.1. Kesimpulan.....	28
5.2. Saran.....	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ilustrasi prinsip kerja dari <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	11
Gambar 3.1. Peta Lokasi Kesampaian Pengambilan Sampel <i>Bottom Ash</i> Batubara di PTBA, Tanjung Enim, Sumatera Selatan.....	12
Gambar 3.2. (a). <i>Pengujian laboratorium</i> , (b). <i>pengambilan sampel</i>	14
Gambar 3.3. Pengayakan <i>Bottom Ash</i> (a). proses pengayakan, (b). <i>bottom ash</i> yang telah diayak	14
Gambar 3.4. Penimbangan bahan (a). NaOH, (b). <i>bottom ash</i> , (c). asam sulfat (H ₂ SO ₄) dengan menggunakan neraca analitis.....	15
Gambar 3.5. Homogenisasi larutan	15
Gambar 3.6. Pengukuran pH sampel menggunakan <i>portable pH meter</i>	16
Gambar 3.7. Proses penyaringan sampel dengan bantuan pompa vakum.....	16
Gambar 3.8. Proses pengeringan sampel menggunakan oven (a). sampel di dalam cawan porselen, (b). oven dengan suhu 110°C.....	17
Gambar 3.9. Sampel yang telah dimasukkan dalam plastik dimana (a). <i>bottom ash</i> 3M NaOH, (b). <i>bottom ash</i> 6M NaOH, (c). <i>bottom ash</i> 8M NaOH	17
Gambar 3.10. Diagram alir penelitian	19

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jadwal Penelitian.....	13
Tabel 4.1. Hasil XRF <i>Bottom Ash</i> Batubara Sebelum Pengujian.....	21
Tabel 4.2. Hasil XRF <i>Bottom Ash</i> ditambah dengan Asam Sulfat (H_2SO_4) dan NaOH 3M	23
Tabel 4.3. Hasil XRF <i>Bottom Ash</i> ditambah dengan Asam Sulfat (H_2SO_4) dan NaOH 6M	24
Tabel 4.4. Hasil XRF <i>Bottom Ash</i> ditambah dengan Asam Sulfat (H_2SO_4) dan NaOH 8M	25

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Pembuatan Larutan NaOH dan Asam Sulfat	33
A.1. Larutan NaOH 3M	33
A.2. Larutan NaOH 6M	33
A.3. Larutan NaOH 8M	33
A.4. Larutan Asam Sulfat.....	34
Lampiran B. Hasil Analisa Menggunakan <i>X-Ray Fluorescence</i>	35
B.1. Hasil analisa sampel <i>bottom ash</i> sebelum menggunakan alat X-Ray Fluorescence	35
B.2. Hasil analisa sampel <i>bottom ash</i> dengan NaOH 3M menggunakan alat X-Ray Fluorescence	35
B.3. Hasil analisa sampel <i>bottom ash</i> dengan NaOH 6M menggunakan alat X-Ray Fluorescence	36
B.4. Hasil analisa sampel <i>bottom ash</i> dengan NaOH 8M menggunakan alat X-Ray Fluorescence	36
Lampiran C. Spesifikasi Alat Pengujian XRF	37

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembakaran batubara dalam industri pembangkit listrik menghasilkan limbah padat yang disebut *bottom ash*. *Bottom ash* merupakan residu yang tersisa setelah pembakaran batubara dan terdiri dari berbagai komponen mineral seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi (Fe), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan komponen-komponen lainnya. Walaupun saat ini berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021 mengenai Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dinyatakan bahwa limbah *bottom ash* tidak tergolong sebagai limbah berbahaya dan beracun (B3), tetapi masih diperlukan pengolahan dan penanganan lebih lanjut. Produksi limbah *bottom ash* yang berlebih dan tidak diolah akan menyebabkan kerusakan lingkungan.

Komponen utama yang terkandung dalam *bottom ash* adalah silika. Silika memiliki potensi untuk berperan sebagai bahan baku berbagai industri, seperti industri kaca, semen, keramik, beton, elektronik, dan lain sebagainya. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian intensif telah dilakukan untuk memanfaatkan *bottom ash* sebagai sumber silika. Pemanfaatan *bottom ash* tidak hanya membantu mengurangi volume limbah padat yang dihasilkan oleh industri pembangkit listrik, tetapi juga dapat membatasi bahkan mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam terbatas. Namun, ekstraksi silika dari *bottom ash* membutuhkan proses yang efektif dan efisien.

Salah satu metode yang banyak dipelajari adalah penggunaan asam sulfat sebagai agen penglarut untuk menghasilkan silika dari *bottom ash*. Asam sulfat merupakan asam kuat yang dapat melarutkan silika dan memisahkannya dari komponen lainnya. Penggunaan asam sulfat dalam proses ekstraksi silika dapat menjadi alternatif yang menjanjikan karena sifat larutannya yang kuat dan ketersediaannya yang luas dalam industri. Konteks penelitian ini mencakup analisis keefektifan penggunaan asam sulfat dalam mendapatkan silika dari *bottom ash* batubara menjadi relevan.

Penelitian mengenai ekstraksi silika dari *bottom ash* sudah sejak lama dilakukan. Beberapa penelitian terdahulu mendapatkan hasil yang berbeda untuk setiap ekstrak dan konsentrasinya. Penelitian ini melakukan eksperimen untuk menganalisis sejauh mana efektivitas penggunaan asam sulfat dengan konsentrasi yang berbeda dalam proses ekstraksi silika dari *bottom ash*. Pemanfaatan *bottom ash* melalui ekstraksi silika pada penelitian ini diharapkan dapat berguna untuk pengembangan metode pengolahan limbah abu batubara menjadi sebuah produk yang dapat dikomersilkan. Data yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi peneliti-peneliti lain.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana komposisi silika pada *bottom ash* apabila digunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF)?
2. Bagaimana peningkatan kadar silika pada *bottom ash* dengan asam sulfat dan variasi konsentrasi NaOH 3M, 6M dan 8M?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki tujuan :

1. Menganalisis komposisi silika pada *bottom ash* dengan metode pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF).
2. Menganalisis pengaruh peningkatan kadar silika terhadap konsentrasi asam sulfat pada 3 konsentrasi pengujian dengan NaOH 3M, 6M dan 8M.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah :

1. Pengujian sampel hanya dilakukan dengan pengulangan 1 kali pada masing-masing variasi konsentrasi pengujian.

2. Suhu pengujian sampel digunakan sebesar 110°C.
3. Pengambilan sampel dilakukan secara acak atau *grab*.
4. Analisis data dilakukan berdasarkan parameter variasi konsentrasi dan temperatur yang telah ditentukan.
5. Metode *x-ray fluorescence* (XRF) digunakan untuk mengetahui komposisi kimia *bottom ash*.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. Memberikan informasi tentang efektivitas penggunaan asam sulfat dalam mendapatkan silika dari *bottom ash* batubara.
2. Meningkatkan nilai ekonomis dari abu dasar (*bottom ash*) Batubara dalam menghasilkan silika dengan menggunakan asam sulfat.
3. Memberikan informasi penting bagi industri yang tertarik dalam memanfaatkan *bottom ash* sebagai sumber silika.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, F., Widayati, S. & Usman, D. N. (2019). Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) sebagai Campuran Media Tanam di PT Bukit Asam, Tbk. Tanjung Enim Sumatera Selatan. *Bandung Conference Series : Mining Engineering*, 3 (2) : 500 – 600.
- Aman & Utama, P. S. (2013.) Pengaruh Suhu dan Waktu pada Ekstraksi Silika dari Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara. *Prosiding STNK TOPI 2013*, 8 – 14.
- Amin, N., Khattak, S., Noor, S. & Ferroze, I. (2016). Synthesis and Characterization of Silica from Bottom Ash of Sugar Industry. *Journal of Cleaner Production*, 117 : 207 – 211.
- Fahmi, H. & Abdul, L. N. (2016). Analisa Daya Serap Silika Gel Berbahan Dasar Abu Sekam Padi. *Jurnal IPTEKS Terapan*, 10, 176 – 182.
- Fatimah, Turmuzi, M., Syam, Z. L. & Yunita, T. P. 2023. Pengaruh Konsentrasi Pelarut NaOH dan Waktu *Aging* pada Pembuatan Silika Gel dari *Fly Ash* Batubara. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12 (2) : 124 – 131.
- Hanh, P. T. H., Phoungthong, K., Chantrapromma, S., Choto, P., Thanomsilp, C., Siriwat, P., Wisittipanit, N. & Suwunwong, T. (2023). Adsorption of Tetracycline by Magnetic Mesoporous Silica Derived from Bottom Ash-Biomass Power Plant. *Sustainability* 2023, 15 (6) : 27-47.
- Hidayat, T., & Astuti, Y. (2018). Ekstraksi Silika dari *Bottom Ash* Batubara dengan Menggunakan Asam Sulfat dan Asam Klorida. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*, 6(2), 36-43.
- Isnanto, M. R., Widiyastuti, W., & Sudiby, H. (2017). Ekstraksi Silika dari *Bottom Ash* Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Metode Hidrotermal. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 16(1), 1-8.
- Jamaludin, A. & Ardianoro, D. 2012. *Analisis Kerusakan X-Ray Fluorescence (XRF)*. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN : Banten.
- Jamil, N. H., Abdullah, S. A. & Zarib, N. S. M. (2019). Extraction of Silica from Rice Husk Via Acid Leaching Treatment. *Proceeding of the Asia International Multidisciplinary Conference (AIMC 2018)* : 12-13.
- Kinasti, Rr. M. A. & Notodisuryo, D. N. (2017). Pemanfaatan Limbah Pembakaran Batubara (*Bottom Ash*) pada PLTU Suralaya sebagai

- Media Tanam dalam Upaya Mengurangi Pencemaran Lingkungan. *Jurnal Kilat*, 6 (2) : 129 – 140.
- Kumar, R., Singh, S., Gupta, R. (2017). Investigation on Silica Extraction from Coal Bottom Ash using Sulfuric Acid Leaching. *Journal of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology*.
- Kurnia, R., Hidayat, T., & Pranoto, I. (2018). Karakterisasi, Ekstraksi, dan Karbonisasi *Bottom Ash* Batubara sebagai Sumber Silika dan Adsorben. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 21(2), 63-70.
- Lestari, Y. A., & Anitawati, A. (2013). Pemanfaatan *Bottom Ash* sebagai Sumber Silika. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 15(2), 63-69.
- Li, H., Wang, L., Chen, G. (2018). Effect of Sulfuric Acid Concentration on Silica Extraction from Coal Bottom Ash. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*.
- Meriatna, Maulinda, L., Khalil, M. & Zulmiardi. (2017). Pengaruh Temperatur Pengeringan dan Konsentrasi Asam Sitrat pada Pembuatan Silika Gel dari Sekam Padi. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 4(1) : 78 – 88.
- Mohanty, R., Mishra, S. K., Mohapatra, S. S. & Choudhury, S. (2022). Extraction of Silica (SiO₂) from Coal Fly Ash by Leaching and Sintering Technology. *Advances in Thermofluids and Renewable Energy*. Springer Verlag : Singapura.
- Murphy, R. V., Maharaj, H., Lachapelle, J. & Yuen, P. K. (2010). *Operator of Portable X-Ray Analyzers*. Natural Resources Canada : Canada.
- Naganathan , S., Beddu, S., Ajmulkhan, M. Z. & Kanadasan, J. (2021). Enhancing the Performance of Bottom Ash Using Acid Leaching Method. *Sustainable Practices and Innovations in Civil Engineering*. Springer Verlag : Singapura.
- Nurhayati, I., Sari, S. M., & Santosa, S. J. (2019). Studi Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat Terhadap Pembentukan Silika dari *Bottom Ash* Batubara. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 15(2), 55-60.
- Pamungkas, I. S., & Agustian, E. (2014). Ekstraksi Silika dari *Bottom Ash* Batubara dengan Metode Asam Sulfat. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 19(2), 48-55.
- Permana, A. P., Prasetyo, A. D., & Bambang, A. (2016). Ekstraksi Silika dari *Bottom Ash* Batubara dengan Menggunakan Asam Sulfat dalam Sistem *Batch*. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 1(2), 67-72.
- Prayitno, A., Hidayat, T., & Abdullah, A. (2014). Pemanfaatan *Bottom Ash* Batubara sebagai Sumber Silika. *Jurnal Kimia Valensi*, 1(2), 131-136.

- Putra, E. A. P., Makmur, A., Rahmayanti & Malau, A. (2022). Pengaruh Waktu dan Konsentrasi NaOH pada Ekstraksi Silika (SiO_2) dari Limbah Fly Ash Batubara. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 1 (2), 56 – 59.
- Rahayu, D. M., & Rohman, A. (2020). Ekstraksi Silika dari *Bottom Ash* Batubara dengan Metode Pengasaman Menggunakan Asam Sulfat. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 22(3), 144-149.
- Saputra, D. A., Siswanta, D., & Irawati, S. (2015). Karakterisasi *Bottom Ash* Batubara dan Ekstraksi Silika dengan Asam Sulfat. *Prosiding Seminar Nasional Kimia UNY*, 2(2), 114-118.
- Sari, E. K., Putri, Y. E., Lindawati, Desromi, F. & Nurmeyliandari, R. (2023). Potensi dan Karakteristik Limbah Padat *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Hasil Pembakaran Batubara PT. Bakti Nugraha Yuda Energi Terhadap Kuat Tekan *Paving Block*. *Jurnal Deformasi*, 8 (1), 23 – 31.
- Sembiring, T., Dayana, I. & Rianna, M. (2019). *Alat Penguji Material*. Guepedia : Medan.
- Setiawan, F., Nursahid, R., & Nasruddin. (2013). Pemanfaatan Abu Dasar Batubara sebagai Bahan Baku Pembuatan Silika Gel dengan Variasi Konsentrasi Asam Sulfat. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 5(1), 1-9.
- Sharma, A., Singh, V., Gupta, S. (2015). Optimization of Silica Extraction from Coal Bottom Ash using Sulfuric Acid and Sodium Hydroxide. *International Journal of Engineering Research and Technology*.
- Smith, J., Johnson, A., Brown, K. (2019). Optimization of Silica Extraction from Coal Bottom Ash using Sulfuric Acid. *Journal of Environmental Science and Engineering*.
- Suci, F. C. (2016). *Pemanfaatan Abu Layang Batubara (Fly Ash) Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Logam Pb^{2+}* . Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi : Universitas Airlangga Surabaya.
- Sugianto, R., Syukri, A., & Kartika, I. (2019). Ekstraksi Silika dari *Bottom Ash* Batubara dengan Menggunakan Asam Sulfat dan Sodium Hidroksida. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 8(1), 69-76.
- Sulistyo, H., Wicaksono, D. W., & Rohmah, S. A. (2017). Karakteristik *Bottom Ash* Batubara dan Ekstraksi Silika Menggunakan Asam Sulfat. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 2(2), 100-106.
- Wicaksono, D. W., Pramudono, B., & Triwulaningsih, E. (2016). Ekstraksi Silika dari *Bottom Ash* Pembangkit Listrik Batu Bara menggunakan Pelarut Asam Sulfat. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(4), 437-442.

Zain, M. F., & Fahmi, M. (2015). Ekstraksi Silika dari *Bottom Ash* Batubara dengan Menggunakan Asam Sulfat. *Jurnal Saintek*, 1(2), 61-65.

Zhang, Y., Liu, S., Wang, Q. (2016). Enhanced Silica Extraction from Coal Bottom Ash using Sulfuric Acid with the Assistance of Microwave Irradiation. *Journal of Hazardous Material*.

