



EVALUASI PENGARUH KONSENTRASI NaOH TERHADAP RENDEMEN DAN KETERBATASAN PROSES EKSTRAKSI SILIKA DARI ABU KERAK BOILER PABRIK KELAPA SAWIT

EVALUATION OF THE EFFECT OF NaOH CONCENTRATION ON SILICA YIELD AND EXTRACTION PROCESS LIMITATIONS FROM PALM OIL MILL BOILER ASH

Muhammad Hapiz¹, Mahyunis^{2)*}

^{1,2} Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Indonesia

*Corresponding Email : mahyunis@itsi.ac.id

Abstract

Palm oil mill boiler ash is a biomass waste with significant potential as a silica (SiO₂) source; however, its utilization remains limited. This study aims to evaluate the effect of sodium hydroxide (NaOH) concentration on silica yield and to identify the limitations of the extraction process. The novelty of this study lies in its evaluative approach, which not only examines yield trends but also systematically assesses process constraints. Silica was extracted using a solid-liquid extraction method with varying NaOH concentrations (1 M, 3 M, and 5 M) at approximately 75°C for 60 minutes, followed by precipitation using HCl and drying. Composition analysis was conducted using X-Ray Fluorescence (XRF), while statistical analysis was performed using ANOVA. The results showed an increasing trend in silica yield from 20.93% to 54.97% with higher NaOH concentration. However, ANOVA results indicated that this effect was not statistically significant, suggesting process variability within the extraction system. XRF analysis also detected residual chlorine, indicating limitations in the purification stage. These findings suggest that silica extraction is influenced not only by NaOH concentration but also by operational factors such as material homogeneity and washing efficiency, highlighting the need for further process optimization.

Keywords: Boiler ash, Silica, NaOH, Palm oil mill waste.

How to Cite: Hapiz, M., & Mahyunis. (2026). Evaluasi Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Rendemen dan Keterbatasan Proses Ekstraksi Silika dari Abu Kerak Boiler Pabrik Kelapa Sawit. Jurnal Agro Fabrica Vol.8 (1) : 1 – 10.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen kelapa sawit terbesar di dunia dengan kontribusi signifikan terhadap produksi minyak nabati global (Dermoredjo et al., 2025). Peningkatan produksi *crude palm oil* (CPO) diikuti oleh

peningkatan limbah biomassa yang dihasilkan, baik dalam bentuk padat, cair, maupun gas (Novia Yanti and Hutasuht, 2020). Salah satu limbah padat yang dihasilkan adalah abu kerak boiler yang berasal dari proses pembakaran biomassa di

pabrik kelapa sawit. Limbah ini umumnya belum dimanfaatkan secara optimal, padahal memiliki kandungan silika (SiO_2) yang cukup tinggi dan berpotensi sebagai bahan baku material bernilai tambah (Rezi Munizar, 2025). Pemanfaatan limbah ini menjadi penting dalam mendukung konsep ekonomi sirkular dan pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Silika merupakan material anorganik yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti adsorben, katalis, bahan komposit, serta material ramah lingkungan. Dalam beberapa tahun terakhir, pengembangan silika berbasis limbah biomassa semakin meningkat karena ketersediaannya yang melimpah, biaya produksi yang relatif rendah, serta dampak lingkungan yang lebih kecil dibandingkan sumber silika konvensional. Menurut Prianti et al. (2015), abu kerak boiler cangkang kelapa sawit memiliki komposisi kimia SiO_2 sebanyak 29,9%, Al_2O_3 sebanyak 1,9% dan CaO 26,9%. Kandungan silika yang tinggi ini menunjukkan bahwa abu kerak boiler memiliki potensi besar sebagai sumber bahan baku silika alternatif. Berbagai limbah biomassa pertanian telah dieksplorasi sebagai sumber silika, seperti daun bambu (Hasri, 2020), ampas tebu (Paramitha et al., 2019), sekam padi (Mujiyanti et al., 2021), dan tongkol jagung (Fathurrahman, 2020). Namun, pemanfaatan abu kerak boiler kelapa sawit sebagai sumber silika masih relatif terbatas dan belum banyak dikaji secara

mendalam. Metode ekstraksi silika yang umum digunakan adalah pelarutan menggunakan basa kuat, seperti natrium hidroksida (NaOH), yang mampu melarutkan silika menjadi natrium silikat yang larut, kemudian diendapkan kembali menggunakan asam untuk menghasilkan gel silika (Batubara et al., 2023). Efektivitas proses ini dipengaruhi oleh berbagai parameter operasional, seperti konsentrasi larutan, suhu, waktu reaksi, serta kondisi presipitasi. Di antara parameter tersebut, konsentrasi NaOH berperan penting karena menentukan jumlah ion hidroksida (OH^-) yang terlibat dalam proses pelarutan silika dari matriks abu. Menurut Batubara et al. (2023) beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi basa cenderung menghasilkan peningkatan rendemen silika, namun tidak selalu memberikan perbedaan yang signifikan secara statistik akibat adanya variabilitas dalam proses ekstraksi. Selain itu, sebagian besar penelitian masih berfokus pada biomassa lain seperti sekam padi, sementara kajian terhadap abu kerak boiler kelapa sawit, khususnya dalam aspek evaluasi proses dan keterbatasannya, masih terbatas (Adha and Warsiki, 2023). Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk mengkaji tidak hanya hasil ekstraksi, tetapi juga faktor-faktor yang mempengaruhi konsistensi proses. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi NaOH (1 M, 3

M, dan 5 M) terhadap rendemen silika yang dihasilkan dari abu kerak boiler kelapa sawit, serta mengidentifikasi keterbatasan dalam proses ekstraksi. Pendekatan yang digunakan adalah metode ekstraksi padat-cair yang dilanjutkan dengan proses presipitasi menggunakan asam. Keterbaruan (*novelty*) dalam penelitian ini terletak pada pendekatan evaluatif yang tidak hanya menganalisis tren perubahan rendemen akibat variasi konsentrasi NaOH, tetapi juga mengkaji ketidaksignifikanan statistik dan keterbatasan proses ekstraksi secara sistematis berdasarkan hasil eksperimen. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan pemanfaatan limbah biomassa kelapa sawit sebagai sumber silika alternatif serta mendukung konsep keberlanjutan dalam industri perkebunan.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Budidaya Perkebunan, Institut Teknologi Sawit Indonesia, pada bulan April 2026.

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan adalah abu kerak boiler kelapa sawit yang diperoleh dari pabrik kelapa sawit. Bahan kimia yang digunakan meliputi larutan NaOH dengan konsentrasi 1 M, 3 M, dan

5 M, larutan HCl 3 M sebagai agen presipitasi, serta akuades.

Peralatan yang digunakan meliputi *hot plate*, *magnetic stirrer*, oven, neraca analitik, ayakan 200 mesh, gelas beaker, erlenmeyer, kertas saring, dan termometer. Karakterisasi komposisi kimia dilakukan menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF) terhadap produk silika hasil ekstraksi. Sementara itu, informasi komposisi kimia bahan baku abu kerak boiler diperoleh dari literatur yang relevan sebagai data pendukung dalam memahami kondisi awal material (Silvia and Zainuri, 2020)

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi natrium hidroksida (NaOH) terhadap rendemen silika yang dihasilkan dari abu kerak boiler kelapa sawit. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yaitu konsentrasi NaOH dengan tiga taraf perlakuan, yaitu 1 M, 3 M, dan 5 M. Setiap perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali ulangan sehingga diperoleh sembilan satuan percobaan. Parameter utama yang diamati adalah rendemen silika.

Tahapan Penelitian

Abu kerak boiler dikeringkan untuk menghilangkan kadar air, kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih seragam guna meningkatkan luas permukaan dan mempercepat pelarutan silika (Abu Fara et al., 2024). Sebanyak 20 gram abu kemudian dicampurkan dengan 250 mL larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 1 M, 3 M, dan 5 M, lalu dipanaskan pada suhu $\pm 75^{\circ}\text{C}$ selama 60 menit sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer hingga terbentuk larutan natrium silikat. Campuran selanjutnya disaring untuk memisahkan residu padat dari filtrat. Filtrat yang diperoleh ditambahkan larutan HCl 3 M secara bertahap hingga mencapai pH netral (± 7) untuk mengendapkan silika dalam bentuk gel, kemudian didiamkan (aging) selama ± 18 jam pada suhu ruang. Gel silika yang terbentuk disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 6 jam hingga diperoleh silika kering, kemudian dihaluskan dan diayak untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam. Produk silika yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai sampel dalam analisis karakterisasi.

Analisis Data

Data hasil penelitian dianalisis menggunakan uji Analysis of Variance

(ANOVA) pada taraf signifikansi 5% untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi NaOH terhadap rendemen silika. Apabila tidak ditemukan perbedaan yang signifikan, maka data dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi kecenderungan perubahan serta keterbatasan proses ekstraksi yang terjadi.

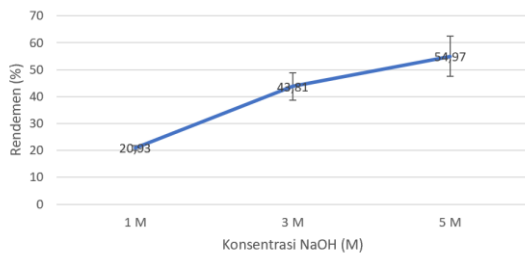
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Preparasi Bahan Baku

Abu kerak boiler kelapa sawit memiliki karakteristik awal berupa warna abu-abu kehitaman, tekstur kasar, dan ukuran partikel yang tidak seragam. Kondisi ini mengindikasikan adanya residu karbon dan mineral anorganik hasil pembakaran biomassa. Setelah proses preparasi melalui penggerusan dan pengayakan menggunakan ayakan 200 mesh, diperoleh partikel yang lebih halus dan relatif homogen.

Pengecilan ukuran partikel meningkatkan luas permukaan spesifik sehingga memperbesar kontak antara fase padat dan larutan selama proses ekstraksi. Hal ini meningkatkan efisiensi pelarutan silika, karena partikel dengan ukuran lebih kecil dan luas permukaan lebih tinggi menghasilkan laju ekstraksi yang lebih besar (Abu Fara et al., 2024). Proses ini dipengaruhi oleh mekanisme difusi yang berperan dalam mengontrol laju pelarutan mineral (Abu Fara et al., 2024).

Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Hasil Ekstraksi



Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Rendemen Ekstraksi Silika (mean $\pm$ SD)

Berdasarkan Gambar 1, rendemen silika menunjukkan kecenderungan peningkatan seiring meningkatnya konsentrasi NaOH, dari 20,93% (1 M) menjadi 54,97% (5 M). Secara teoritis, peningkatan ini berkaitan dengan bertambahnya jumlah ion hidroksida (OH^-) yang berperan dalam melarutkan silika dari matriks abu menjadi natrium silikat (Kouadri et al., 2023).

Namun, nilai standar deviasi yang cukup tinggi pada 3 M dan 5 M menunjukkan adanya variabilitas proses, yang diduga dipengaruhi oleh faktor operasional seperti homogenitas bahan dan kondisi reaksi. Selain itu, pada konsentrasi NaOH yang lebih tinggi, potensi terjadinya hambatan difusi akibat pembentukan lapisan produk pada permukaan partikel dapat mengurangi efektivitas kontak antara reaktan dan matriks padatan. Fenomena ini menyebabkan peningkatan konsentrasi tidak selalu diikuti oleh peningkatan hasil yang proporsional (Alyosef et al., 2025)

Analisis Statistik (ANOVA)

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa variasi konsentrasi NaOH belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap rendemen silika pada taraf

signifikansi 5%. Hal ini terlihat dari nilai Fhitung yang lebih kecil dibandingkan Ftabel serta p-value yang berada di atas 0,05. Dengan demikian, secara statistik perubahan konsentrasi NaOH dari 1 M hingga 5 M belum mampu menghasilkan perbedaan rendemen silika yang bermakna.

Walaupun demikian, secara deskriptif terdapat kecenderungan peningkatan rendemen seiring bertambahnya konsentrasi NaOH. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi basa masih berpotensi meningkatkan proses pelarutan silika, namun pengaruh tersebut belum cukup kuat untuk dinyatakan signifikan secara statistik. Besarnya variasi data pada setiap perlakuan, yang ditunjukkan oleh nilai standar deviasi yang relatif tinggi, diduga menjadi salah satu penyebab utama tidak munculnya perbedaan yang nyata antarperlakuan.

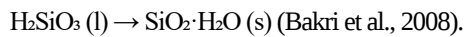
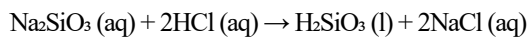
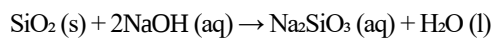
Secara teoritis, peningkatan konsentrasi basa dapat meningkatkan pelarutan silika, namun hanya hingga kondisi optimum tertentu. Ketidaksigifikanan ini menunjukkan bahwa faktor lain selain konsentrasi NaOH kemungkinan turut mempengaruhi hasil ekstraksi, seperti kondisi reaksi dan homogenitas sistem (Kong et al., 2024)

Dengan demikian, hasil ANOVA dalam penelitian ini lebih mencerminkan keterbatasan kestabilan proses dibandingkan dengan ketiadaan pengaruh variabel yang dikaji. Temuan ini menegaskan bahwa optimasi proses tidak hanya

perlu difokuskan pada variabel kimia, tetapi juga pada pengendalian kondisi operasional secara menyeluruh.

Mekanisme Reaksi

Proses ekstraksi silika berlangsung melalui reaksi berikut:



Untuk memperoleh silika dalam bentuk amorf, abu hasil pemurnian diekstraksi secara alkali menggunakan NaOH sehingga terbentuk natrium silikat yang larut. Selanjutnya, larutan natrium silikat direaksikan dengan asam mineral melalui proses netralisasi untuk menghasilkan asam silikat dalam bentuk dispersi koloid. Dispersi ini kemudian mengalami pemisahan partikel membentuk silika terhidrasi (hidrosol), yang melalui proses pengeringan akan menghasilkan silika gel (Shareef Radha et al., 2026).

Analisis Komposisi Produk Silika (XRF)

Tabel 3 (NaOH 1 M)

No	Formula	Concentration (%)
1	Cl	50.54 %wt
2	SiO ₂	36.99 %wt
3	K ₂ O	10.74 %wt
4	SO ₃	1.13 %wt
5	CaO	0.48 %wt
6	Fe ₂ O ₃	0.05 %wt
7	Lainnya	0,07%wt

Tabel 4 (NaOH 3 M)

No	Formula	Concentration (%)
1	SiO ₂	47.43 %wt
2	Cl	40.30 %wt
3	K ₂ O	6.69 %wt
4	Al ₂ O ₃	3.43 %wt
5	P ₂ O ₅	1.33 %wt
6	CaO	0.37 %wt

7	Lainnya	0,45%wt
---	---------	---------

Tabel 5 (NaOH 5 M)

No	Formula	Concentration (%)
1	Cl	67.64 %wt
2	SiO ₂	24.85 %wt
3	K ₂ O	6.13 %wt
4	CaO	0.70 %wt
5	SO ₃	0.31 %wt
6	Fe ₂ O ₃	0.13 %wt
7	Lainnya	0,24%wt

Berdasarkan Tabel 3–5, komposisi kimia produk silika menunjukkan bahwa kandungan SiO₂ tidak mengalami peningkatan yang konsisten seiring dengan peningkatan konsentrasi NaOH, sedangkan kandungan Cl relatif tinggi pada seluruh perlakuan. Tingginya kandungan klorin mengindikasikan adanya residu dari proses presipitasi menggunakan HCl yang belum sepenuhnya terhilangkan. Hal ini menunjukkan bahwa tahap pencucian dan pemurnian belum optimal, sehingga mempengaruhi kualitas produk silika yang dihasilkan.

Untuk meningkatkan kemurnian silika, diperlukan optimasi pada tahap pencucian dan pemurnian, seperti penggunaan air deionisasi secara berulang, kontrol pH yang lebih presisi, serta penerapan metode pencucian tambahan seperti washing dengan etanol atau dialisis. Selain itu, optimasi rasio asam dan kondisi presipitasi berpotensi mengurangi pembentukan residu garam dalam produk akhir.

Dengan demikian, hasil XRF dalam penelitian ini lebih merepresentasikan kondisi proses ekstraksi, khususnya pada tahap

pemurnian, dibandingkan sebagai indikator kemurnian akhir silika.

Hubungan Rendemen dan Keterbatasan proses

Peningkatan konsentrasi NaOH menunjukkan kecenderungan peningkatan rendemen, namun tidak diikuti oleh perbedaan yang signifikan secara statistik. Selain itu, variasi data antar ulangan menunjukkan bahwa proses ekstraksi belum stabil.

Keterbatasan proses ekstraksi yang ditunjukkan oleh variabilitas data dan ketidaksignifikanan hasil ANOVA mengindikasikan bahwa sistem belum mencapai kondisi operasi yang stabil. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan rendemen tidak semata-mata ditentukan oleh konsentrasi NaOH, tetapi juga dipengaruhi oleh interaksi antar variabel proses seperti homogenitas bahan, efisiensi pencucian, dan dinamika difusi dalam sistem.

Analisis Biaya Produksi Silika

Analisis biaya produksi dilakukan untuk satu kali proses ekstraksi menggunakan 20 gram abu kerak boiler kelapa sawit pada konsentrasi NaOH 5 M sebagai kondisi representatif. Biaya produksi mencakup bahan kimia (NaOH, HCl, aquades), bahan pendukung, serta biaya tidak langsung seperti penyusutan alat dan tenaga kerja. Total biaya produksi dihitung menggunakan persamaan (1):

$$C_{total} = \sum(Q_i \times P_i) \quad (1)$$

Berdasarkan perhitungan, diperoleh total biaya produksi sebesar Rp 4.900 per proses.

Biaya produksi spesifik dihitung untuk mengevaluasi efisiensi proses ekstraksi:

$$C = \frac{C_{total}}{m} \quad (2)$$

Dengan massa silika yang dihasilkan sebesar 10,99 gram, diperoleh biaya produksi sebesar Rp 446/gram.

Sebagai pembandingan, harga silika komersial dihitung sebagai berikut:

$$H = \frac{50.000}{500} \quad (3)$$

Sehingga diperoleh harga pasar sebesar Rp 100/gram. Perbedaan yang signifikan antara biaya produksi dan harga pasar menunjukkan bahwa proses ekstraksi pada skala laboratorium belum ekonomis. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi proses melalui optimasi operasional dan skala produksi menjadi faktor kunci dalam meningkatkan kelayakan ekonomi.

Namun demikian, hasil ini masih relevan secara ilmiah karena memberikan gambaran awal kelayakan proses. Tingginya biaya produksi dipengaruhi oleh skala operasi yang kecil, penggunaan bahan kimia yang belum optimal, serta belum diterapkannya efisiensi proses. Pada skala yang lebih besar (scale-up), biaya produksi berpotensi menurun melalui peningkatan efisiensi penggunaan bahan, optimasi kondisi reaksi, serta integrasi proses yang lebih efektif, sebagaimana ditunjukkan bahwa proses scale-up berperan dalam meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya produksi (Xavier Silva et al., 2024).

Dengan demikian, analisis ini tidak hanya menunjukkan keterbatasan ekonomi pada skala

laboratorium, tetapi juga menegaskan potensi pengembangan proses ekstraksi silika dari limbah abu kerak boiler kelapa sawit sebagai alternatif material bernilai tambah di masa mendatang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, variasi konsentrasi NaOH menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan rendemen silika dari 20,93% hingga 54,97%, yang mengindikasikan bahwa konsentrasi basa berperan dalam proses pelarutan silika dari abu kerak boiler kelapa sawit. Meskipun secara statistik pada taraf signifikansi 5% tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan, hasil ini tetap menggambarkan bahwa proses ekstraksi telah berlangsung dan memberikan potensi untuk dioptimalkan lebih lanjut.

Variabilitas hasil yang diamati menunjukkan bahwa sistem ekstraksi masih dipengaruhi oleh faktor operasional, seperti homogenitas bahan baku, kondisi reaksi, serta efisiensi proses filtrasi dan pencucian. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsistensi hasil dapat dicapai melalui pengendalian kondisi proses yang lebih baik.

Hasil analisis komposisi menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) menunjukkan bahwa silika telah berhasil dihasilkan, meskipun masih terdapat kandungan pengotor, khususnya klorin (Cl), yang mengindikasikan bahwa tahap pemurnian belum optimal. Dengan demikian, kualitas produk tidak hanya dipengaruhi oleh

konsentrasi NaOH, tetapi juga oleh tahap pasca-ekstraksi.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa abu kerak boiler kelapa sawit memiliki potensi yang baik sebagai sumber silika alternatif. Dengan optimasi lebih lanjut pada parameter proses dan tahap pemurnian, metode ekstraksi yang digunakan berpeluang untuk dikembangkan menjadi proses yang lebih efisien, stabil, dan aplikatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Fara, A., Rayson, M.R., Brent, G.F., Oliver, T.K., Stockenhuber, M., Kennedy, E.M., 2024. Effect of Solid Ratio and Particle Size on Dissolution of Heat-Activated Lizardite at Elevated Pressures and Moderate Temperatures. *Minerals* 14. <https://doi.org/10.3390/min14080831>
- Adha, F.F., Warsiki, E., 2023. Silica Synthesis from Oil Palm Mill Boiler Ash Under Different Concentration of NaOH and Extraction Time. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 1187, 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1187/1/012012>
- Alyosef, H.A., Lilli, B., Enke, D., Roggendorf, H., 2025. Hydrothermal Dissolution of Reactive Silica Materials in Sodium Hydroxide Lyes. *Chem. Ing. Tech.* 97, 11–22. <https://doi.org/10.1002/cite.202300062>
- Bakri, B., Utari, T., Puspita Sari, I., 2008. Kaolin sebagai Sumber SiO₂ untuk Pembuatan Katalis Ni/SiO₂: Karakterisasi dan Uji Katalis pada Hidrogenasi Benzena menjadi Sikloheksana, *Makara Journal of Science*.
- Batubara, F., Turmuzi, M., Latifah Syam, Z., Putri Yunita, T., 2023. Pengaruh Konsentrasi Pelarut NaOH dan Waktu

- Aging pada Pembuatan Silika Gel dari Fly Ash Batu Bara. *Jurnal Teknik Kimia USU* 12, 124–131. <https://doi.org/10.32734/jtk.v12i2.13314>
- Dermoredjo, S.K., Darmawan, D.H.A., Sumedi, Mutaqin, Dani, F.Z.D.P., Yusuf, E.S., Pasaribu, S.M., Sayaka, B., Wardana, I.P., Adnyana, I.M.O., Estiningtyas, W., Antriandarti, E., 2025. The global sway of Indonesian palm oil: An export analysis. *J. Agric. Food Res.* 22. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102064>
- Fathurrahman, M., 2020. Synthesis and Characterization of Silica Gel from Corn Cob Ash and Its Adsorption Study Toward Cu(II) Metal Ion. *Jurnal Kartika Kimia* 3. <https://doi.org/10.26874/jkk.v3i2.66>
- Hasri, H., 2020. A Synthesis Nanosilica of Bamboo's Leaf (*Bambusa* Sp.) by Using Hydrothermal Method. *Jurnal Kartika Kimia* 3. <https://doi.org/10.26874/jkk.v3i2.56>
- Kong, D., Gao, Y., Song, S., Jiang, R., 2024. Kinetics and Mechanism of SiO₂ Extraction from Acid-Leached Coal Gangue Residue by Alkaline Hydrothermal Treatment. *Materials* 17. <https://doi.org/10.3390/ma17174168>
- Kouadri, I., Ben Seghir, B., Hemmami, H., Zeghoud, S., Allag, N., Rebiai, A., Ben Amor, I., Chala, A., Belkhalifa, H., 2023. Extraction of Silica from Different Sources of Agricultural Waste. *Asian Journal of Research in Chemistry* 97–101. <https://doi.org/10.52711/0974-4150.2023.00016>
- Mujiyanti, D.R., Ariyani, D., Paujiah, N., 2021. Kajian Variasi Konsentrasi NaOH dalam Ekstraksi Silika dari Limbah Sekam Padi Banjar Jenis “Pandak.” *Jurnal Sains dan Terapan Kimia* 15, 143. <https://doi.org/10.20527/jstk.v15i2.10373>
- Novia Yanti, R., Hutasuhut, I.L., 2020. Potensi Limbah Padat Perkebunan Kelapa Sawit di Provinsi Riau. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan* 15, 1–11. <https://doi.org/10.31849/forestra.v15i2.4696>
- Paramitha, T., Saputra, T.R., Aliah, A.N., Tarigan, A.V., Ghozali, M., 2019. Karakterisasi Silika dari Abu Ampas Tebu [Characterization of Silica from Sugarcane Bagasse Ash]. *Kovalen* 5, 290–298.
- Prianti, E., Bara, M., Malino, Pahlanop Lapanporo, B., Studi Fisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Tanjungpura JlProfDrHHadari Nawawi Pontianak, P., 2015. Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir pada Pembuatan Beton. *POSITRON V*, 26–29.
- Rezi Munizar, 2025. Kajian Awal Pemanfaatan Limbah Abu Boiler Kelapa Sawit Sebagai Material Konstruksi Non-Struktural. *Journal of Science, Technology, and Innovation* 1, 258–267. <https://doi.org/10.65310/s2aa0v21>
- Shareef Radha, F.H., Kareem, M.T., Abdullah, O.G., 2026. Atmosphere-dependent synthesis and crystallization behavior of silica nanoparticles derived from rice husk biomass. *RSC Adv.* 16, 16874–16886. <https://doi.org/10.1039/d6ra00367b>
- Silvia, L., Zainuri, M., 2020. Analisis Silika (SiO₂) Hasil Kopresipitasi Berbasis Bahan Alam menggunakan Uji XRF dan XRD. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 16, 12. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v16i1.5322>
- Xavier Silva, C., Moncada Botero, J., Sastre, F., van den Ham, J., Buskens, P., Meulendijks, N., Detz, R.J., 2024. Techno-economic analysis for the

sunlight-powered reverse water gas shift
process: Scenarios, costs, and comparative
insights. Sustainable Energy Technologies
and Assessments 65.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.10376>
8