JURNAL REDOKS: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia Vol.9 No.2 Tahun 2026
https://jurnal.stkipbima.ac.id/index.php/RE/ e-ISSN:2614-7300 p- ISSN:2685-5402

Pengaruh Ukuran Partikel Arang Sekam Padi terhadap Rendemen Residu Kaya Silika melalui Pelindian Asam Sitrat dan Kalsinasi

Ani Purwanti[1*], Dimas Rizal Anggara Putra[2], Muhammad Yusuf[3]

[1,2]Program Studi Teknik Kimia, Universitas AKPRIND Indoensia
[3]Program Studi Teknologi Industri, Program Pendidikan Vokasi, Universitas AKPRIND Indoensia
E-mail: ani4wanti@akprind.ac.id

Article Info

Article History
Received: 2026-08-31
Revised: 2026-11-09
Published: 2026-11-24

Keywords:
rice husk char; particle size; citric acid; calcination; inorganic residue

Abstract

Rice-husk char generated as a residue of brick firing is a potential secondary source of biogenic silica, but its heterogeneous combustion history requires a cautious preliminary assessment before nanosilica synthesis. This study evaluated the effect of particle size on the mass recovery of inorganic residue after citric-acid leaching and controlled calcination. Rice-husk char from Piyungan, Yogyakarta, was sieved through 40, 60, and 80 mesh. Six grams of each fraction were leached using 100 mL of 5% (w/w) citric acid, filtered, washed with demineralized water, dried at 110 °C for 20 h, and calcined at 750 °C for 5 h. The masses before calcination were 4.565, 4.525, and 4.575 g, while the final residues were 1.815, 1.730, and 2.025 g for 40, 60, and 80 mesh, respectively. Accordingly, the calcination yields were 39.76%, 38.23%, and 44.26%, with mass losses of 60.24%, 61.77%, and 55.74%. The 80-mesh fraction produced the highest residue recovery under the tested conditions.

Artikel Info

Sejarah Artikel
Diterima: 2026-08-31
Direvisi: 2026-11-09
Dipublikasi: 2026-11-24

Kata kunci:
arang sekam padi; ukuran partikel; asam sitrat; kalsinasi; residu anorganik

Abstrak

Arang sekam padi sisa pembakaran batu bata berpotensi menjadi sumber sekunder silika biogenik, tetapi riwayat pembakarannya yang tidak seragam memerlukan penilaian awal secara hati-hati sebelum sintesis nanosilika. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh ukuran partikel terhadap perolehan massa residu anorganik setelah pelindian asam sitrat dan kalsinasi terkontrol. Arang sekam padi dari Piyungan, Yogyakarta, diayak hingga lolos 40, 60, dan 80 mesh. Sebanyak 6 g setiap fraksi dilindi menggunakan 100 mL asam sitrat 5% (b/b), disaring, dicuci dengan akuademin, dikeringkan pada 110 °C selama 20 jam, kemudian dikalsinasi pada 750 °C selama 5 jam. Massa sebelum kalsinasi masing-masing sebesar 4,565; 4,525; dan 4,575 g, sedangkan massa residu akhir sebesar 1,815; 1,730; dan 2,025 g untuk fraksi 40, 60, dan 80 mesh. Rendemen kalsinasi yang diperoleh berturut-turut adalah 39,76%; 38,23%; dan 44,26%, dengan kehilangan massa 60,24%; 61,77%; dan 55,74%. Fraksi 80 mesh memberikan perolehan residu tertinggi pada kondisi pengujian.

PENDAHULUAN

Produksi padi Indonesia pada 2025 mencapai 60,21 juta ton gabah kering giling dan menghasilkan 34,69 juta ton beras untuk konsumsi pangan (Badan Pusat Statistik, 2026). Skala produksi tersebut juga menunjukkan besarnya aliran biomassa samping, termasuk sekam padi. Sekam umumnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar, media tanam, bahan bangunan, atau dibakar, tetapi residu pembakarannya masih dapat menyimpan fraksi mineral bernilai. Pemanfaatan residu ini sejalan dengan pendekatan ekonomi sirkular karena mengalihkan limbah biomassa menjadi prekursor material fungsional.

Abu sekam padi dikenal sebagai sumber silika biogenik karena fraksi anorganiknya umumnya didominasi SiO_2, meskipun kadarnya sangat dipengaruhi varietas padi, kondisi tanah, kontaminasi, dan riwayat pembakaran (Nzereogu et al., 2023; Hamidu et al., 2025). Produk berbasis silika dari sekam berpotensi digunakan sebagai adsorben, penyangga katalis, bahan pengisi, material semen, dan prekursor partikel silika. Pemanfaatan sekam sebagai adsorben juga telah dikaji dalam Jurnal Redoks,

yang menegaskan relevansi pengembangan bahan berbasis sekam untuk pengolahan lingkungan (Poniman, 2022).

Tahap pemurnian menentukan kualitas silika biogenik. Pelindian asam sebelum perlakuan termal dapat melarutkan sebagian pengotor logam dan menekan pengaruh unsur alkali yang mendorong kristalisasi atau sintering. Steven et al. (2021) melaporkan bahwa urutan pelindian pada abu sekam berpengaruh besar terhadap kemurnian dan luas permukaan silika. Asam sitrat menarik digunakan karena merupakan asam organik yang relatif lebih aman; penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa perlakuan asam sitrat dapat mendukung produksi silika berkemurnian tinggi (Azat et al., 2019). Setelah pelindian, temperatur dan waktu pembakaran tetap harus dikendalikan karena keduanya memengaruhi penghilangan karbon, struktur pori, serta perubahan silika amorf menjadi fase kristalin (Carlsen & Saito, 2024; Fernandes et al., 2024).

Ukuran partikel dapat memengaruhi perpindahan panas, luas kontak dengan larutan pelindi, dan keseragaman pembakaran. Partikel yang lebih halus secara teoritis memberikan luas permukaan spesifik lebih besar sehingga kontak dengan asam dan oksigen meningkat. Namun, perolehan massa tidak hanya ditentukan ukuran partikel; heterogenitas bahan baku, kadar karbon awal, kandungan mineral, kehilangan saat filtrasi, dan ketelitian penimbangan juga berpengaruh. Oleh karena itu, massa residu tidak dapat dipakai sendirian untuk menyatakan kemurnian silika atau ukuran nano. Identifikasi Si-O-Si dengan FTIR, struktur amorf dengan XRD, komposisi unsur dengan XRF/EDX, serta ukuran dan morfologi dengan SEM/TEM diperlukan sebelum suatu produk disebut nanosilika (Mahalingam & Sivaraju, 2023; Shrestha et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi perolehan massa residu anorganik dari arang sekam padi sisa pembakaran batu bata pada variasi lolos ayakan 40, 60, dan 80 mesh setelah pelindian asam sitrat 5% dan kalsinasi 750 °C selama 5 jam. Kebaruan penelitian ini adalah proses yang menggunakan residu sekam dari proses pembakaran batu bata, bukan sekam mentah. Analisis difokuskan pada neraca massa bahan abu sekam padi agar hasil dapat menjadi dasar rancangan optimasi berikutnya.

METODE

Penelitian yang dilaksanakan merupakan eksperimen laboratorium eksploratif dengan satu faktor, yaitu ukuran partikel arang sekam padi. Bahan baku berupa arang sekam padi sisa pembakaran batu bata diperoleh dari Piyungan, Daerah Istimewa Yogyakarta. Bahan lain yang digunakan adalah asam sitrat dan akuades. Peralatan utama meliputi ayakan 40, 60, dan 80 mesh, timbangan digital, *magnetic stirrer*, kertas saring Whatman 41, oven, cawan, dan muffle furnace.

Arang sekam dipisahkan menjadi tiga fraksi yang lolos ayakan 40, 60, dan 80 mesh. Sebanyak 6 g setiap fraksi dicampurkan dengan 100 mL larutan asam sitrat 5% (b/b), diaduk, kemudian disaring menggunakan kertas Whatman 41. Padatan dicuci dengan akuademin dan dikeringkan dalam oven pada 110 °C selama 20 jam. Massa padatan kering dicatat sebagai massa sebelum kalsinasi. Sampel selanjutnya dikalsinasi pada 750 °C selama 5 jam dalam muffle furnace, didinginkan, dan ditimbang sebagai massa residu akhir.

Variabel bebas adalah fraksi ukuran partikel, sedangkan respon yang diamati meliputi massa akhir, rendemen kalsinasi, dan kehilangan massa. Rendemen dihitung sebagai perbandingan massa residu sesudah kalsinasi terhadap massa kering sebelum kalsinasi, sedangkan kehilangan massa dihitung dari selisih kedua massa tersebut. Persamaan yang digunakan adalah:

Rendemen (%) = (massa akhir/massa sebelum kalsinasi) × 100% ..... (1)
Kehilangan massa (%) = [(massa sebelum kalsinasi - massa akhir)/massa sebelum kalsinasi] × 100% ..... (2)

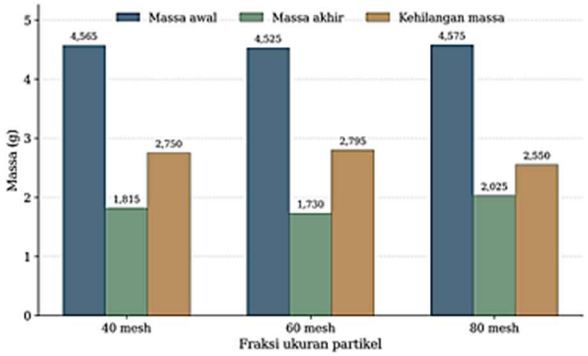
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian disajikan dalam Tabel 1.

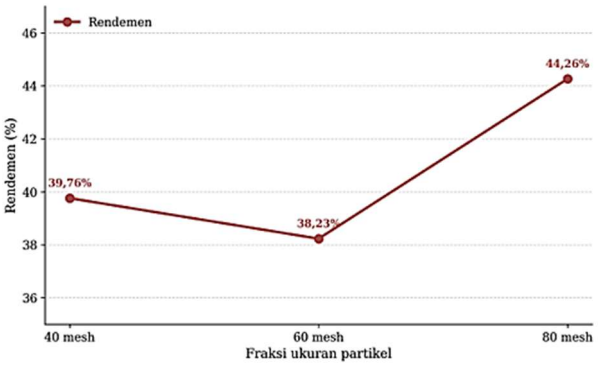
Tabel 1. Neraca Massa Residu setelah Kalsinasi

Fraksi	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Rendemen (%)
40 mesh	4,565	1,815	39,76
60 mesh	4,525	1,730	38,23
80 mesh	4,575	2,025	44,26

Tabel 1 menunjukkan bahwa seluruh sampel mengalami kehilangan massa lebih dari 55% selama kalsinasi. Massa akhir berturut-turut sebesar 1,815 g pada 40 mesh, 1,730 g pada 60 mesh, dan 2,025 g pada 80 mesh. Berdasarkan massa kering sebelum kalsinasi, rendemen masing-masing adalah 39,76%, 38,23%, dan 44,26%. Dengan demikian, fraksi 80 mesh menghasilkan residu tertinggi dan kehilangan massa terendah pada kondisi yang diuji. Secara grafis, data hasil penelitian dapat disajikan dalam Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Massa Awal, Massa Akhir, dan Kehilangan Massa pada Berbagai Ukuran Partikel



Gambar 2. Rendemen Residu setelah Kalsinasi pada Berbagai Ukuran Partikel

Kehilangan massa selama pemanasan terutama dapat dikaitkan dengan oksidasi karbon tersisa dan pelepasan komponen volatil dari arang sekam. Warna produk yang lebih terang setelah kalsinasi konsisten secara visual dengan berkurangnya karbon, tetapi warna putih tidak cukup untuk membuktikan bahwa residu merupakan silika murni. Abu sekam dapat tetap mengandung oksida K, Ca, Mg, Al, Fe, dan unsur lain; komposisinya bergantung pada asal sekam dan kondisi pembakaran (Hamidu et al., 2025). Pada bahan yang telah mengalami pembakaran awal di industri batu bata, variasi temperatur lokal dan pencampuran dengan debu mineral juga berpotensi memperbesar heterogenitas.

Rendemen tertinggi pada fraksi 80 mesh secara teoritis dapat berkaitan dengan kontak pelindian dan distribusi panas yang lebih seragam pada partikel halus. Luas permukaan yang lebih besar meningkatkan peluang asam sitrat berkontak dengan pengotor logam, sedangkan ukuran yang lebih kecil memperpendek lintasan perpindahan panas. Kajian Hamidu et al. (2025) menyebutkan bahwa pengecilan ukuran meningkatkan reaktivitas bahan terhadap asam. Namun, pola hasil penelitian ini tidak monoton karena rendemen 60 mesh (38,23%) sedikit lebih rendah daripada 40 mesh (39,76%). Pola tersebut menunjukkan bahwa ukuran partikel bukan satu-satunya

penjelas dan bahwa variasi sampel maupun kehilangan mekanis selama pencucian serta filtrasi perlu dipertimbangkan.

Temperatur 750 °C selama 5 jam berada pada rentang yang mampu mengoksidasi karbon secara intensif, tetapi pengaruhnya terhadap fase silika harus diverifikasi. Daulay et al. (2021) menunjukkan bahwa variasi temperatur pembakaran mengubah hasil silika, sedangkan Carlsen dan Saito (2024) menegaskan bahwa lintasan temperatur dan pendinginan menentukan kristalisasi SiO_2. Fernandes et al. (2024) juga menemukan bahwa proses pembakaran yang berbeda menghasilkan sifat bahan silika yang berbeda. Dengan demikian, temperatur tetap tidak dapat ditafsirkan hanya sebagai faktor penghilangan karbon; kondisi termal juga menentukan apakah struktur amorf yang diinginkan dapat dipertahankan.

Pelindian menggunakan asam sitrat 5% merupakan pilihan yang lebih ramah dibandingkan penggunaan asam mineral pekat, namun efektivitasnya bergantung pada konsentrasi, rasio padat-cair, suhu, waktu kontak, dan urutan proses. Steven et al. (2021) memperoleh silika hijau dengan kemurnian 96,44% dan luas permukaan 400,69 m^2/g ketika pelindian ditempatkan pada urutan proses yang tepat. Hasil tersebut tidak dapat langsung dibandingkan secara kuantitatif dengan penelitian ini karena produk pada penelitian sekarang hanya dinilai berdasarkan massa. Perbandingan ini justru menegaskan perlunya pengukuran kemurnian dan luas permukaan agar manfaat pelindian dapat dievaluasi.

Secara metodologis, tidak adanya ulangan merupakan keterbatasan utama. Selisih rendemen 80 mesh terhadap 40 mesh sebesar 4,50 poin persentase dan terhadap 60 mesh sebesar 6,03 poin persentase belum dapat dipisahkan dari galat sampling dan pengukuran. Penelitian lanjutan perlu menggunakan sedikitnya tiga ulangan independen per kondisi, mengacak posisi cawan di dalam furnace, menggunakan pendinginan dalam desikator sebelum penimbangan, serta melaporkan rerata, simpangan baku, dan uji beda yang sesuai. Kontrol tanpa pelindian juga diperlukan untuk mengukur kontribusi asam sitrat terhadap penghilangan pengotor.

Penelitian ini memerlukan tahapan ekstraksi dan karakterisasi lebih lanjut untuk mendapatkan senyawa nanosilika. Residu kaya silika dapat diekstraksi dengan basa untuk membentuk natrium silikat, kemudian dipresipitasi melalui metode sol-gel. Setyawan et al. (2021), Alhadhrami et al. (2022), dan Mahalingam dan Sivaraju (2023) menunjukkan bahwa produk silika berbasis sekam perlu diverifikasi menggunakan kombinasi XRD, FTIR, EDX/XRF, dan mikroskopi. Analisis BET relevan untuk luas permukaan dan porositas, sedangkan SEM/TEM atau PSA diperlukan untuk distribusi ukuran.

KESIMPULAN

Pelindian asam sitrat 5% yang diikuti kalsinasi pada 750 °C selama 5 jam menghasilkan massa residu 1,815 g (40 mesh), 1,730 g (60 mesh), dan 2,025 g (80 mesh). Rendemen terhadap massa kering sebelum kalsinasi masing-masing sebesar 39,76%, 38,23%, dan 44,26%; fraksi 80 mesh memberikan perolehan residu tertinggi pada kondisi pengujian. Penelitian lanjutan untuk mendapatkan produk nanosilika perlu menggunakan ulangan, kontrol tanpa pelindian, serta karakterisasi FTIR, XRD, XRF/EDX, BET, dan SEM/TEM atau PSA sebelum optimasi proses dan penetapan aplikasi produk.

DAFTAR PUSTAKA

Alhadhrami, A., Mohamed, G. G., Sadek, A. H., Ismail, S. H., Ebnalwaled, A. A., & Almalki, A. S. A. (2022). Behavior of silica nanoparticles synthesized from rice husk ash by the sol-gel method as a photocatalytic and antibacterial

agent. Materials, 15(22), 8211. https://doi.org/10.3390/ma15228211

Azat, S., Korobeinyk, A. V., Moustakas, K., & Inglezakis, V. J. (2019). Sustainable production of pure silica from rice husk waste in Kazakhstan. Journal of Cleaner Production, 217, 352–359. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.142

Badan Pusat Statistik. (2026). Luas panen padi pada tahun 2025 mencapai sekitar 11,32 juta hektare dengan produksi padi sebanyak 60,21 juta ton gabah kering giling (GKG). https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2026/02/02/2545/

Carlsen, M.-M. H., & Saito, Y. (2024). Phase diagram of SiO_2 crystallization upon rice husk combustion to control silica ash quality. Waste Management, 182, 55–62. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.04.009

Daulay, A., Andriayani, Marpongahtun, & Gea, S. (2021). Effect of variation temperature at burning rice husk to obtain silica. AIP Conference Proceedings, 2342, 090002. https://doi.org/10.1063/5.0046151

Fernandes, I. J., Moraes, C. A. M., Egea, J. R. J., & Sousa, V. C. (2024). Production and characterization of silica materials from rice husk ash by different combustion processes. Powder Technology, 436, 119473. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.119473

Grimm, A. M., Dorsch, L. Y., Kloess, G. H., Enke, D., & Roppertz, A. (2021). Transition metal promoted combustion of rice husk and rice straw towards an energy optimized synthesis of biogenic silica. Biomass and Bioenergy, 155, 106282. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106282

Hamidu, I., Afotey, B., Kwakye-Awuah, B., & Anang, D. A. (2025). Synthesis of silica and silicon from rice husk feedstock: A review. Heliyon, 11(4), e42491. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42491

Mahalingam, V., & Sivaraju, M. (2023). Microwave-assisted sol-gel synthesis of silica nanoparticles using rice husk as a precursor for corrosion protection application. Silicon, 15, 1967–1975. https://doi.org/10.1007/s12633-022-02153-0

Nayak, P. P., & Datta, A. K. (2021). Synthesis of SiO_2 nanoparticles from rice husk ash and its comparison with commercial amorphous silica through material characterization. Silicon, 13, 1209–1214. https://doi.org/10.1007/s12633-020-00509-y

Nzereogu, P. U., Omah, A. D., Ezema, F. I., Iwuoha, E. I., & Nwanya, A. C. (2023). Silica extraction from rice husk: Comprehensive review and applications. Hybrid Advances, 4, 100111. https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100111

Park, J. Y., Gu, Y. M., Chun, J., Sang, B.-I., & Lee, J. H. (2023). Pilot-scale continuous biogenic silica extraction from rice husk by one-pot alkali hydrothermal treatment and ball milling. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 10, 102. https://doi.org/10.1186/s40538-023-00479-4

Poniman, L. (2022). Analisis adsorben pengolahan air Sungai Muara Lebung menggunakan karbon aktif sekam padi dan kulit pisang kepok. Jurnal Redoks, 7(2), 1–7. https://doi.org/10.31851/redoks.v7i2.8989

Setyawan, N., Hoerudin, & Yuliani, S. (2021). Synthesis of silica from rice husk by sol-gel method. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 733, 012149. https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012149

Shrestha, D., Nayaju, T., Kandel, M. R., Pradhananga, R. R., Park, C. H., & Kim, C. S. (2023). Rice husk-derived mesoporous biogenic silica nanoparticles for gravity chromatography. Heliyon, 9(4), e15142. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15142

Steven, S., Restiawaty, E., & Bindar, Y. (2021). An appropriate acid leaching sequence in rice husk ash extraction to enhance the produced green silica quality for sustainable industrial silica gel purpose. Journal of Materials Research and Technology, 12, 661–675. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.033