

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI KOH TERHADAP SINTESIS
SILIKA DARI *RED MUD* SEBAGAI ADSORBEN ION Fe^{2+}
THE EFFECT OF KOH CONCENTRATION VARIATION ON THE
SYNTHESIS OF SILICA FROM RED MUD AS Fe^{2+} ADSORBENT**

Aulya Nurwanda¹, Titin Anita Zaharah¹, Rudiyanasyah^{1*}

¹*Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas
Tanjungpura, Pontianak 78124, Indonesia*

*Corresponding author: rudiyanasyah@chemistry.untan.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.26418/indonesian.v9i2.103166>

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 December
2025

Accepted 16 July 2026

Available online
14 August 2026

Keywords:

Adsorption, Fe^{2+} ,
KOH, red mud, SiO_2



©2026 Author(s). This is an open-access article under the CC-BY license

ABSTRACT

Red mud is alumina industry waste that poses environmental concerns. It has a high silica content, which offers potential for use as an adsorbent. This study aims to investigate the effect of varying KOH concentrations (2.5, 3.0, and 3.5 M) on the particle size of extracted silica and its ability to adsorb Fe^{2+} ions. Silica was synthesized using the sol-gel method followed by calcination at 500 °C for 2 hours. The Particle Size Analyzer (PSA) revealed that the smallest particle size was observed at 2.5 M KOH, measuring 450.8 nm with a PDI of 2.488. The optimum silica sample was further characterized using X-ray fluorescence (XRF), Gas Sorption Analyzer (GSA), Fourier Transform Infrared (FT-IR), and X-ray diffraction (XRD). XRF analysis showed an increase in SiO_2 content from 37.218% to 60.132%. GSA analysis indicated a surface area of 105.772 m^2/g , pore volume of 0.367 cc/g , and pore diameter of 6.73 nm, classifying it as a mesoporous material. FT-IR spectra confirmed the presence of silanol and siloxane groups, while XRD diffractogram demonstrated a crystalline silica structure, quartz phase. Adsorption tests on Fe^{2+} ions showed an average removal efficiency of 75.53% and a distribution coefficient of 0.62 L/g.

1. Pendahuluan

Kalimantan Barat memiliki sumber daya alam berupa bijih bauksit yang melimpah. Industri pertambangan dan pengolahan bauksit menjadi alumina dilakukan dengan metode Bayer yang menghasilkan limbah berupa lumpur halus berwarna merah kecokelatan yang dikenal sebagai residu bauksit atau *red mud*. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, *red mud* tergolong sebagai limbah B3 karena memiliki alkalinitas tinggi dengan pH 11–12 sehingga perlu dilakukan penanganan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, *red mud* mengandung unsur Fe sebesar 29,15%, Si sebesar 22,49%, Ca sebesar 3,19%, dan Ti sebesar 2,92%, dengan komposisi mineral yang terdiri atas 55,5% ferrosilit, 33,9% hematit, dan 10,7% ilmenit^[1]. Kandungan silika yang tinggi pada *red mud* dapat dimanfaatkan sebagai adsorben.

Silika merupakan senyawa kimia berbentuk padatan berpori yang dapat dimanfaatkan sebagai

adsorben karena memiliki gugus aktif siloksan (Si–O–Si) dan silanol (Si–OH). Silika dapat diekstraksi menggunakan larutan basa kuat, seperti kalium hidroksida (KOH) dan natrium hidroksida (NaOH). Atom K pada KOH memiliki energi ionisasi yang lebih rendah daripada atom Na pada NaOH sehingga K lebih reaktif dan lebih mudah melepaskan elektron^[2]. Renika *et al.* (2021) telah mensintesis silika dari tongkol jagung dengan variasi konsentrasi NaOH (1, 2, 3, 4, dan 5 M), dengan ukuran partikel terkecil sebesar 14,7475 nm pada konsentrasi 4 M. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi alkali memengaruhi ukuran partikel. Konsentrasi alkali yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan aglomerasi partikel sehingga menghasilkan ukuran partikel yang lebih besar. Salah satu metode yang umum digunakan dalam proses sintesis silika adalah metode sol-gel. Metode sol-gel memiliki beberapa keunggulan, yaitu proses berlangsung pada suhu rendah, mudah dilakukan, biaya relatif murah, serta dapat menghasilkan produk dengan kemurnian dan homogenitas yang tinggi^[3].

Salah satu permasalahan lingkungan yang sering dijumpai adalah tingginya kadar ion logam besi (Fe) di sungai yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem perairan dan manusia. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu kandungan besi terlarut dalam air sungai kelas I adalah sebesar 0,3 mg/L. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi kadar ion logam Fe dalam air sungai adalah metode adsorpsi yang memiliki keunggulan berupa efisiensi yang tinggi dan biaya yang relatif murah. Rusdianasari *et al.* (2020) telah mensintesis silika dari abu sekam padi menggunakan pelarut KOH 1,5 M dan memperoleh efisiensi adsorpsi ion logam Fe sebesar 88,63% dengan waktu kontak 25 menit pada limbah tekstil^[4].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengekstraksi silika dari *red mud* dengan variasi konsentrasi KOH (2,5; 3; dan 3,5 M), yang dilanjutkan dengan sintesis silika menggunakan metode sol-gel untuk memperoleh silika dengan ukuran partikel dan kemampuan adsorpsi yang optimal. Identifikasi ukuran dan distribusi partikel silika dilakukan menggunakan instrumen *Particle Size Analyzer* (PSA). Silika dengan hasil PSA terbaik selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Gas Sorption Analyzer* (GSA), *Fourier Transform Infra-Red* (FT-IR), *X-Ray Diffraction* (XRD), serta diuji kemampuan adsorpsinya terhadap ion Fe^{2+} menggunakan larutan artifisial.

2. Metode

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi ayakan berukuran 150 dan 200 mesh, batang pengaduk, botol semprot, botol vial, bola hisap (*bulb*), cawan petri, corong, desikator, erlenmeyer, gelas kimia, gelas ukur, *hot plate*, kertas pH, kertas saring Whatmann No.41, labu ukur, magnet kulkas, magnet neodimium, *magnetic stirrer*, mortar dan alu, neraca analitik (Ohaus Pioneer PX224/E), oven (UN55 Memmert), penggoyang (*shaker*), pipet ukur, rangkaian alat refluks, spatula, dan tanur (Muffle). Peralatan analisis yang digunakan meliputi *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) (Shimadzu AA-6300), *Fourier Transform Infra-Red* (FT-IR) (Bruker Alpha), *Gas Sorption Analyzer* (GSA) (Quantachrome Novatouch Lx4), *Particle Size Analyzer* (PSA) (Horiba SZ-100), *X-Ray Diffraction* (XRD) (X'pert PRO Powder Pw3040), dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) (PANalytical Epsilon 3).

Bahan yang digunakan meliputi asam klorida (HCl) 37% (Merck), asam nitrat (HNO_3) (Merck), besi(II) sulfat heptahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (Merck), buffer asetat pH 5, kalium hidroksida (KOH) (Merck), dan *red mud* yang diperoleh dari PT Indonesia Chemical Alumina (ICA), Tayan Hilir, Kabupaten Sanggau.

2.2. Prosedur Kerja

Pengeringan dan Pengukuran pH

Sampel basah *red mud* dijemur selama 2 hari hingga kering, kemudian pH sampel diukur. Sampel kering ditimbang sebanyak 2 g dan dimasukkan ke dalam botol vial, kemudian ditambahkan 10 mL

akuades. Campuran kemudian dikocok menggunakan *shaker* pada kecepatan 150 rpm selama 60 menit. Selanjutnya, pH campuran diukur menggunakan indikator pH universal dan diperoleh nilai pH sebesar 11. Campuran didiamkan selama 1 jam, kemudian pH diukur kembali. Pengukuran pH dilakukan secara triplo^[1].

Separasi Magnetik dan Penetrulan

Sampel kering sebanyak 100 g dipisahkan menggunakan magnet kuat (magnet neodimium) dan magnet lemah (magnet kulkas). Sampel yang tidak tertarik oleh magnet (nonmagnetik) diturunkan pH-nya menggunakan 250 mL HCl 1 M, kemudian dicuci dengan akuades hingga mencapai pH netral. Setelah mencapai pH netral, sampel dikeringkan dalam oven selama 8 jam pada suhu 110 °C. Sampel nonmagnetik yang telah kering dan netral kemudian digerus hingga diperoleh ukuran partikel relatif homogen, lalu diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Sampel nonmagnetik selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRF untuk mengetahui komposisi unsur yang terkandung dalam material^[1].

Ekstraksi Silika dari Red Mud

Sebanyak 200 g sampel hasil preparasi ditimbang dan dimasukkan ke dalam labu leher tiga, kemudian ditambahkan 100 mL larutan KOH dengan variasi konsentrasi 2,5; 3,0; dan 3,5 M. Masing-masing campuran dipanaskan pada suhu 85 °C menggunakan *hot plate* sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 90 menit pada kecepatan 350 rpm untuk mengekstraksi silika yang terkandung dalam serbuk sampel. Campuran kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 41 sehingga diperoleh filtrat berupa kalium silikat.

Sintesis Silika dengan Metode Sol-Gel

Larutan kalium silikat ditambahkan dengan 250 mL larutan HCl 1 N secara perlahan hingga mencapai pH 7 dan terbentuk endapan berwarna putih. Endapan yang terbentuk didiamkan selama 18 jam. Selanjutnya, endapan disaring dan dicuci menggunakan akuades hangat hingga diperoleh silika hidrogel. Silika hidrogel yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80 °C selama 20 jam sehingga diperoleh silika xerogel. Silika xerogel kemudian dicuci kembali menggunakan akuades hangat dan dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 5 jam untuk memperoleh silika gel. ^[5]

Silika gel yang diperoleh digerus menggunakan mortar dan alu, kemudian diayak menggunakan ayakan 150 mesh dan dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 2 jam. Hasil kalsinasi digerus kembali dan diayak menggunakan ayakan 150 mesh hingga diperoleh serbuk silika yang selanjutnya dikarakterisasi menggunakan PSA. Sampel dengan hasil karakterisasi PSA terbaik selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRF, GSA, XRD, dan diuji kemampuan adsorpsinya.

Uji Kemampuan Adsorpsi Silika Hasil Sintesis

Larutan kerja FeSO₄ diatur pH-nya menggunakan larutan buffer asetat pH 5 hingga mencapai pH 4, kemudian dipindahkan ke dalam empat botol vial cokelat, masing-masing sebanyak 20 mL. Serbuk silika ditambahkan ke dalam tiga botol vial cokelat yang berisi larutan FeSO₄, masing-masing sebanyak 0,1 g, sedangkan satu botol vial yang berisi larutan FeSO₄ digunakan sebagai larutan standar. Botol vial ditutup rapat, kemudian dilapisi *wrapping* dan dilakukan proses adsorpsi menggunakan *shaker* pada kecepatan 180 rpm selama 30 menit. Larutan FeSO₄ setelah proses adsorpsi kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 41. Filtrat yang diperoleh ditambahkan HNO₃ secara bertahap hingga mencapai pH 2, kemudian konsentrasi ion Fe yang tersisa diukur menggunakan AAS. Nilai koefisien distribusi (K_d) dihitung menggunakan Persamaan 1^[6].

$$Kd = \frac{(C_0 - C_e) \times m}{C_e \times V} \quad (1)$$

Persentase penyisihan (% *removal*) Fe dapat dihitung menggunakan Persamaan 2^[7].

$$\%removal = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Preparasi Sampel Red Mud

Penelitian ini menggunakan *red mud* yang mengandung silika (SiO_2) pada fraksi nonmagnetik sebagai fokus utama. Pemisahan material magnetik dilakukan menggunakan magnet neodimium untuk mengurangi pengotor, terutama Fe_2O_3 , kemudian dilakukan netralisasi menggunakan HCl untuk meningkatkan kemurnian silika. Silika dalam *red mud* merupakan oksida asam yang relatif stabil terhadap pelarutan dalam kondisi asam sehingga kemurniannya dapat meningkat setelah proses penetralan. Hasil analisis komposisi unsur *red mud* setelah preparasi menggunakan XRF disajikan pada Tabel 1.

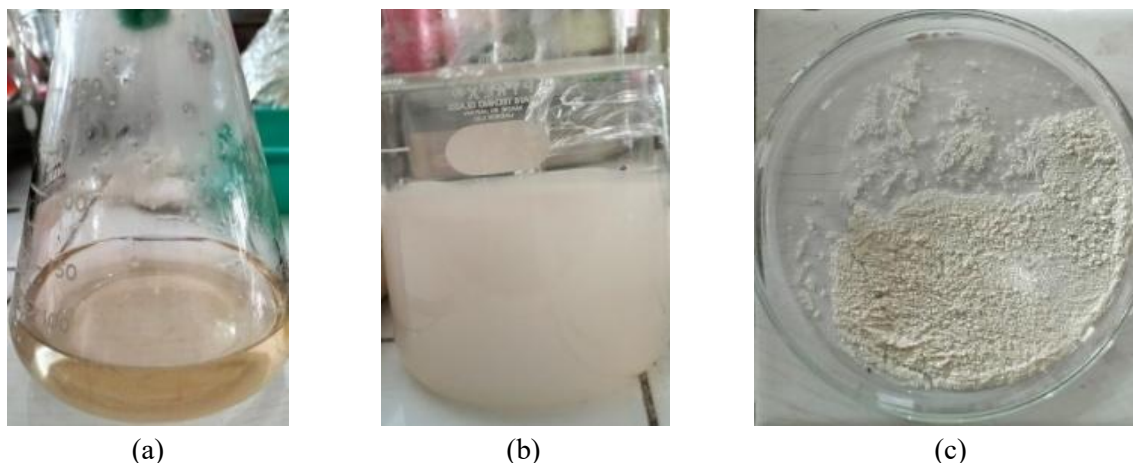
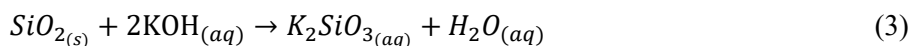
Tabel 1. Komposisi unsur dan oksida dalam material nonmagnetik *red mud* setelah preparasi berdasarkan analisis XRF

Unsur	Kandungan (%)	Senyawa Oksida	Kandungan (%)
Fe	37,705	Fe_2O_3	31,779
Si	29,572	SiO_2	37,218
Al	21,867	Al_2O_3	20,783
Ti	3,095	TiO_2	2,756
Ca	2,048	CaO	1,577

Tabel 1 menunjukkan bahwa material nonmagnetik *red mud* hasil preparasi memiliki kandungan SiO_2 yang dominan dibandingkan senyawa oksida lainnya. Penggunaan HCl membantu melarutkan sebagian komponen logam yang bersifat basa tanpa melarutkan silika secara signifikan sehingga kandungan relatif SiO_2 dalam *red mud* meningkat^[5].

3.2. Ekstraksi dan Sintesis Silika

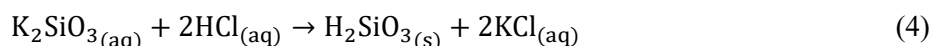
Ekstraksi silika dari *red mud* dilakukan dengan melarutkan sampel menggunakan pelarut alkali, yaitu kalium hidroksida (KOH). KOH berperan sebagai sumber ion K^+ dan menghasilkan larutan kalium silikat (K_2SiO_3). Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada Persamaan (3).



Gambar 1. Proses pembentukan silika: (a) filtrat K_2SiO_3 , (b) gel SiO_2 , dan (c) silika hasil sintesis

Kalium silikat yang diperoleh selanjutnya disintesis menggunakan metode sol-gel, yaitu metode sintesis silika yang melibatkan transformasi larutan kalium silikat menjadi gel padat melalui proses asidifikasi, hidrolisis, dan kondensasi hingga terbentuk jaringan polimer siloksan tiga dimensi. Setelah pembentukan gel, dilakukan proses *aging* untuk memperkuat dan menstabilkan struktur gel sehingga diperoleh silika dengan sifat fisik dan kimia yang optimal^[5]. Kalsinasi silika bertujuan untuk

menghilangkan sisa bahan organik dan air sekaligus menstabilkan struktur silika sehingga diperoleh material dengan kemurnian yang lebih tinggi^[10]. Tahapan pembentukan silika dapat dilihat pada Gambar 1. Sementara, reaksi yang terjadi pada tahap ini dapat dilihat pada Persamaan 4 dan 5.



3.3. Karakteristik Silika Hasil Sintesis

Karakterisasi menggunakan PSA bertujuan untuk menentukan ukuran dan distribusi ukuran partikel. Hasil karakterisasi PSA terhadap silika hasil sintesis dengan variasi konsentrasi KOH (2,5 M; 3 M; dan 3,5 M) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi ukuran partikel silika hasil sintesis

Perlakuan	Z-Average (nm)	PDI
KOH 2,5 M	450,8	2,488
KOH 3 M	499,9	2,726
KOH 3,5 M	504,3	2,694

Hasil analisis PSA pada Tabel 2 menunjukkan bahwa silika dengan ukuran rata-rata partikel terkecil diperoleh pada variasi konsentrasi KOH 2,5 M. Peningkatan konsentrasi KOH menyebabkan peningkatan ukuran rata-rata partikel silika. Hal ini dapat disebabkan oleh peningkatan jumlah zat terlarut dalam larutan. Semakin tinggi konsentrasi, semakin banyak spesies yang terlarut sehingga interaksi antarpartikel meningkat dan viskositas larutan menjadi lebih besar^[11]. Nilai indeks polidispersitas (PDI) yang tinggi menunjukkan distribusi ukuran partikel yang tidak seragam. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh proses nukleasi yang heterogen akibat keberadaan pengotor^[12].

Silika hasil sintesis pada konsentrasi KOH 2,5 M selanjutnya dianalisis menggunakan XRF untuk mengetahui komposisi unsur dan senyawa oksida. Hasil karakterisasi XRF disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi unsur dan senyawa oksida silika hasil sintesis

Unsur	Kandungan (%)	Senyawa Oksida	Kandungan (%)
Fe	2,744	Fe ₂ O ₃	3,504
Si	61,294	SiO₂	60,132
Al	24,456	Al ₂ O ₃	24,955
Ti	2,157	TiO ₂	2,813
Ca	2,09	CaO	2,61

Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan SiO₂ pada material meningkat sebesar 22,914% setelah proses sintesis, dengan SiO₂ menjadi senyawa oksida yang paling dominan, yaitu sebesar 60,132%. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi KOH memengaruhi efisiensi ekstraksi dan kandungan SiO₂ dalam produk. Konsentrasi KOH yang optimal memungkinkan ekstraksi silika secara efektif, sedangkan konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terbentuknya spesies silikat yang lebih banyak sehingga proses ekstraksi tidak berlangsung secara optimal^[8]. Selain itu, tahap pencucian dan kalsinasi berperan penting dalam menghilangkan pengotor sehingga dapat meningkatkan kandungan SiO₂^[10].

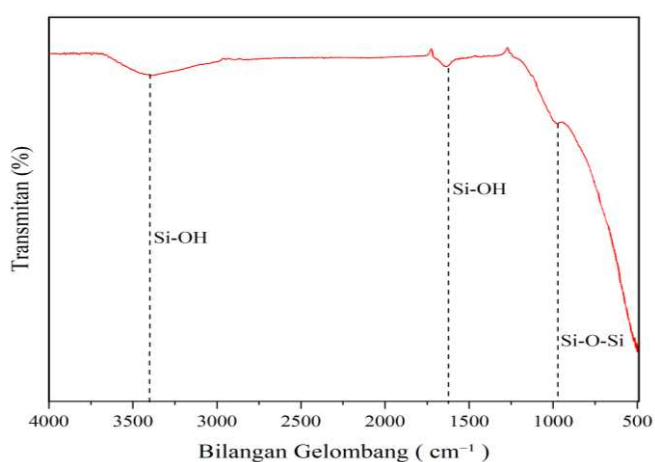
Karakterisasi menggunakan GSA bertujuan untuk menentukan luas permukaan spesifik, volume pori, diameter pori, serta karakteristik adsorpsi dan desorpsi suatu adsorben^[13]. Hasil karakterisasi GSA disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis GSA silika hasil sintesis

Luas Permukaan Spesifik (m ² /g)	Volume Pori Total (cm ³ /g)	Diameter Pori (nm)
105,772	0,355994	6,73137

Tabel 4 menunjukkan bahwa silika hasil sintesis memiliki luas permukaan spesifik 105,772 m²/g, volume pori total sebesar 0,356 cm³/g, dan diameter pori 6,73 nm. Berdasarkan klasifikasi IUPAC, ukuran pori tersebut termasuk dalam kategori mesopori^[14]. Luas permukaan spesifik yang besar dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi karena menyediakan lebih banyak situs aktif pada permukaan adsorben. Diameter pori yang cukup besar ini juga memungkinkan ion Fe²⁺ yang memiliki jari-jari ionik kecil (0,62–0,78 Å)^[15] untuk berinteraksi secara efektif dengan permukaan silika^[16].

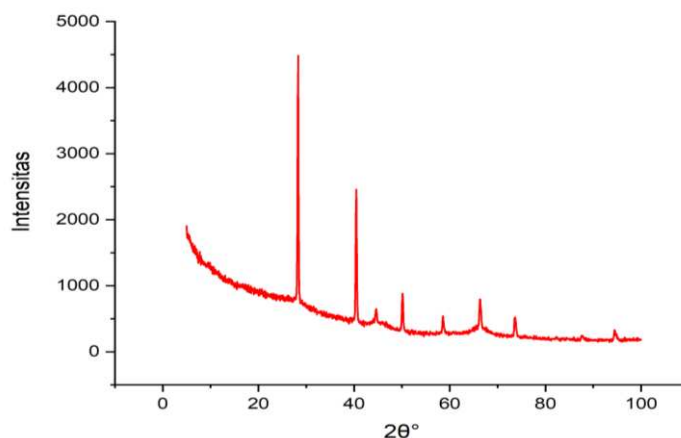
Karakterisasi menggunakan FT-IR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi berdasarkan serapan radiasi inframerah oleh atom yang mengalami vibrasi. Spektrum inframerah yang digunakan berada pada daerah bilangan gelombang 4000–500 cm⁻¹. Spektrum FT-IR silika hasil sintesis dari *red mud* disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum FT-IR silika hasil sintesis

Gambar 2 menunjukkan beberapa puncak serapan, yaitu pada 3383 cm⁻¹ yang berkairan dengan vibrasi ulur O–H dari gugus Si–OH dan H₂O teradsorpsi, 1642 cm⁻¹ yang berkaitan dengan vibrasi tekuk O–H, serta 978 cm⁻¹ yang berkaitan dengan vibrasi ulur Si–O. Gugus hidroksil pada daerah serapan 3383 cm⁻¹ dapat berperan dalam proses adsorpsi ion logam melalui interaksi pada permukaan silika. Keberadaan gugus silanol (Si–OH) menunjukkan adanya situs aktif pada permukaan silika yang dapat berinteraksi dengan ion Fe²⁺ sehingga mendukung kemampuan adsorpsi material^[17].

Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk menentukan sifat kristalinitas suatu material sebagai kristal atau amorf. Difraktogram silika hasil sintesis dari *red mud* disajikan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 5, diketahui bahwa silika hasil sintesis memiliki puncak difraksi tajam pada 2 θ =28,27°; 40,43°; 50,11°; dan 66,32° yang mengindikasikan keberadaan fase kristalin quartz (COD#96-101-1160)^[18]. Kristalinitas ini terbentuk karena proses kalsinasi pada suhu 500 °C yang cukup untuk menghilangkan pengotor tetapi belum mencapai titik leleh sehingga silika tidak melebur menjadi amorf^[19]. Ukuran kristal (D) dihitung menggunakan persamaan Debye Scherrer yang menunjukkan bahwa nilai ukuran kristal berbanding terbalik dengan nilai *full width at half maximum* (FWHM). Berdasarkan Tabel 5 diketahui bahwa hasil perhitungan ukuran kristal silika hasil sintesis sesuai dengan teori persamaan Debye Scherrer dan diperoleh rata-rata ukuran kristal sebesar 29,9820 nm^[20].



Gambar 3. Difraktogram silika hasil sintesis

Tabel 5. Hasil XRD Silika Hasil Sintesis

2θ (°)	FWHM	d -spacing (Å)	Ukuran Kristal (nm)
28,27	0,2165	3,154	37,4194
40,43	0,2537	2,229	32,9984
50,11	0,2785	1,819	31,1384
66,32	0,5108	1,408	18,3717
Rata-Rata Kristal			29,9820

Kemampuan adsorpsi silika hasil sintesis terhadap ion Fe^{2+} diuji menggunakan AAS. Hasil pengukuran AAS disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Kemampuan Adsorpsi Silika Hasil Sintesis

Pengulangan	Konsentrasi Awal (C_0) (ppm)	Konsentrasi Akhir (C_e) (ppm)	Penurunan Konsentrasi (%)	Koefisien Distribusi (L/g)
1	10,00	2,33	76,7	0,66
2	10,00	2,57	74,3	0,57
3	10,00	2,44	75,6	0,62
Rata-Rata	10,00	2,45	75,53	0,62

Hasil uji kemampuan adsorpsi menunjukkan bahwa 0,1 g silika mampu mengadsorpsi ion Fe^{2+} dengan persentase rata-rata sebesar 75,53%. Proses adsorpsi dapat berlangsung melalui interaksi fisik dan kimia. Pada tahap awal, ion Fe^{2+} dapat berinteraksi dengan permukaan silika melalui gaya antarmolekul, kemudian dilanjutkan dengan interaksi kimia pada situs aktif permukaan. Gugus silanol (Si-OH) pada permukaan silika menyediakan situs aktif yang dapat berinteraksi dengan ion Fe^{2+} melalui interaksi elektrostatis maupun pembentukan kompleks permukaan, sehingga mendukung proses adsorpsi ion Fe^{2+} [4].

4. Kesimpulan

Konsentrasi KOH memengaruhi ukuran dan distribusi ukuran partikel silika. Semakin tinggi konsentrasi KOH, semakin besar ukuran partikel silika dan semakin tidak seragam distribusinya. Hasil analisis XRF menunjukkan peningkatan kandungan SiO_2 dari 37,218% menjadi 60,132%. Hasil analisis GSA menunjukkan luas permukaan spesifik sebesar 105,772 m^2/g dengan ukuran pori yang termasuk dalam kategori mesopori. Hasil karakterisasi FT-IR mengonfirmasi keberadaan gugus silanol dan siloksan, sedangkan hasil XRD menunjukkan bahwa silika memiliki struktur kristalin dengan fase

quartz. Silika hasil sintesis mampu menurunkan kadar ion Fe^{2+} dengan persentase *removal* rata-rata sebesar 75,53% dan koefisien distribusi sebesar 0,62 L/g.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih disampaikan kepada PT Indonesia Chemical Alumina yang telah menyediakan sampel *red mud* untuk penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Rossalina, W., Zaharah, T. A., dan Silalahi, I. H., (2021). Komposisi Unsur dan Karakterisasi Mineral Magnetik dalam *Red Mud*, Residu Bauksit di PT. *Indonesia Chemical Alumina* (ICA) Kalimantan Barat. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 4(3):139-144. <https://doi.org/10.26418/indonesian.v4i3.49660>
- [2] Handayani, P. A., Nurjanah, E., dan Rengga, W. D. P., (2015). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 4(2):55-59. <https://doi.org/10.15294/jbat.v3i2.3698>
- [3] Eddy, D. R., Noviyanti, A. R., dan Janati, D., (2016). Sintesis Silika Metode Sol-Gel Sebagai Penyangga Fotokatalis TiO_2 Terhadap Penurunan Kadar Kromium dan Besi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 17(2):82-89
- [4] Sahania, R. R., Utubira, Y., dan Mnuhutu, J. B., (2024). Efisiensi dan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif dari Kulit Jagung dalam Menurunkan Kadar Logam Fe. *Molucca Journal of Chemistry Education*, 14(1):60-69.
- [5] Nur'aeni, D., Hadisantoso, E. P., dan Suhendar, D., (2017). Adsorpsi Ion Logam Mn^{2+} dan Cu^{2+} oleh Silika Gel dari Abu Ampas Tebu. *Al-Kimiya*, 4(2):70-80. <https://doi.org/10.15575/ak.v4i2.5087>
- [6] Hastuti, S., Utomo, I. T., Martini, T., Pranoto, P., Purnawan, C., Masykur, A., dan Wibowo, A. H., (2021). Pemanfaatan Abu Sekam Padi sebagai Sumber Silika untuk Pembuatan Adsorben Ion Logam Cd(II) melalui Teknik *Imprinted Ionic*. *ALCHEMY: Jurnal Penelitian Kimia*, 17(1):113-123. <https://doi.org/10.20961/alchemy.17.1.44241.113-123>
- [7] Fitria, M., Sylvia, N., dan Meriatna., (2023). Pemanfaatan Kertas HVS Bekas sebagai Adsorben untuk Menurunkan Kadar Timbal (Pb) dalam Limbah Artifisial. *Chemical Engineering Journal Storage*, 3(4):548-559. <https://doi.org/10.29103/cejs.v3i4.4589>
- [8] Agung M, G. F., Hanafie Sy, M. R., dan Mardina, P., (2013). Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi dengan Pelarut KOH. *Konversi*, 12(2):28-31.
- [9] Yusof, M, Y, H., and Bakar, M, A, A., (2024). Optimizing Silica Extraction form Rice Ash: A Comparative Study of Alkaline and Acid Leaching. *Scientific Research Journal*, 22:91-105. <https://doi.org/10.24191/srj.v22is.12353>
- [10] Noverliana, N., dan Asmi, D., (2015). Sintesis Keramik Silika dari Daun Bambu dengan Teknik Sol-Gel dan Karakterisasi pada Suhu Kalsinasi 500°C, 600°C, dan 700°C. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 3(1):17-23. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v3i1.68>
- [11] Ismayana, A., Maddu, A., Saillah, I., Mahfuq, E., dan Indrasti, N. S., (2017). Sintesis Nanosilika dari Abu Ketel Industri Gula dengan Metode Ultrasonikasi dan Penambahan Surfaktan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 27(2):228-234.
- [12] Habibah, N., Noval., Melviani., dan Audina, M., (2025). Formulasi dan Evaluasi Sediaan *Acne Krim* Nanopartikel Ekstrak Daun Gelinggang (*Cassia Alata L.*) dengan Variasi Konsentrasi Setil Alkohol dan Tween 80. *Jurnal Farmasi Malahayati*, 8(1):48-60. <https://doi.org/10.33024/jfm.v8i1.18358>
- [13] Fatimah, S., Arnelli., dan Astuti, Y., (2023). Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Sabut Kelapa dengan Aktivator H_2SO_4 dan NaOH sebagai Adsorben Kation Fe dan Cu dalam Limbah

- Cair Batik Kebumen. *Greensphere: Journal of Environmentl Chemistry*, 3(1):1-8. <https://doi.org/10.14710/gjec.2023.16300>
- [14] Astuti, D. H., Sani., Fadilla, A. K. N., dan Mahendra, Y. I., (2020). Kajian Kualitas Komposisi Adsorben Berbahan Baku Lumpur Panas Sidoarjo. *Jurnal Teknik Kimia*, 14(2):80-85. https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v14i2.2033
- [15] Shannon, R. D., (1976). Revised Effective Ionic Radii and Systematic Studies of Interatomic Distances in Halides and Chalcogenides. *Acta Crystallographica Section A*, 32(5):751-767. <https://doi.org/10.1107/S0567739476001551>
- [16] Sera. R., Lesmana, D., dan Maharani, A., (2019). Pengaruh Temperatur dan Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben dari Bagas. *Jurnal Kelitbangan*, 7(2):181-196.
- [17] Ellerbrock, R., Stein, M., and Schaller, J., (2022). Comparing Amorphous Silica, Short-Range-Ordered Silicates And Silicic Acid Species by FTIR. *Scientific Reports*, 12(1):11708
- [18] Samad, A., Baidya, S., Akhtar, U. S., Ahmed, K. S., Roy, S. C., and Islam, S., (2021). Manufacture of Refractory Brick from Locally Available Red Clay Blended With White Portland Cement and Its Performance Evaluation. *International Journal of GEOMATE*, 20(80):106-112.
- [19] Anisara, R., Ayu, P. K. W. G., dan Taufiq, A., (2024). Silica Gel From Bagasse Ash For Methylene Blue Adsorption. *Jurnal Sains Natural*, 14(3):142-153. <https://doi.org/10.31938/jsn.v14i3.738>
- [20] Bonardo, D., dan Siburian, R., (2021). Analisis Struktur Nano Partikel dari Abu Ampas Tebu Menggunakan Metode XRD. *Jurnal Hasil Penelitian Bidang Fisika*, 9(1):13-19. <https://doi.org/10.24114/einstein.v9i1.23550>