



EFFECT OF NaOH CONCENTRATION ON SURFACE WIDTH AND PORE VOLUME OF SILICA GEL FROM BEEF SHRAIN AS ADSORBENT

Nurmustaqimah, Siti Jamilatun* Aster Rahayu

Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan,
Jalan Lingkar Selatan, Taman, Bantul Yogyakarta, 55166

ARTICLE INFO

Article history:

Received 08 Feb 2025,

Revised 25 Feb 2025,

Accepted 26 Feb 2025,

Available online 03 May 2025

Keywords:

- ✓ Rice husk ash;
- ✓ silica gel;
- ✓ NaOH concentration;
- ✓ surface area;
- ✓ pore volume;
- ✓ adsorption.

*corresponding author:

E-mail:

sitijamilatun@che.uad.ac.id

Phone: +6281326262481

[https://doi.org/10.31938/jsn.v](https://doi.org/10.31938/jsn.v15i2.814)

[15i2.814](https://doi.org/10.31938/jsn.v15i2.814)

ABSTRACT

Rice husk is a natural source of silica that has the potential to be utilized in various applications, especially in industrial wastewater treatment. This study aims to determine the effect of NaOH concentration on the surface area and pore volume of silica gel from rice husk as an adsorbent. The method used is sol-gel with variations in NaOH concentration, namely 1, 2, and 3 M. The process of making silica gel consists of four steps. The silica gel manufacturing process consists of four steps: (1) combustion of rice husk using a furnace, (2) preparation of sodium silicate solution, (3) formation of silica gel through the addition of HCl, and (4) sample testing. Based on XRF analysis, rice husk ash is rich in silica (SiO_2) with a concentration of up to 32.189%, while water content testing shows that the 2 M NaOH concentration provides the largest decrease in water content (96%), higher than the concentrations of 1 M and 3 M, which reach 95%, in line with the results of BET analysis showing optimum conditions at a concentration of 2 M producing the highest surface area (138.720 m^2/g) and the largest pore volume (0.673 cm^3/g). The 1 M NaOH concentration produced a smaller surface area of 73.869 m^2/g with a pore volume of 0.501 cm^3/g . Meanwhile, the 3 M NaOH concentration decreased the surface area to 111.626 m^2/g with a pore volume of (0.640 cm^3/g). Overall, the 2 M NaOH concentration proved to be the most effective in increasing surface area and pore volume. Thus, the resulting silica gel is very suitable for adsorption applications, especially in the treatment of industrial wastewater.

ABSTRAK

Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Luas Permukaan dan Volume Pori Silika Gel dari Sekam Padi Sebagai Adsorben

Sekam padi merupakan sumber silika alami yang berpotensi dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam pengolahan air limbah industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi NaOH terhadap luas permukaan dan volume pori silika gel dari sekam padi sebagai adsorben. Metode yang digunakan merupakan metode sol-gel dengan variasi konsentrasi NaOH, yaitu 1, 2, dan 3 M. Proses pembuatan silika gel terdiri dari empat tahap: (1) pembakaran sekam padi menggunakan *furnace*, (2) pembuatan larutan natrium silikat, (3) pembentukan silika gel melalui penambahan HCl, dan (4) pengujian sampel. Berdasarkan analisis XRF, abu sekam padi kaya akan silika (SiO_2) dengan konsentrasi mencapai 32,189%, sedangkan Pengujian kadar air menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH 2 M memberikan penurunan kadar air terbesar (96%), lebih tinggi dibandingkan konsentrasi 1 M dan 3 M yang mencapai 95%, sejalan dengan hasil analisis BET menunjukkan kondisi optimum pada konsentrasi 2 M menghasilkan luas permukaan tertinggi (138,720 m^2/g) dan volume pori terbesar (0,673 cm^3/g). Pada konsentrasi NaOH 1 M menghasilkan luas permukaan yang lebih kecil, yaitu 73,869 m^2/g dengan volume pori sebesar 0,501 cm^3/g . Sementara itu, pada konsentrasi NaOH 3 M terjadi penurunan luas permukaan menjadi 111,626 m^2/g dengan volume pori sebesar 0,640 cm^3/g . Secara keseluruhan, konsentrasi NaOH 2 M terbukti paling efektif dalam meningkatkan luas permukaan dan volume pori. Dengan demikian, silika gel yang dihasilkan sangat cocok untuk aplikasi adsorpsi, terutama dalam pengolahan limbah cair industri.

Kata kunci: Abu sekam padi; Silika gel; Konsentrasi NaOH; Luas permukaan; Volume pori; Adsorpsi.



PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara agraris dengan produksi beras sebagai salah satu komoditas utama yang dikonsumsi masyarakat. Aktivitas pertanian ini menghasilkan limbah sekam padi sebagai produk samping terbesar, yang selama ini kurang dimanfaatkan secara optimal (Istiqomah & Kusumawati, 2020). Sekitar 20% dari berat gabah kering giling (GKG) merupakan sekam padi, dan pada tahun 2024 produksi sekam padi diperkirakan mencapai 10,53 juta ton dengan produksi gabah sebesar 52,66 juta ton (Badan Pusat Statistik, 2023). Limbah sekam padi yang tidak diolah seringkali menimbulkan permasalahan lingkungan, seperti menghambat pergerakan air dan nutrisi dalam tanah, sehingga menurunkan produktivitas lahan pertanian (Asfar et al., 2022; Nadiyya et al., 2022).

Sekam padi memiliki potensi besar sebagai sumber silika (SiO_2), mineral serbaguna yang digunakan di berbagai industri, termasuk sebagai bahan adsorben untuk pengolahan air limbah. Silika yang terkandung dalam sekam padi dapat diekstraksi melalui berbagai metode, seperti pembakaran, perlakuan kimia, dan ekstraksi alkali, yang menghasilkan silika dengan kemurnian tinggi. Salah satu metode yang menjanjikan adalah metode sol-gel, yang tidak membutuhkan energi tinggi dan telah terbukti menghasilkan silika dengan struktur dan porositas yang baik (Setyawan & Yuliani, 2021). Proses pembuatan silika gel dari sekam padi melibatkan pembakaran sekam pada suhu 500–800°C untuk menghasilkan abu sekam padi (*rice husk ash/RHA*) dengan kandungan silika yang tinggi. Selanjutnya, ekstraksi alkali dilakukan menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) untuk menghasilkan natrium silikat, yang direaksikan kembali dengan asam klorida (HCl) untuk membentuk gel silika. Proses ini tidak hanya memanfaatkan limbah pertanian yang melimpah, tetapi juga memberikan nilai tambah dengan menghasilkan produk yang memiliki aplikasi luas (Handayani et al., 2014).

Silika (SiO_2) merupakan mineral serbaguna dengan aplikasi di berbagai industri dan sebagai adsorben yang efektif untuk menghilangkan logam berat dari air limbah. Silika dapat diekstraksi dari sumber alami seperti tanah napal dengan menggunakan NaOH (Situmorang et al., 2022). Adsorben berbasis silika, seperti arang sekam padi, dapat menyerap logam berat dari tanah dan air yang terkontaminasi, sehingga bermanfaat bagi tanaman hortikultura. Adsorben

berbasis silika telah menunjukkan efektivitas tinggi dalam menghilangkan logam berat seperti Pb(II), Cu(II), dan Fe dari air limbah industri, termasuk limbah tekstil dan limbah batik (Hardyanti et al., 2017). Luas permukaan dan volume pori yang tinggi pada silika gel meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap logam berat, karena menyediakan lebih banyak situs aktif untuk pengikatan polutan. Gugus aktif Si-O-Si dan Si-OH pada silika memberikan kemampuan adsorpsi yang signifikan, dengan efisiensi penghilangan logam berat yang mencapai lebih dari 80% (Pawitra et al., 2021).

Silika gel yang berasal dari berbagai sumber, seperti abu vulkanik dan ampas tebu, telah terbukti menjadi adsorben yang efektif untuk logam berat dan polutan organik. Luas permukaan dan volume pori yang tinggi memberikan banyak situs aktif untuk pengikatan polutan. Silika gel yang disintesis dari abu ampas tebu memiliki luas permukaan sebesar 43,442 m^2/g dan volume pori sebesar 0,151 cc/g , dengan struktur yang didominasi oleh mesopori (Daryono et al., 2022). Silika gel juga telah berhasil digunakan untuk menghilangkan logam besi dari limbah batik, dengan adsorpsi optimal terjadi setelah waktu kontak selama 40 menit (Hardyanti et al., 2017).

Adanya studi-studi ini menunjukkan potensi silika gel sebagai adsorben yang efisien untuk berbagai polutan. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi NaOH terhadap, penurunan kadar air, ukuran luas permukaan, dan volume pori silika gel dari sekam padi sebagai adsorben limbah logam berat.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sekam padi yang berasal dari Desa Ngunan unan, Bantul, DI Yogyakarta, HCl, NaOH, dan aquades sebagai media pelarut dan pencucian. Sedangkan, alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari *furnace* untuk membakar sekam padi hingga menghasilkan abu sekam (*silika amorf*), ayakan, kertas saring, labu takar, cawan porselen, oven, *magnetic stirrer*, *propipet*, gelas ukur, gelas beker, dan *hot plate* yang terdapat pada laboratorium di lingkungan Universitas Ahmad Dahlan. Peralatan yang digunakan untuk karakterisasi yaitu *X-Ray Fluorescence* (XRF)

dan *Gas Sorption Analyzer* (GSA) metode BET (*Brunauer-Emmett-Teller*).

Metode

Proses pembuatan silika gel menggunakan sekam padi terdiri dari beberapa tahap pembuatan dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1. proses pembuatan silika gel terdiri dari beberapa tahapan. Pertama, sekam padi dicuci dan dikeringkan untuk menghilangkan kotoran. Setelah dibersihkan, sekam padi dibakar dalam *furnace* pada suhu 600°C selama 4 jam hingga menghasilkan abu sekam padi. Abu hasil pembakaran kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh untuk memperoleh partikel yang lebih seragam. Abu sekam padi yang telah dihaluskan diekstraksi menggunakan larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 1 M, 2 M, dan 3 M. Dengan volume yang digunakan sebanyak 300 mL, selanjutnya dipanaskan pada suhu 80°C selama 1 jam untuk menghasilkan natrium silikat. Larutan natrium silikat kemudian dinetralkan dengan penambahan larutan HCl 1N hingga mencapai pH 7, sehingga terbentuk gel silika. Gel silika yang dihasilkan lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C hingga beratnya konstan, yang menandakan bahwa kadar air telah hilang. Silika gel yang diperoleh selanjutnya dianalisis kadar airnya dan dikarakterisasi menggunakan *Gas Sorption Analyzer* (GSA) metode BET (*Brunauer-Emmett-Teller*) untuk menentukan luas permukaan serta volume porinya (Setyawan & Yuliani, 2021).

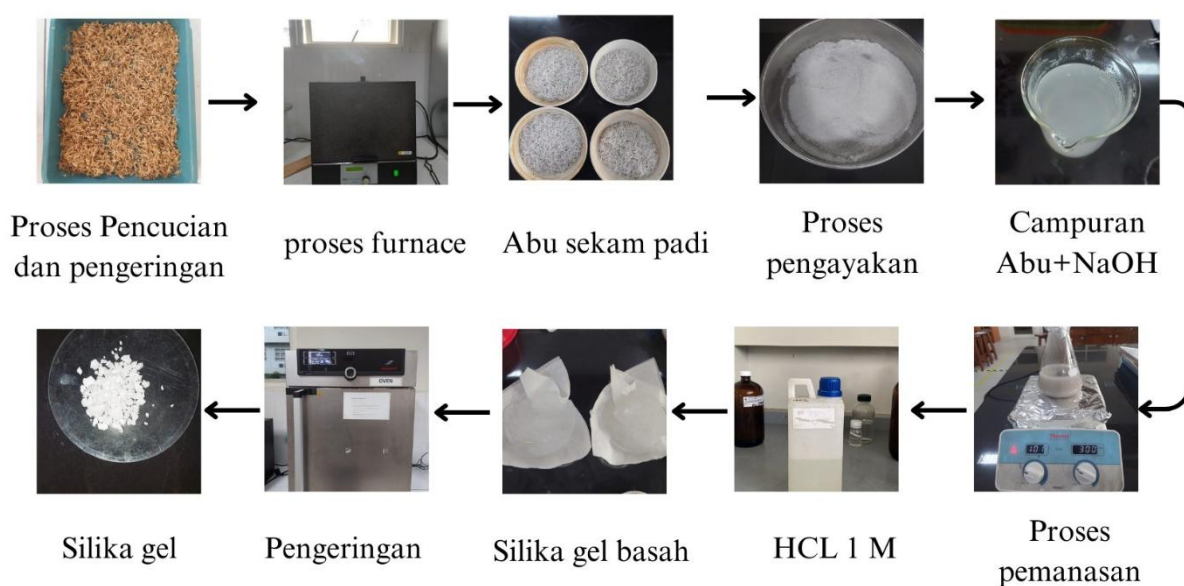
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Abu Sekam Padi

Proses pembuatan silika menggunakan bahan utama sekam padi. Dalam proses pembuatannya sekam padi akan dibakar didalam *furnace* hingga menghasilkan abu. Abu sekam padi selanjutnya akan dianalisis XRF (*X-ray fluorescence*) untuk mengetahui kandungan yang silika yang terdapat dalam abu sekam padi. Hasil analisis XRF dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis XRF Pada Abu Sekam Padi

Komponen	Konsentrasi (%)
Na ₂ O	0,142
MgO	0,040
SiO ₂	32,189
P ₂ O ₅	1,208
SO ₃	0,223
ClO ₂	0,230
K ₂ O	2,301
CaO	1,164
TiO ₂	0,023
MnO	0,205
Fe ₂ O ₃	0,239
CuO	0,005
ZnO	0,015
Rb ₂ O	0,006
SrO	0,006



Gambar 1. Proses Pembuatan Silika dari Sekam Padi

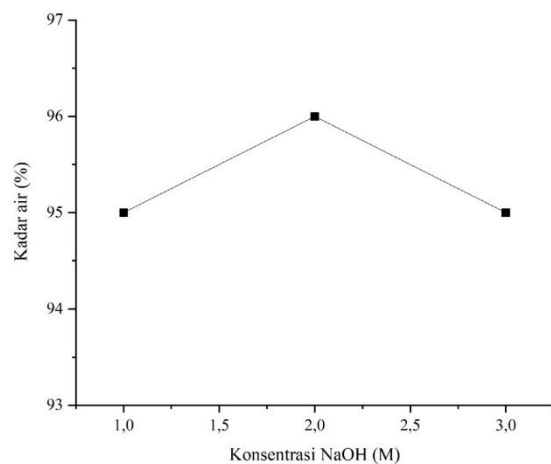
Berdasarkan Tabel 1, hasil analisis XRF pada abu sekam padi, teridentifikasi beberapa senyawa oksida utama dengan konsentrasi yang berbeda-beda yang mencerminkan komposisi kimia material tersebut. Kandungan oksida logam terbesar menunjukkan yang lebih dominan keberadaannya adalah silika (SiO_2) dengan konsentrasi mencapai 32,189%, yang menunjukkan bahwa abu sekam padi kaya akan silika dan sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan silika gel. Selain itu, kalium oksida (K_2O) memiliki konsentrasi sebesar 2,301%, yang mengindikasikan keberadaan mineral kalium dalam jumlah cukup signifikan. Selanjutnya, komponen minor seperti kalsium oksida (CaO) sebesar 1,164% dan fosfor pentaoksida (P_2O_5) sebesar 1,208% turut memberikan kontribusi sebagai senyawa mineral penting dalam abu sekam padi. Di sisi lain, oksida lainnya, seperti Fe_2O_3 (0,239%), SO_3 (0,223%), MnO (0,2%), dan Na_2O (0,142%) juga terdapat pada abu sekam padi.

Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Kadar Air

Penentuan kadar air pada silika gel dilakukan untuk mengukur jumlah air yang hilang selama proses pemanasan pada suhu tertentu. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui persentase kandungan air dalam produk akhir, sehingga dapat mengoptimalkan kemampuan silika gel dalam menyerap uap air. Kadar air didefinisikan sebagai jumlah air yang dilepaskan oleh silika gel, setelah dipanaskan pada suhu 120°C . Penelitian sebelumnya telah menggunakan berbagai konsentrasi NaOH, mulai dari 0,5 hingga 3 M, dengan metode pemurnian yang berbeda (Mujiyanti et al., 2021). Untuk penelitian ini, dipilih tiga konsentrasi utama, yaitu 1, 2, dan 3 M, untuk memperoleh perbandingan yang lebih terarah. Hasil perhitungan persentase kadar air pada silika gel dengan variasi NaOH tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2, presentase penurunan kadar air pada silika gel dengan variasi konsentrasi NaOH menunjukkan bahwa pengurangan kadar air terbanyak terjadi pada variasi NaOH dengan konsentrasi 2 M, yaitu sebesar 96%. Sementara itu, pada konsentrasi 1 M dan 3 M, presentase penurunan kadar air yang dicapai relatif sama, yaitu sebesar 95%. Hal ini mengindikasikan bahwa konsentrasi NaOH 2 M merupakan kondisi optimal dalam mengurangi kadar air pada silika gel dibandingkan dengan

konsentrasi lainnya. Perbedaan yang sedikit antara konsentrasi 1 M dan 3 M menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH di atas 2 M tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan kadar air lebih lanjut. Hal ini dapat disebabkan, pada konsentrasi NaOH 2 M situs aktif silika gel telah mencapai titik saturasi. Seluruh situs yang tersedia untuk berinteraksi dengan air telah teraktivasi, sehingga peningkatan konsentrasi menjadi 3 M tidak memberikan efek signifikan (Turmuzi et al., 2023). Selain itu, konsentrasi NaOH yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur pori silika gel, mengurangi luas permukaan efektif, dan membatasi kemampuannya dalam menyerap atau melepaskan air (Evelin et al., 2018; Qiang et al., 2016). Reaksi kimia yang tidak diinginkan, seperti pembentukan senyawa silikat, serta efek pelarutan parsial pada permukaan silika gel, juga dapat terjadi pada konsentrasi tinggi, mengubah sifat fisikokimia material, dan mengurangi efisiensinya dalam menurunkan kadar air (Ramadani, 2018a).

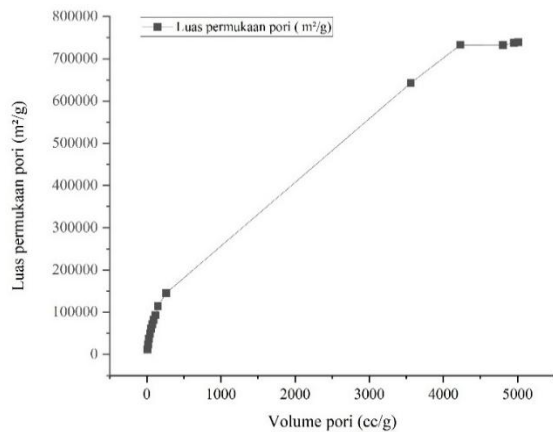


Gambar 2. Presentase Pengurangan Kadar Air pada Silika Gel

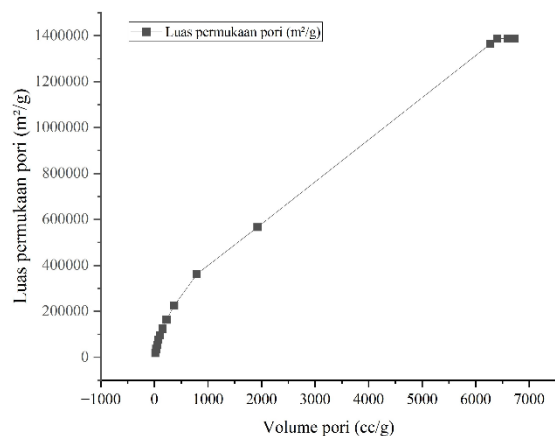
Hasil Analisis BET pada Silika Gel

Pengaruh Konsentrasi NaOH 1 M Terhadap Luas Permukaan BET

Karakteristik permukaan silika gel dianalisis menggunakan metode *Brunauer Emmett Teller* (BET) untuk mengetahui luas permukaan spesifik, diameter pori, dan volume pori dari partikel silika gel. Proses analisis BET dilakukan pada silika gel dengan variasi konsentrasi NaOH, 1, 2, dan 3 M. Hasil analisis BET pada silika gel dengan konsentrasi 1M, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH 1M Terhadap Luas Permukaan dan Volume Pori



Gambar 4. Pengaruh Konsentrasi NaOH 2 M Terhadap Luas Permukaan dan Volume Pori

Berdasarkan Gambar 3, hasil analisis BET pada konsentrasi NaOH 1M menunjukkan luas permukaan sebesar 73,869 m²/g dengan volume pori sebesar 0,501 cm³/g. Hasil dengan konsentrasi NaOH 1M menghasilkan luas permukaan yang relatif kecil dibandingkan konsentrasi NaOH yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi pada konsentrasi rendah belum cukup efektif dalam membuka pori-pori material secara maksimal. Volume pori yang cukup rendah juga mendukung bahwa jumlah pori yang terbentuk belum optimal. Aktivasi material menggunakan NaOH secara signifikan memengaruhi karakteristik permukaan dan sifat adsorpsinya. Konsentrasi NaOH yang lebih rendah (0,2-1M) umumnya menghasilkan luas permukaan dan volume pori yang lebih kecil, yang menunjukkan efektivitas pembukaan pori yang lebih rendah (Gea et al., 2020; Sembiring et al., 2023)

Pengaruh Konsentrasi NaOH 2 M Terhadap Luas Permukaan BET

Proses analisis BET dilakukan pada silika gel dengan variasi konsentrasi NaOH, 1,2,3 M. berikut hasil analisis BET pada silika gel dengan konsentrasi NaOH 2 M, dapat dilihat pada Gambar 4.

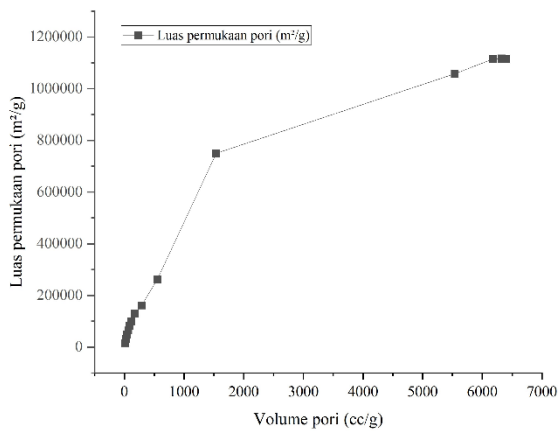
Berdasarkan Gambar 4, pada konsentrasi NaOH 2 M, hasil analisis BET menunjukkan bahwa silika gel yang dihasilkan memiliki luas permukaan sebesar 138,720 m²/g dan volume pori sebesar 0,673 cm³/g. Nilai ini merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan konsentrasi NaOH lainnya (1M dan 3M), yang menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH 2M sangat efektif dalam membuka pori-pori material dan meningkatkan area aktif silika gel. Luas permukaan yang besar ini disebabkan oleh kemampuan NaOH 2 M dalam melarutkan silika secara optimal dari abu sekam padi tanpa menyebabkan kerusakan struktural yang signifikan. Selain itu, volume pori yang tinggi 0,673 cm³/g mengindikasikan bahwa lebih banyak pori-pori terbentuk, yang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi material. Hasil ini sejalan dengan penelitian Kalapathy (2000) yang menyatakan bahwa, konsentrasi NaOH sekitar 2 M optimal untuk menghasilkan silika gel dengan luas permukaan dan porositas tertinggi dari abu sekam padi. Konsentrasi NaOH yang terlalu rendah (1M) tidak cukup untuk melarutkan silika secara maksimal, sedangkan konsentrasi yang terlalu tinggi (3M) dapat menyebabkan *over-etching* yang merusak struktur pori material. Selain itu, konsentrasi NaOH 2M efektif dalam menghasilkan silika gel dengan luas permukaan dan volume pori yang optimal, yang sangat penting untuk aplikasi adsorpsi (Liou & Yang, 2011).

Pengaruh Konsentrasi NaOH 3 M Terhadap Luas Permukaan BET

Analisis BET dilakukan pada variasi NaOH dengan konsentrasi 3 M untuk mengetahui luas permukaan dari silika gel sekam padi dan dapat dilihat pada Gambar 5.

Berdasarkan Gambar 5, pada konsentrasi NaOH 3M, luas permukaan silika gel menurun menjadi 111,626 m²/g dibandingkan dengan konsentrasi 2M. Penurunan ini diduga disebabkan oleh fenomena *over-etching* atau kerusakan struktur material akibat *agresivitas* NaOH yang terlalu tinggi. Meskipun demikian, volume pori material tetap besar, yaitu 0,640 cm³/g, yang mendekati nilai pada konsentrasi 1M. Hal ini

menunjukkan bahwa material masih memiliki kapasitas yang cukup untuk menampung cairan atau gas, meskipun luas permukaannya berkurang. Hasil ini sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang mengkaji pengaruh konsentrasi NaOH terhadap karakteristik material. Putra & Sutrisno (2016), menyatakan bahwa perlakuan NaOH meningkatkan luas permukaan abu vulkanik dari 0,7525 m²/g menjadi 4,0816 m²/g pada konsentrasi 1,5M. Sedangkan menurut (Ramadani, 2018b), menemukan bahwa konsentrasi NaOH yang lebih tinggi (1-3M) tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap luas permukaan silika *xerogel*.



Gambar 5. Pengaruh Kosentrasi NaOH 3M Terhadap Luas Permukaan dan Volume Pori

Perbandingan Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Kadar Air, Luas Permukaan, dan Volume Pori

Proses ekstraksi silika dari sekam padi menggunakan NaOH memengaruhi berbagai karakteristik fisiknya, termasuk kadar air, luas permukaan, dan volume pori. Perbandingan kadar air, luas permukaan, dan volume pori silika yang dihasilkan dari perlakuan dengan NaOH pada konsentrasi 1 M, 2 M, dan 3 M dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, konsentrasi NaOH berpengaruh terhadap kadar air, luas permukaan, dan volume pori silika dari sekam padi.

Konsentrasi NaOH 2 M menghasilkan silika dengan karakteristik terbaik, dengan kadar air 96%, luas permukaan tertinggi 138,720 m²/g, dan volume pori terbesar 0,673 cm³/g. Dengan demikian, NaOH 2 M merupakan kondisi optimal dalam menghasilkan silika dengan luas permukaan dan volume pori terbaik, yang berpotensi meningkatkan efektivitasnya dalam aplikasi adsorpsi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa abu sekam padi kaya akan silika (SiO₂) dengan konsentrasi mencapai 32,189%, yang menjadikannya bahan baku potensial untuk pembuatan silika gel. Pengujian kadar air menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH 2 M memberikan penurunan kadar air terbesar (96%), lebih tinggi dibandingkan konsentrasi 1M dan 3M yang mencapai 95%, mengindikasikan bahwa 2 M merupakan kondisi optimal untuk mengurangi kadar air. Hal ini didukung oleh analisis BET, konsentrasi NaOH 2 M menghasilkan luas permukaan tertinggi (138,720 m²/g) dan volume pori terbesar (0,673 cm³/g), menunjukkan efektivitasnya dalam membuka pori-pori material tanpa merusak struktur. Sebaliknya, konsentrasi 1 M menghasilkan luas permukaan yang lebih kecil (73,869 m²/g) dengan volume pori sebesar (0,501 cm³/g). Hal ini dapat disebabkan oleh aktivasi yang belum optimal, sedangkan konsentrasi 3 M menyebabkan penurunan luas permukaan menjadi 111,626 m²/g dengan volume pori sebesar 0,640 cm³/g. Meskipun demikian, volume pori pada konsentrasi 3 M tetap besar (0,640 cm³/g), menunjukkan bahwa material masih memiliki kapasitas adsorpsi yang cukup. Secara keseluruhan, konsentrasi NaOH 2 M terbukti paling efektif dalam meningkatkan luas permukaan, volume pori, dan mengurangi kadar air, menjadikan silika gel yang dihasilkan sangat cocok untuk aplikasi adsorpsi.

Tabel 2. Perbandingan Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Kadar Air, Luas Permukaan, dan Volume Pori

Konsentrasi NaOH	Kadar air (%)	Luas Permukaan pori (m ² /g)	Volume Pori (m ² /g)
1 M	95	73,869	0,501
2 M	96	138,720	0,673
3 M	95	111,626	0,640

DAFTAR PUSTAKA

- Asfar, A. M. I. A., Asfar, A. M. I. T., Thaha, S., Kurnia, A., Budianto, E., & Syaifullah, A. (2022). Pelatihan Transformasi Sekam Padi Sebagai Biochar Alternatif. *Kumawula: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 95. <https://doi.org/10.24198/Kumawula.V5i1.35974>
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Luas Panen Padi Tahun 2024 Diperkirakan Sebesar 10,05 Juta Hektare Dengan Produksi Padi Sekitar 52,66 Juta Ton Gabah Kering Giling (Gkg)*. <https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2024/10/15/2376/luas-panen-padi-tahun-2024-diperkirakan-sebesar-10-05-juta-hektare-dengan-produksi-padi-sekitar-52-66-juta-ton-gabah-kering-giling--gkg--.html>
- Daryono, D., Khamidinal, K., Fajriati, I., & Krisdiyanto, D. (2022). Kinetika Adsorpsi Senyawa Paraquat Pada Pestisida Dengan Silika Gel Dari Limbah Ampas Tebu (*Saccharum Officinarum*). *Indonesian Journal of Materials Chemistry*, 3(1). <https://doi.org/10.14421/ijmc.V3i1.3871>
- Evelin, L. S., Faryuni, I. D., & Sampurno, J. (2018). Aplikasi Metode Fraktal Untuk Karakterisasi Struktur Mikroskopik Karbon Aktif Limbah Tandan Sawit Teraktivasi Naoh. *Prisma Fisika*, 6(1), 39–43.
- Gea, S., Haryono, A., Andriyani, A., Sihombing, J. L., Pulungan, A. N., Nasution, T., Rahayu, R., & Hutapea, Y. A. (2020). The Effect of Chemical Activation Using Base Solution with Various Concentrations Towards Sarulla Natural Zeolite. *Elkawanie*, 6(1), 85. <https://doi.org/10.22373/ekw.V6i1.6913>
- Handayani, P. A., Nurjanah, E., & Rengga, W. D. P. (2014). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 3(2), 55–59.
- Hardyanti, I. S., Nurani, I., Hardjono Hp, D. S., Apriliani, E., & Wibowo, E. A. P. (2017). Pemanfaatan Silika (SiO₂) Dan Bentonit Sebagai Adsorben Logam Berat Fe Pada Limbah Batik. *Jst (Jurnal Sains Terapan)*, 3(2). <https://doi.org/10.32487/jst.V3i2.257>
- Istiqomah, I., & Kusumawati, D. E. (2020). Potensi Asap Cair Dari Sekam Untuk Meningkatkan Pertumbuhan Dan Produksi Padi (*Oryza Sativa L.*). *Buana Sains*, 19(2), 23. <https://doi.org/10.33366/Bs.V19i2.1745>
- Kalapathy, U. (2000). A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*, 73(3), 257–262. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00127-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00127-3)
- Liou, T.-H., & Yang, C.-C. (2011). Synthesis And Surface Characteristics of Nanosilica Produced from Alkali-Extracted Rice Husk Ash. *Materials Science and Engineering: B*, 176(7), 521–529. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2011.01.007>
- Mujiyanti, D. R., Ariyani, D., & Paujiah, N. (2021). Kajian Variasi Konsentrasi Naoh Dalam Ekstraksi Silika Dari Limbah Sekam Padi Banjar Jenis “Pandak.” *Jurnal Berkala Ilmiah Sains Dan Terapan Kimia*, 15(2), 143–153.
- Nadiyya, A., Laila, L. L., Nashiroh, P. K., Mawanta, E., & Wahyu, A. T. (2022). Pemberdayaan Karang Taruna Melalui Pelatihan Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Briket Bioarang di Desa Gumul, Kabupaten Klaten. *Budimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(2), 495–498.
- Pawitra, T., Setiawan, A., & Ramadani, T. A. (2021). Sintesis Dan Karakterisasi Kitosan-Silika Dari Abu Ampas Tebu Sebagai Adsorben Logam Berat Cu (Ii). *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 6(1), 70–77.
- Putra, M. S. N. H. S., & Sutrisno, H. (2016). Karakterisasi Fisik Abu Vulkanik Gunung Kelud Yang Dihasilkan Dari Perendaman Berbagai Konsentrasi Natrium Hidroksida. *Jurnal Elemen Kimia*, 5(2).
- Qiang, Z., Gurkan, B., Ma, J., Liu, X., Guo, Y., Cakmak, M., Cavicchi, K. A., & Vogt, B. D. (2016). Roll-To-Roll Fabrication of High Surface Area Mesoporous Carbon with Process-Tunable Pore Texture for Optimization Of Adsorption Capacity Of Bulky Organic Dyes. *Microporous And Mesoporous Materials*, 227, 57–64.

- Ramadani, K. (2018a). Sintesis Dan Karakterisasi Silika Gel Dari Limbah Kaca Untuk Menurunkan Kesadahan Air. *Jurnal Sainifik*, 4(2), 179–185.
- Ramadani, K. (2018b). Sintesis Dan Karakterisasi Silika Gel Dari Limbah Kaca Untuk Menurunkan Kesadahan Air. *Jurnal Sainifik*, 4(2), 179–185.
- Sembiring, C. H., Husnah, M., & Sirait, R. (2023). Preparasi Karbon Aktif Limbah Kulit Ubi Kayu Menggunakan Aktivasi Naoh Berbantuan Gelombang Mikro. *Journal Online of Physics*, 8(3), 33–38.
- Setyawan, N., & Yuliani, S. (2021). Synthesis Of Silica from Rice Husk by Sol-Gel Method. *Iop Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733(1), 012149.
- Situmorang, H. R., Nursanto, E., & Nurkhamim, N. (2022). Pengaruh Silika (Si) Pada Arang Sekam Padi Sebagai Adsorben Terhadap Tanaman Holtikultura. *Action Research Literate*, 6(2), 70–76.
- Turmuzi, M., Syam, Z. L., & Yunita, T. P. (2023). Pengaruh Konsentrasi Pelarut Naoh Dan Waktu Aging Pada Pembuatan Silika Gel Dari Fly Ash Batu Bara. *Jurnal Teknik Kimia Usu*, 12(2), 124–131.