

## Sintesis Natrium Silikat Menggunakan Silika dari Pasir Pantai Bengkalis

Yelmida Azis\*, Ida Zahrina, Anisa Mutamima, Cory Dian Alfarisi, Nurfatihayati

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau, Riau, Indonesia

Corresponding Author:

YelmidaAzis

yelmida.azis@lecturer.unri.ac.id

Received: September 2023

Accepted: February 2024

Published: March 2024

©YelmidaAzis et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

### Abstract

Sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) is a chemical industrial material that is widely used as a metal cleaner, adhesive, and as a filler in the detergent, soap and toothpaste industries. Sodium silicate can be synthesized from silica dioxide ( $\text{SiO}_2$ ), which can be obtained through an extraction process from materials containing silica such as sand, glass bottle waste or rice husks. In this research, the synthesis of  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  was carried out using silica extracted from Bengkalis beach sand using the acid leaching method, with a 3M HCl solution. The results of X-ray fluorescence (XRF) analysis of Bengkalis Beach sand showed that the silica content reached 89.1%. This research aims to determine the effect of the molar ratio of the NaOH reactant to the extracted  $\text{SiO}_2$  (2:1, 3:1 and 4:1) on the  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  produced. The synthesis of  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  was carried out using the hydrothermal method at atmospheric pressure, by reacting a 4M NaOH solution with 10 g of silica from Bengkalis sand, by heating at  $110^\circ\text{C}$  for an hour and stirring at 600 rpm. A molar ratio of 2:1 is the best ratio which produces 9.427g of  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . From analysis using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy, the spectrum patterns obtained are suitable for compounds containing silanol ( $\equiv\text{Si}-\text{OH}$ ) and siloxane ( $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ ) groups. The X-ray diffraction (XRD) pattern of the synthesized compound is in accordance with standard sodium silicate. The  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  obtained has a crystal diameter of 44.8 nm with an agglomerate-shaped morphology.

**Keywords:** Acid leaching, extraction, Bengkalis beach sand, silica.

### Pendahuluan

Pasir pantai ditemukan dengan kemurnian yang bervariasi tergantung pada proses terbentuknya, disamping adanya material lain yang ikut selama proses pengendapan. Kandungan yang terdapat dalam pasir memiliki jumlah yang berbeda-beda tergantung dari lokasi pasir. Pasir kuarsa, salah satu pasir yang banyak ditemukan di Indonesia, mempunyai warna putih berkilau atau bewarnalain, tergantung pada senyawa kontaminannya. Misalnya pasir kuarsa dari

Bancar Tuban, diketahui mengandung unsur-unsur dalam bentuk oksidanya seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan lainnya, mempunyai warna pasir coklat terang<sup>[1]</sup>. Material dengan unsur yang dominan berkontribusi sebagai pemberi warna pada pasir pantai.

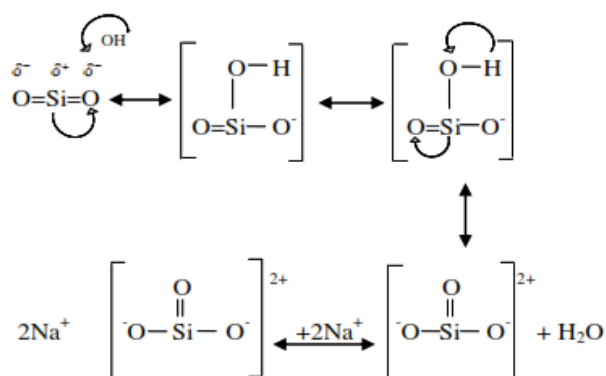
Salah satu mineral dalam pasir pantai yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam berbagai bidang adalah silika atau silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ). Silika dalam campurannya dengan komponen lainnya dalam pasir dapat dipisahkan dengan proses

*acid leaching*. Pasir yang ditemukan di daerah Bancar Tuban, mengandung silika dengan kadar kemurnian tinggi. Proses pemurnian dengan metode *leaching*, menghasilkan mikrosilika dengan kemurnian mencapai 94,8%<sup>[2]</sup>. Dengan metode hidrotermal dan kopresipitasi, dihasilkan nanosilika dengan kemurnian di atas 95%. Silika hasil pemurnian dapat digunakan sebagai bahan baku berbagai bahan kimia seperti pada pembuatan silika gel, natrium silikat dan zeolite.

Aplikasi natrium silikat dalam industri sangat luas, seperti pada sintesis adsorben gas (*silica xerogel*), bahan dasar pembentukan zeolite, material organo logam, alternatif binder<sup>[3]</sup>, inhibitor korosi, sensors, fiber optik, emulsifier dan buffers. Natrium silikat juga digunakan sebagai *filler* atau aditif untuk produk deterjen, sabun, dan lain sebagainya<sup>[4]</sup>. Natrium silikat

bisa ditemukan dalam bentuk cairan jernih yang sangat kental yang disebut *water glass*<sup>[5]</sup>. Larutan natrium silikat dapat dibuat dengan perlakuan uap panas (*steam hot*) terhadap campuran silika (biasanya sebagai pasir silika) dengan basa NaOH dan air dalam reaktor. Gambar 1 memperlihatkan mekanisme reaksi keseluruhan pada sintesis natrium silikat<sup>[6]</sup>.

Sebagai sumber silika pada sintesis natrium silikat dapat digunakan silika yang diekstrak dari berbagai sumber. Kadar silika yang cukup tinggi dalam limbah abu sekam padi, telah banyak dimanfaatkan para peneliti sebagai bahan dasar pada sintesis natrium silikat atau bahan kimia yang mengandung silika<sup>[6]-[13]</sup>. Sebagai sumber silika juga digunakan bahan baku bauxite<sup>[14]</sup>, lumpur lapindo<sup>[15]</sup>, pasir alam<sup>[16]</sup> limbah botol kaca (*waste glass*)<sup>[4]</sup> dan tailing biji besi<sup>[17]</sup>.



**Gambar 1.** Mekanisme reaksi pembentukan natrium silikat<sup>[6]</sup>

Pasir pantai Selat Baru Bengkulu yang berwarna putih kekuningan, biasanya hanya digunakan sebagai material untuk bahan bangunan. Dari analisis menggunakan *X-ray fluorescence (XRF)* ditemukan kadar silika dalam pasir Pantai Bengkulu sangat tinggi, mencapai 90%. Untuk meningkatkan nilai ekonomis dari pasir pantai Bengkulu, pada penelitian ini silika yang terkandung dalam pasir Pantai Bengkulu digunakan sebagai bahan baku pembuatan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Natrium silikat yang dihasilkan, selanjutnya akan digunakan sebagai bahan utama pembentuk zeolite sintetis berupa

zeolite 4A dan ZSM-5. Diharapkan, pasir Pantai Bengkulu akan memiliki nilai ekonomi yang tinggi, bukan hanya sebagai material bangunan.

Beberapa metoda telah digunakan untuk mengekstrak natrium silikat dari campuran mineral atau batuan seperti elektrokoagulasi, sol-gel, hidrotermal dan alkali fusi Owoeye dkk<sup>[4]</sup> mensintesis natrium silikat menggunakan reaktor kaca yang dilengkapi dengan kondensor pada suhu 150, 170 dan 200 °C dengan metode hidrotermal pada tekanan

atmosfir (14.70 psi), menggunakan silika yang diekstraksi dari limbah botol kaca dan sekam padi. Pada penelitian ini, sintesis natrium silikat dilakukan secara hidrotermal pada suhu yang lebih rendah (110°C) pada reaktor kaca yang dilengkapi dengan pengadukan pada kecepatan putar 600 rpm. Ningsih dkk,<sup>[5]</sup> mensintesis natrium silikat dengan metoda alkali fusi menggunakan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , untuk mengekstrak silika dari lumpur Sidoardjo.

## Metodologi Penelitian

### Bahan Kimia

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir Pantai Bengkalis, HCl 37% Merck, NaOH Merck, kertas saring Whatman No 40, aquadest.

### Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *furnace*, *beaker glass*, timbangan analitik reaktor kaca, pemanas listrik, pengaduk mekanik, kondensor, ayakan *Octagon*, cawan porselin, gelas kimia dan lain sebagainya. Untuk analisis bahan baku dan senyawa hasil sintesis digunakan peralatan atau Instrumen X-Ray Fluorescence (XRF) PANalytical Epsilon 3, Fourier Transform Infrared (FTIR) Shimadzu, Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM/EDX) JEOL JED – 2300 dan X-Ray diffraction (XRD) XPERT PRO PANalytical PW3040/60.

## Prosedur penelitian

### Tahap Persiapan Bahan

Pada tahap ini pasir Pantai Bengkalis dibersihkan dari kotoran, dikeringkan di bawah sinar matahari langsung selama 1-2 hari sampai kering. Pasir yang telah kering dihaluskan menggunakan lumpang untuk mendapatkan material pasir yang halus. Material yang telah halus disaring untuk mendapatkan ukuran pasir yang seragam menggunakan ayakan 140 mesh.

### Tahap Ekstraksi Senyawa Silika ( $\text{SiO}_2$ ) dari Pasir Bengkalis

Pasir yang telah di ayak, dimurnikan dengan cara ekstraksi menggunakan larutan HCl 3M . Proses ekstraksi dilakukan sebanyak 3x8 jam. Sebanyak 100 gr pasir diekstrak menggunakan 300 ml HCl 3M. Pelarut pengekstrak, diganti dengan pelarut segar setiap 8 jam. Setelah proses *leaching*, serbuk pasir dicuci dengan aquadest sampai bebas dari sisa asam. Lakukan analisis menggunakan peralatan X-Ray Fluorescence terhadap pasir awal dan pasir setelah proses leaching.

### Tahap Sintesis Natrium Silikat

Sebanyak 10gr pasir silika hasil *leaching*, dimasukkan ke dalam reaktor kaca yang dilengkapi kondensor. Selanjutnya dilakukan proses sintesis natrium silikat dengan menambahkan 83 ml NaOH 4M (rasio mol 2:1) ke dalam reaktor kaca. Pembentukan natrium silikat dilakukan dengan pemanasan pada suhu 110°C selama 1 jam dan diaduk dengan kecepatan 600 rpm menggunakan pengaduk mekanik. Larutan natrium silikat kemudian disaring untuk memisahkan filtrat dan residu. Filtratnya dipekatkan di dalam oven sampai kering dan endapannya kemudian diburning di dalam *furnace* pada suhu 400°C selama 4 jam. Sampel kering ditimbang sebagai produk natrium silikat. Dilakukan pengerjaan yang sama untuk rasio reaktan NaOH dengan  $\text{SiO}_2$  3:1 dan 4:1. Produk hasil sintesis dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama lebih kurang 1 jam.

### Analisis Bahan Baku dan Senyawa Hasil Sintesis

Serbuk padat natrium silikat hasil sintesis dan bahan dasar pasir Pantai Bengkalis diuji menggunakan beberapa peralatan. Analisis XRF dilakukan untuk menentukan kadar silika dan unsur lain dalam pasir. Untuk menentukan jenis gugus fungsi dalam sampel pasir Pantai Bengkalis dan senyawa hasil sintesis dilakukan analisis menggunakan peralatan FTIR serta jenis kristal dalam pasir dan senyawa hasil sintesis dianalisis menggunakan peralatan XRD

## Hasil dan Diskusi

### Analisis unsur dalam pasir Pantai Bengkulu

Sintesis natrium silikat diawali dengan pemurnian pasir Pantai Bengkulu dengan metoda *acid leaching* menggunakan pelarut HCl 3M. Ekstraksi dilakukan sebanyak 3x8 jam, guna membebaskan pasir silika dari impuritis. Terhadap pasir awal dan pasir hasil *leaching* dilakukan analisis kandungan silika dan unsur-unsur yang terkandung dalam pasir menggunakan peralatan XRF. Tabel 1 memperlihatkan komposisi unsur dalam bentuk oksida dari pasir sebelum dan setelah *leaching*.

Proses ekstraksi (*leaching*) menggunakan larutan HCl 3M, bertujuan untuk membebaskan silika dari unsur-unsur lain yang terdapat dalam sampel pasir yang terlarut ke dalam pelarutnya. Hal ini dapat dilihat dari perubahan warna larutan sampel dari bening menjadi hijau. Perubahan warna ini terjadi akibat terlarutnya senyawa selain SiO<sub>2</sub> (selanjutnya disebut: pengotor atau impuritis) ke dalam larutan HCl. Pengotor yang terdapat

dalam pasir umumnya bereaksi dan larut dalam HCl, sementara SiO<sub>2</sub> tak bereaksi dengan larutan pengekstrak.

Terhadap pasir hasil *leaching* dilakukan analisis menggunakan peralatan XRD guna memastikan jenis mineral penyusun pasir Pantai Bengkulu. Dari hasil analisis, diperoleh serapan utama silikon oksida standar (ICDD 01-075-8320) pada berbagai sudut 2θ sangat mirip dengan serapan pada sampel pasir Pantai Bengkulu hasil *leaching* (Tabel 2).

Hasil analisis XRD ditampilkan pada Gambar 1 memperlihatkan pola spektrum XRD pasir hasil *leaching* yang sangat mirip dengan pola spektrum standar Silikon oksida (ICDD 01-075-8320).. Data ini dijadikan acuan dalam menganalisis jenis atau struktur senyawa hasil pemisahan dari pasir Bengkulu.

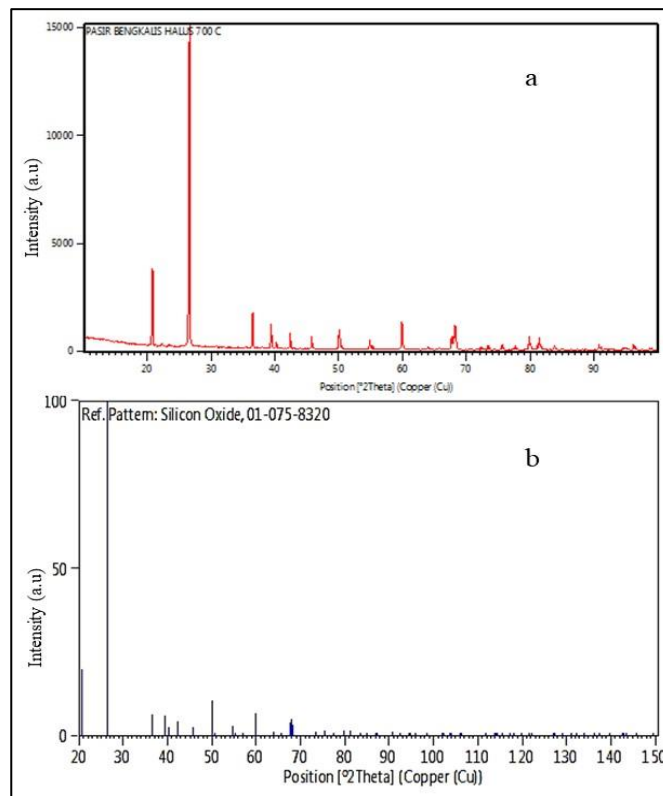
Hasil analisis XRF dan XRD membuktikan pasir Pantai Bengkulu mengandung kadar silika yang sangat tinggi, dan berpotensi digunakan sebagai bahan utama pembuatan berbagai bahan kimia berbasis silika seperti natrium silikat, silika gel bahkan zeolite.

**Tabel 1.** Kadar unsur atau mineral dalam pasir pantai Bengkulu sebelum dan setelah diolah dengan proses *leaching*

Kadar mineral (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO <sub>2</sub>
Sebelum <i>leaching</i>	89,10	3,596	2,826	0,91	1,627	0,336	0,002	1,303	0,003
Setelah <i>leaching</i>	93,11	4,105	0,836	0,49	0,604	0,195	0,001	0,598	0,001

**Tabel 2.** Perbandingan serapan pada spektrum XRD SiO<sub>2</sub> standar dengan pasir hasil *leaching*

Jenis material	Sudut 2θ							
SiO <sub>2</sub> Standar ICDD 01-075-8320	20.818	26.600	36.473	39.424	40.220	42.367	50.067	
Pasir hasil <i>leaching</i>	20.7671	26.5491	36.4866	39.4078	40.2097	42.3932	50.0762	



**Gambar 4.** Pola spektrum XRD a) pasir silika dari Pantai Bengkalis dan b) standar silicon oksida

**Tabel 3.** Rendemen Natrium Silikat pada berbagai variasi molar reaktan

No	Rasio Molar NaOH/SiO <sub>2</sub>	Rendemen Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (%)
1	2 : 1	94,27
2	3 : 1	84,47
3	4 : 1	83,63

### Sintesis dan Analisis Natrium Silikat

Pasir silika hasil pemisahan dan pemurnian dengan metoda *leaching* selanjutnya digunakan sebagai bahan utama pada sintesis natrium silikat. Sintesis dilakukan dengan memvariasikan rasio molar NaOH dan SiO<sub>2</sub>. Tabel 2 memperlihatkan rendemen natrium silikat pada tiga rasio molar reaktan NaOH dan SiO<sub>2</sub> (2:1, 3:1, 4:1) yang digunakan.

Variasi rasio molar NaOH dan SiO<sub>2</sub> 2:1 merupakan rasio terbaik dalam perolehan natrium silikat karena stoikiometrinya sesuai.

Peningkatan jumlah NaOH yang digunakan semakin memperkecil perolehan natrium silikat, karena SiO<sub>2</sub> yang tersedia tidak cukup secara stoikiometri untuk membentuk Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>.

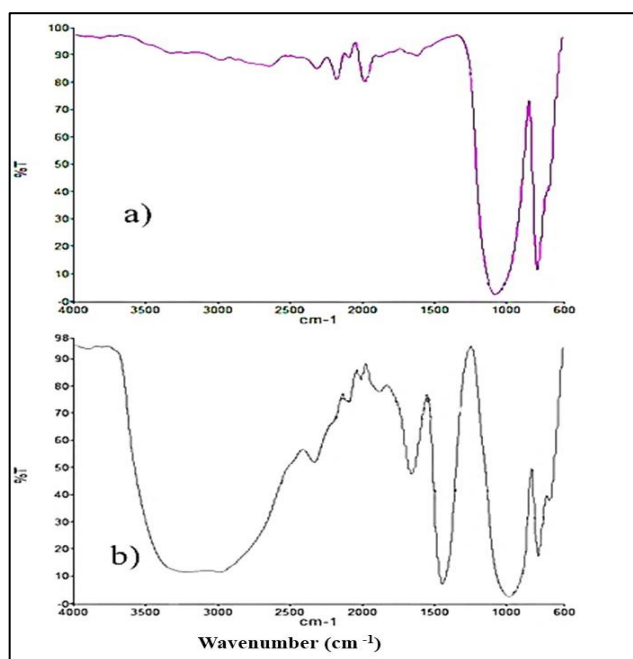
Natrium silikat yang dihasilkan selanjutnya dianalisis menggunakan spektroskopi infra merah (FTIR) dan difraksi sinar-X (XRD). Gambar 2 memperlihatkan pola spektrum FTIR natrium silikat hasil sintesis yang dibandingkan terhadap spektrum FTIR pasir hasil *leaching*. Beberapa gugus fungsi utama senyawa silika (SiO<sub>2</sub>) dan natrium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) ditemukan pada rentang angka

gelombang 600 – 4000 cm<sup>-1</sup> pada kedua spektrum. Dua pita serapan utama untuk silika (SiO<sub>2</sub>) berupa vibrasi ulur simetri Si-O pada siloksan muncul pada angka gelombang 777,79 cm<sup>-1</sup> dan vibrasi ulur asimetris Si-O muncul pada angka gelombang 1072 cm<sup>-1</sup>.

Analisis FTIR terhadap natrium silikat hasil sintesis, pola serapan FTIR pada ketiga variasi rasio molar reaktan yang digunakan sangat mirip. Perbedaan ditemukan hanya dalam persentase transmitan (%T) pada beberapa serapan utama. Serapan silika yang muncul umumnya adalah gugus silanol (≡Si-OH) dan siloksan (≡Si-O-Si≡) pada bilangan gelombang 691,23 cm<sup>-1</sup>. Vibrasi ulur simetris dari Si-O pada

siloksan (≡Si-O-Si≡) muncul pada angka gelombang 773,00 cm<sup>-1</sup>, serta vibrasi ulur asimetri Si-O pada silanol (≡Si-OH), ditemukan pada angka gelombang 973,83 cm<sup>-1</sup> [9]. Munculnya serapan dengan pita lebar pada angka gelombang sekitar 3400 cm<sup>-1</sup> dan serapan kecil pada 1630 cm<sup>-1</sup> berhubungan dengan absorpsi gugus O-H [18].

Untuk mengetahui jenis dan struktur kristal natrium silikat hasil sintesis, dilakukan analisis menggunakan difraksi sinar-X. Beberapa serapan utama natrium silikat standar pada berbagai sudut 2θ, juga ditemukan pada natrium silikat hasil sintesis. Hasil analisis ditampilkan dalam Tabel 3, yang membuktikan telah terbentuk natrium silikat.

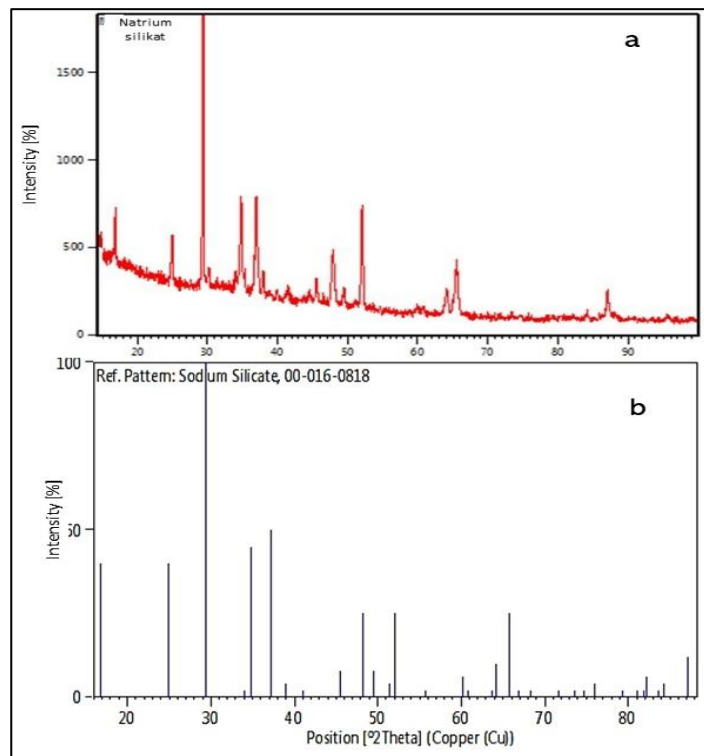


Gambar 3. Pola spektrum FTIR a) pasir silika hasil leaching dan b) natrium silikat hasil sintesis

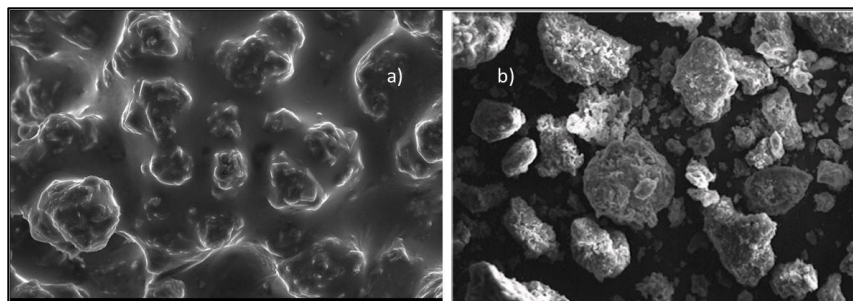
Tabel 3. Perbandingan serapan pada spektrum XRD Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> standar dengan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> hasil sintesis dari silika pasir Bengkalis

Jenis material	Sudut 2θ						
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> Standar ICDD 00-016-0818	16.842	24.993	29.356	34.882	37.249	64.179	65.755
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> Sintetis	16.894	24.976	29.3983	34.7908	36.8471	64.0963	65.5514





**Gambar 4.** Pola difraksi sinar-X a) natrium silikat hasil sintesis dari silika pasir Pantai Bengkalis dan b) Natrium silikat standar (ICDD 00-016-0818)



**Gambar 5.** Foto SEM natrium silikat hasil sintesis a) dari silika pasir Bengkalis, b) silika lumpur Lapindo <sup>[5]</sup>

Hasil analisis XRD natrium silikat hasil sintesis dari silika pasir Bengkalis ditampilkan pada Gambar 3 dibandingkan terhadap natrium silikat standar ICDD 00-016-0818. Kedua spektrum mempunyai serapan pada sudut  $2\theta$  yang sangat mirip, sehingga dapat disimpulkan, bahwa senyawa hasil sintesis adalah natrium silikat.

Berdasarkan data difraksi sinar-X dengan menggunakan persamaan Scherrer <sup>[19]</sup> diperoleh ukuran diameter kristal natrium silikat sebesar 44,8 nm. Untuk melihat morfologi natrium silikat hasil sintesis, dilakukan analisis

SEM/EDX. Hasil analisis ditampilkan pada Gambar 4a) pada perbesaran 500x. Hasil analisis dibandingkan terhadap natrium silikat yang dihasilkan Ningsih dkk <sup>[5]</sup> yang diperoleh berbentuk aglomerat.

### Kesimpulan

Sintesis natrium silikat menggunakan pasir Pantai Bengkalis sebagai sumber silika, menghasilkan kristal natrium silikat berbentuk heksagonal. Sebagai bahan baku utama pada sintesis natrium silikat, pasir Pantai Bengkalis mengandung silika dengan kadar sangat tinggi

mencapai 89,1%. Setelah melalui proses ekstraksi (*leaching*) menggunakan larutan HCl 3M, kadar silika dalam bentuk oksidanya meningkat sampai 93%. Sintesis natrium silikat dilakukan menggunakan metode hidrotermal pada suhu 110°C dengan memvariasikan rasio molar NaOH dan silika dari pasir Pantai Bengkalis, dengan rasio terbaik diperoleh pada variasi 2:1. Dari analisis XRD diperoleh kristal natrium silikat dengan diameter kristal sebesar 44,8 nm. Analisis SEM memperlihatkan senyawa hasil sintesis berbentuk aglomerat.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis berterimakasih kepada Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Riau yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Penelitian Unggulan (Coe) Universitas Riau dengan No.Kontrak 8363/UN19.5.1.3/AL.04/2023.

### Daftar Pustaka

- Munasir., Rohmawati, L., Taufiq, A. & Darminto., Amorphous SiO<sub>2</sub> nanoparticles from natural sands: Structure and porosity. *Chiang Mai Univ. J. Nat. Sci.*, **19(3)**: 563–579 (2020).
- Ramadhan, N. I., Munasir. & Triwikantoro., Sintesis Dan Karakterisasi Serbuk SiO<sub>2</sub> Dengan Variasi Ph Dan Molaritas Berbahan Dasar Pasir Bancar, Tuban. *J. Sains dan Seni ITS*, **3(1)**: 15–17 (2014).
- Vinai, R. & Soutsos, M., Production of sodium silicate powder from waste glass cullet for alkali activation of alternative binders. *Cem. Concr. Res.*, **116**: 45–56 (2019).
- Seun Samuel Owoeye., Segun Michael Abegunde. & Babatunde Oji., A novel low temperature synthesis of sodium silicate (water glass) from silica-rich wastes using hydrothermal method. *Glob. J. Eng. Technol. Adv.*, **6(1)**: 066–075 (2021).
- Ningsih, E., Juliastuti, S. R., Darmawan, R., Hendriane, N. & Rachmaniah, O., Initial extraction of sodium silicate from sidoarjo mud by alkaline fusion and water leaching. *Heliyon*, **9(6)**: e17095 (2023).
- Linda Triviana, Eti Rohaeti, S. sugiati., Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat ( Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ) Dari Sekam Padi Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat ( Na<sub>2</sub> SiO<sub>3</sub> ) Dari Sekam Padi Abstrak. **7(November 2017)**: 90–97 (2015).
- Simatupang, L., Siburian, R., Sitanggung, P., Doloksaribu, M., Situmorang, M. & Marpaung, H., Synthesis and application of silica gel base on mount Sinabung's fly ash for Cd(II) removal with fixed bed column. *Rasayan J. Chem.*, **11(2)**: 819–827 (2018).
- Dhaneswara, D., Fatriansyah, J. F., Situmorang, F. W. & Haqoh, A. N., Synthesis of Amorphous Silica from Rice Husk Ash: Comparing HCl and CH<sub>3</sub>COOH Acidification Methods and Various Alkaline Concentrations. *Int. J. Technol.*, **11(1)**: 200–208 (2020).
- Soeswanto, B. & Lintang, N., Bambang Soeswanto, Ninik Lintang. *J. Fluida*, **7(1)**: 18–22 (2016).
- Sallau, A. A., Adedirin, O., Buga, M. L., Okereke, A., Ozonyia, G. N. & Alabi, F. M., Accepted manuscript. (2023).
- Foletto, E. L., Gratieri, E., de Oliveira, L. H. & Jahn, S. L., Conversion of rice hull ash into soluble sodium silicate. *Mater. Res.*, **9(3)**: 335–338 (2006).
- Supiyani., Agusnar, H., Sugita, P. & Nainggolan, I., Preparation sodium silicate from rice husk to synthesize silica nanoparticles by sol-gel method for adsorption water in analysis of methamphetamine. *South African J. Chem. Eng.*, **40(January)**: 80–86 (2022).
- Chokkha, S., Ayawanna, J. & Poowancum, A., Replacement of



- sodium silicate-based alkali activator by rice husk ash in geopolymer production. 1–19 (2022).
14. Zhao, Y., Zheng, Y., He, H., Sun, Z. & Li, A., Silica extraction from bauxite reaction residue and synthesis water glass. *Green Process. Synth.*, **10(1)**: 268–283 (2021).
  15. Adziimaa, A. F., Risanti, D. D. & Mawarni, L. J., Sintesis Natrium Silikat dari Lumpur Lapindo sebagai Inhibitor Korosi. *J. Tek. ITS*, **2(2)**: 384–389 (2013).
  16. Munasir., Sulton, A., Triwikantoro., Zainuri, M. & Darminto., Synthesis of silica nanopowder produced from Indonesian natural sand via alkalifussion route. *AIP Conf. Proc.*, **1555(September)**: 28–31 (2013).
  17. Prates, C., Lima, A., Ferreira, I., de Paula, F., Pinto, P., Ardisson, J., Lago, R., *et al.*, Use of Iron Ore Tailing as Raw Material for Two Products: Sodium Silicate and Geopolymers. *J. Braz. Chem. Soc.*, **34(6)**: 809–818 (2023).
  18. Kanchana, P. & Sekar, C., Effect of Magnesium on the Mechanical and Bioactive Properties of Biphasic Calcium Phosphate. *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, **11(10)**: 982–988 (2012).
  19. Sumadiyasa, M. & Manuaba, I. B. S., Penentuan Ukuran Kristal Menggunakan Formula Scherrer, Williamson-Hull Plot, dan Ukuran Partikel dengan SEM. *Bul. Fis. FMIPA UNUD, Buletin (No. 1)*, **19**: 28–35 (2018).