

## REVIEW : SINTESIS NANOPARTIKEL SILIKA DARI BEBERAPA MATERIAL DENGAN METODE SOL-GEL

<sup>1)</sup>Elvita Eka Nursari, <sup>2)</sup>Widya Ningrum, <sup>3)</sup>Ersyzario Edo Yunata, <sup>4)</sup>Evi Suaebah, <sup>5)</sup>Rohim Amirullah Firdaus

<sup>1)</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: [elvita.22073@mhs.unesa.ac.id](mailto:elvita.22073@mhs.unesa.ac.id)

<sup>2)</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: [widya.22075@mhs.unesa.ac.id](mailto:widya.22075@mhs.unesa.ac.id)

<sup>3)</sup> Departemen fisika, Universitas Airlangga, email: [ersyzario.edo@fst.unair.ac.id](mailto:ersyzario.edo@fst.unair.ac.id)

<sup>4)</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: [evisuaebah@unesa.ac.id](mailto:evisuaebah@unesa.ac.id)

<sup>5)</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: [rohimpirdaus@unesa.ac.id](mailto:rohimpirdaus@unesa.ac.id)

### Abstrak

Silika ( $\text{SiO}_2$ ) adalah senyawa anorganik dengan struktur tiga dimensi yang memiliki beberapa sifat diantaranya luas permukaan besar, porositas tinggi, dan stabilitas termal yang baik. Material silika memiliki aplikasi luas dalam berbagai bidang industri, termasuk katalis, bahan elektronik, dan biosensor. Untuk memperoleh silika menggunakan metode yang efisien, seperti metode sol-gel telah diidentifikasi sebagai teknik yang efektif untuk sintesis nanopartikel silika dengan kualitas tinggi, memungkinkan penggunaan material alami seperti lumpur Lapindo, abu vulkanik, dan pasir pantai. Metode sol-gel memiliki keunggulan dalam kemurnian dan homogenitas produk yang dihasilkan. Proses sintesis melibatkan tahapan hidrolisis, kondensasi, dan polimerisasi untuk membentuk gel silika, yang kemudian dikeringkan dan dikarakterisasi. Hasil karakterisasi menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) menunjukkan peningkatan kadar  $\text{SiO}_2$  yang signifikan setelah proses ekstraksi. Misalnya, kadar silika dalam pasir pantai Bajul Mati meningkat dari 31,0% menjadi 93,9%, sementara kadar  $\text{SiO}_2$  dalam lumpur Lapindo meningkat dari 50,00% menjadi 77,71%. Selain itu, analisis X-Ray Diffraction (XRD) menunjukkan pola difraksi khas amorf dengan puncak difraksi pada sudut  $2\theta = 22^\circ$ , mengindikasikan keberhasilan sintesis nanopartikel silika. Karakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) menunjukkan bahwa nanopartikel yang dihasilkan memiliki ukuran sekitar 50 nm, dengan kemungkinan aglomerasi hingga  $\sim 1 \mu\text{m}$ . Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode sol-gel efektif dalam mengekstraksi silika dari sumber alam dengan tingkat kemurnian yang tinggi, menjadikannya alternatif yang berpotensi untuk produksi silika dalam skala industri.

**Kata Kunci:** Silika, Karakterisasi, Metode Sol-Gel

### Abstract

Silica ( $\text{SiO}_2$ ) is an inorganic compound with a three-dimensional structure that has several properties including large surface area, high porosity, and good thermal stability. Silica materials have wide applications in various industrial fields, including catalysts, electronic materials, and biosensors. To obtain silica using efficient methods, such as the sol-gel method has been identified as an effective technique for the synthesis of silica nanoparticles with high quality, allowing the use of natural materials such as Lapindo mud, volcanic ash, and beach sand. The sol-gel method offers advantages in the purity and homogeneity of the resulting product. The synthesis process involves the stages of hydrolysis, condensation, and polymerisation to form silica gel, which is then dried and characterised. Characterisation results using X-Ray Fluorescence (XRF) showed a significant increase in  $\text{SiO}_2$  content after the extraction process. For example, the silica content in Bajul Mati beach sand increased from 31.0% to 93.9%, while the  $\text{SiO}_2$  content in Lapindo mud increased from 50.00% to 77.71%. In addition, X-Ray Diffraction (XRD) analysis showed a typical amorphous diffraction pattern with a diffraction peak at an angle of  $2\theta = 22^\circ$ , indicating the successful synthesis of silica nanoparticles. Characterisation using a Scanning Electron Microscope (SEM) revealed that the resulting nanoparticles were approximately 50 nm in size, with possible agglomeration up to  $\sim 1 \mu\text{m}$ . The results from this study show that the sol-gel method is effective in extracting silica from natural sources with a high degree of purity, making it a potential alternative for silica production on an industrial scale.

**Keywords:** Silica, Characterisation, Sol-Gel Method

## I. PENDAHULUAN

Silika ( $\text{SiO}_2$ ) merupakan suatu senyawa anorganik yang memiliki komponen utama yang tersusun dalam pola tiga dimensi dengan ikatan kovalen yang kuat dari atom silikon (Si) sebagai sumbu dan atom oksigen (O) yang mengelilingi [1]. Silika memiliki aplikasi luas dalam industri modern yang diaplikasikan sebagai katalis, bahan elektronik, dan bahan dasar biosensor. Kebutuhan silika dengan kualitas tinggi dan biaya produksi yang efisien akan meningkat seiring dengan perkembangan teknologi [7]. Menurut laporan dari Grand View Research pada tahun 2021, pasar silika global diperkirakan akan mencapai USD 104,34 miliar pada tahun 2030 dengan pertumbuhan yang didorong oleh meningkatnya permintaan untuk material berkualitas tinggi yang mendukung efisiensi dan inovasi dalam berbagai aplikasi [2]. Penelitian terkini menunjukkan bahwa peningkatan metode produksi silika dapat menghasilkan material dengan spesifikasi yang lebih baik dan dapat menjadikan silika sebagai komponen dalam pengembangan teknologi baru yang efisien dan berkelanjutan [3].

Silika memiliki luas permukaan yang besar, porositas yang tinggi dan sifat optik yang dapat disesuaikan [4]. Silika memiliki luas permukaan yang besar memungkinkan untuk berinteraksi yang lebih efektif dengan molekul lain. Selain itu, porositas tinggi pada nanopartikel silika memberikan ruang yang cukup untuk penetrasi zat lain. Sifat-sifat ini memungkinkan silika untuk berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sekitarnya. Serta sifat silika yang inert dan memiliki kestabilan termal yang tinggi membuat silika mudah untuk digunakan dalam beberapa modifikasi silika [5].

Silika dapat diperoleh dari berbagai sumber, termasuk mineral, nabati dan melalui proses sintesis. Sumber silika mineral sering kali ditemukan melalui proses penambangan, sementara silika nabati dapat diambil dari alam, terutama dari tumbuhan seperti bambu dan sekam padi. Namun, silika mineral dan silika nabati sulit didapatkan dengan tingkat kemurnian tinggi, maka alternatif yang dapat dilakukan dengan memperoleh silika murni melalui proses sintesis. Ada beberapa cara untuk mendapatkan silika yaitu dengan cara sintesis dengan prekursor TMOS dan TEOS serta pemanfaatan dari sumber material alam seperti pasir pantai, abu vulkanik gunung, abu sekam padi, dan lumpur Lapindo [5,6,8]. Hasilnya menunjukkan bahwa silika gel yang disintesis memiliki kapasitas adsorpsi lebih tinggi dari pada silika gel komersial.

Dalam melakukan sintesis terdapat beberapa metode yaitu dengan metode sol-gel, metode kalsinasi-presipitasi, metode hidrotermal, dan metode kombinasi mekanis-kimia. Dari beberapa metode sintesis tersebut, metode sol-gel merupakan metode yang memiliki beberapa keunggulan yaitu pada metode sol-gel lebih cepat terjadi reaksi pengikatan pada temperatur  $27^\circ\text{C}$  yang berlangsung bersamaan dengan proses terbentuknya padatan yang memiliki tingkat kemurnian dan homogenitas yang tinggi [7,10]. Adapun silika yang diekstraksi dari material alam yaitu lumpur lapindo yang memiliki potensi sebagai sumber silika karena kandungan silika yang tinggi [9]. Selain itu, pasir pantai dan material vulkanik juga mengandung banyak silika sehingga dapat dimanfaatkan secara optimal [11,12]. Pasir pantai tersedia dalam jumlah melimpah dan mudah diakses, serta material vulkanik dari aktivitas gunung berapi menawarkan sumber daya berharga untuk sintesis silika. Kajian terhadap pemanfaatan ketiga bahan ini sangat penting untuk mengeksplorasi efisiensi metode sol gel dalam menghasilkan nanopartikel silika berkualitas.

## II. METODE

### A. Rancangan Penelitian

Metode sol gel adalah teknik sintesis yang digunakan untuk menghasilkan nanopartikel silika melalui proses transisi dari larutan koloid (sol) menjadi jaringan padat (gel) [13]. Proses ini dimulai dengan melarutkan prekursor dengan pelarut yang sesuai. Setelah itu, terjadi reaksi hidrolisis dimana pelarut bereaksi dengan prekursor untuk membentuk silanol ( $\text{Si-OH}$ ) yang kemudian akan mengalami kondensasi untuk membentuk ikatan siloksan ( $\text{Si-O-Si}$ ) untuk menghasilkan sol. Selanjutnya sol akan mengalami polimerisasi untuk membentuk gel yang memiliki struktur tiga dimensi. Gel yang dihasilkan kemudian dikeringkan untuk

menghilangkan pelarut dan dipanaskan untuk meningkatkan sifat fisik dan kimia dari nanopartikel yang dihasilkan [14]. Metode sol gel memungkinkan untuk mengidentifikasi material berdasarkan ukuran dan morfologi nanopartikel yang mudah untuk digunakan dalam beberapa modifikasi [15]. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam memanfaatkan sumber-sumber lokal, seperti lumpur lapindo, abu vulkanik dan pasir pantai untuk menghasilkan nanopartikel silika dengan karakteristik yang diinginkan.

1. Ekstraksi dan Sintesis Nanopartikel Silika dari Lumpur Lapindo.

Lumpur Lapindo diekstraksi dengan metode sol gel memiliki beberapa variasi, salah satu tahap yang dilakukan oleh Ulfah, dkk yaitu menghaluskan lumpur lapindo menggunakan mortar yang kemudian disaring menggunakan saringan 100 mesh. Kemudian lumpur Lapindo yang telah halus dicampur dengan larutan 4 M NaOH di hot plate dengan magnetic stirrer selama 2 jam. Selanjutnya disaring dan didiamkan hingga larutan berada pada suhu ruang yang kemudian dititrasi dengan 3M HCl hingga diperoleh pH 7,6-8,5 dan didiamkan kembali selama 24 jam. Larutan yang menjadi gel dihancurkan dengan air dan dimasukkan ke alat sentrifugasi pada kecepatan 300 rpm selama 5 menit [5]. Adapun tahapan yang lainnya yang dilakukan oleh Herny, dkk yaitu lumpur Lapindo dihaluskan juga dengan mortar hingga ukuran partikel lumpur Lapindo menjadi 250 mesh yang kemudian direndam dengan HCL 2 M selama 24 jam untuk menghilangkan polutan yang kemudian dicuci menggunakan aquades dan dikeringkan, serta dihaluskan kembali hingga ukuran partikel menjadi 250 mesh. Lalu, 10 gram dari lumpur Lapindo yang telah dihaluskan dilarutkan dengan 60 ml NaOH 7M dengan menggunakan magnetic stirrer pada suhu 70°C selama 1 jam. Kemudian ditambahkan aquades sebanyak 250 ml dan disaring dengan kertas saring. Larutan yang telah disaring kemudian ditambahkan dengan HCl 2M hingga didapatkan endapan dengan pH 7 dan suspensi yang didapatkan didiamkan selama 24 jam dengan suhu ruang. Kemudian dicuci dengan aquades beberapa kali untuk menghilangkan kandungan asam, alkali, dan garam, yang mana selanjutnya dikeringkan pada suhu 70°C selama 24 jam [16]. Selanjutnya, ekstraksi yang dilakukan oleh Rahmayanti, dkk, yaitu dengan membersihkan lumpur Lapindo dari pengotor dan direndam selama 24 jam yang kemudian dikeringkan pada suhu 110°C. Lumpur Lapindo yang telah dikeringkan kemudian dihaluskan dengan mortar hingga menjadi bubuk halus, setelah menjadi bubuk diuji menggunakan XRF untuk menentukan komposisi pada lumpur Lapindo. Kemudian 20 gram lumpur Lapindo dicampur dengan larutan alkali dengan menggunakan magnetic stirrer. Campuran tersebut disaring dan dititrasi dengan 12 M HCl pada suhu ruang hingga pH dari larutan tersebut mencapai pH 4 dan terdapat endapan putih. Suspensi yang didapatkan kemudian dibiarkan selama 24 jam pada suhu ruang yang kemudian disaring dan dicuci dengan aquades sebanyak 5 kali pencucian [17].

2. Ekstraksi dan Sintesis Nanopartikel Silika dari Abu Vulkanik

Untuk mengekstraksi abu vulkanik juga dapat menggunakan metode sol gel dengan beberapa variasi metode sol gel, seperti yang dilakukan oleh Maulidia, dkk yaitu melarutkan abu vulkanik dengan 500 ml NaOH 4 M dan dipanaskan dengan variasi waktu 30;60;90;120 menit. Kemudian disaring untuk mengambil filtratnya untuk diuji dengan gravimetri. Filtrat tersebut menjadi sebuah larutan natrium silika, yang mana larutan tersebut ditetesi dengan HCl dengan variasi konsentrasi HCl 4;6;8 M sampai terbentuk endapan gel berwarna putih dengan pH 7. Gel yang telah didapatkan kemudian diendapkan selama 24 jam, disaring dan dicuci dengan aquades, kemudian dikeringkan menggunakan oven [18]. Selanjutnya ekstraksi silika dari abu vulkanik yang dilakukan oleh Utari, dkk yaitu 500 gram abu vulkanik dicuci dengan aquades dan dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 2 jam, kemudian disaring menggunakan 250 mesh. Selanjutnya 20 gram sampel direndam dengan 120ml HNO<sub>3</sub> pekat, kemudian didiamkan selama 24 jam lalu disaring lagi dengan 250 mesh. Abu vulkanik yang telah disaring kemudian dicuci menggunakan aqua demineral hingga netral dan dikeringkan kembali pada suhu 110°C selama 6 jam. Selanjutnya 20 gram abu vulkanik dicampur dengan 250 ml NaOH 3M kemudian dipanaskan selama 1 jam hingga terbentuk filtrak yang kemudian disaring. Filtrat tersebut kemudian dititrasi menggunakan HCl 3M hingga terbentuk

gel dan gel didiamkan selama 24 jam hingga gel homogen. Gel yang telah terbentuk dicuci hingga netral dengan aqua demineral dan dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 6 jam. Setelah itu silika gel yang kering ditimbang hingga konstan sampai dengan berat yang rendemen, yang kemudian digerus dengan menggunakan mortar dan diayak kembali dengan ayakan 250 mesh dan 106 mesh [19].

### 3. Sintesis Nanopartikel Silika dari Pasir Pantai

Sintesis nanopartikel silika dari pasir pantai menggunakan metode sol-gel telah diteliti oleh beberapa peneliti dengan pendekatan yang berbeda. Penelitian yang dilakukan oleh Sumari, dkk. dimulai dengan pengumpulan pasir Pantai bajul Mati yang dihaluskan menggunakan mortar dan disaring untuk memperoleh ukuran partikel yang homogen. Kemudian, 50 gram pasir kering dicampur dengan HCl 7M dengan diaduk selama 1 jam pada suhu 150°. Setelah itu dilakukan dekantasi untuk memisahkan pengotor. Lalu 15 gram bubuk pasir dicampur dengan 15 gram padatan NaOH disertai pengadukan pada suhu 300°. Kemudian campuran tersebut ditambahkan 150 ml aquades dan diperoleh larutan natrium silikat. Larutan tersebut disaring dengan kertas Whatman dan diencerkan dengan 100 ml aquades dan dititrasi dengan H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> hingga pH netral dan larutan menjadi keruh. Kemudian diendapkan selama 9 jam dan disaring serta dicuci dengan aquades untuk membersihkan garam alkali dalam gel. Terakhir dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°[20]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Salamah, S. dkk. diawali dengan pengumpulan pasir Pantai Parangtritis yang kemudian dicuci untuk menghilangkan kelebihan Cl dan kotoran. Pasir yang telah dicuci kemudian diayak dengan 100 mesh dan direfluks dengan HCl 6 M pada suhu 90° selama 4 jam, disaring, dan dicuci menggunakan air suling sampai pH 7. Kemudian pasir dinetralkan dan dikeringkan pada suhu 120° selama 2 jam. Kemudian merefluks masing-masing sampel dengan tekanan 6 M NaOH pada suhu 80° selama 4 jam, lalu disaring dan dicuci. Setelah itu ditambahkan HCl pekat hingga pH 12 dan larutan menjadi putih. Kemudian larutan disimpan selama 24 jam sampai gel terbentuk, lalu dipisahkan dan dicuci sampai filtratnya tidak mengandung Cl. Silika hasil sintesis tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu 120° selama 4 jam[21]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Ismah, dkk yang diawali dengan pengambilan pasir dari Pantai Bengkulu yang dihaluskan menggunakan mortar dan diayak dengan ayakan 325 mesh. Setelah itu pasir direndam dalam larutan Hcl 2M selama 12 jam. Residu dari filtrat dicuci dengan air suling dan dikeringkan pada suhu 95° sambil diaduk selama 4 jam. Suspensi kemudian disaring menggunakan kertas whatman dengan 100 ml dan disaring untuk mendapatkan natrium silikat serta diaduk dan ditambahkan HCl 6 M hingga membentuk gel. Gel yang terbentuk disimpan selama 18 jam. Setelah itu disaring dan dicuci silika dengan air suling yang dikeringkan pada suhu 110° menggunakan oven[22].

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Karakteristik

Untuk mengetahui kinerja fungsionalis, sifat permukaan seperti konsentrasi unsur kimia [20-25], struktur kristal [5, 18, 27], senyawa kimia[9, 16, 28, 30] , dan morfologi permukaan [ 24, 28, 29, 33] dari Silika gel perlu dikarakterisasi secara sistematis. Beberapa karakterisasi silika gel dianalisis sebagai berikut

#### 1. Konsentrasi ukuran kimia

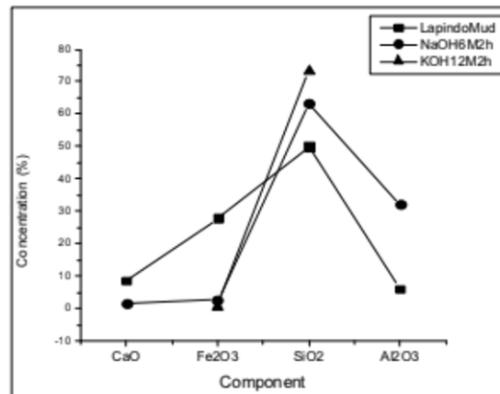
X-Ray Fluorescence (XRF) [20-25] sering digunakan untuk mengkarakterisasi konsentrasi unsur kimia dalam silika gel dari berbagai material seperti abu vulkanik, lumpur Lapindo, dan pasir pantai [20-25]. Secara statistik, analisis konsentrasi ukuran kimia silika gel dari pasir pantai Bajul Mati menunjukkan peningkatan yang signifikan setelah dilakukan ekstraksi menggunakan metode sol-gel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil sintesis silika dari pasir pantai ini menunjukkan peningkatan presentasi Si yang signifikan, yang mengindikasikan bahwa proses ekstraksi berhasil mengkonversi material awal menjadi silika gel berkualitas tinggi [20].

Dalam beberapa kasus, kadar SiO<sub>2</sub> mengalami peningkatan yang signifikan, sementara oksida-oksida lainnya mengalami penurunan setelah proses ekstraksi [24]. Hal ini menunjukkan bahwa metode sol-

gel tidak hanya efektif dalam meningkatkan konsentrasi silika, tetapi juga dalam menghilangkan kontaminan yang tidak diinginkan. Sebagai contoh, kadar silika dari pasir pantai Bajul Mati meningkat dari 31,0% berat menjadi 93,9% berat setelah perlakuan dengan campuran larutan HCl 37%, NaOH, demineralisasi akuatik, dan air suling [24]. Peningkatan ini menunjukkan efektivitas metode sol-gel dalam fungsionalisasi silika dan meningkatkan kemurniannya.

Sample	Element (%wt)							
	Si	K	Ca	Fe	P	Sr	Ti	Others
Beach sand	31.0	0.77	45.3	19.0	0.0	1.8	1.41	<0.01
Silica	93.9	0.86	2.0	0.7	2.5	0	0	<0.01

Gambar 1 Tabel Hasil Analisis XRF [20]



Gambar 2 Grafik hasil XRF dengan perubahan komponen oksida. [17]

Gambar 2 menunjukkan kasus serupa lainnya dengan bahan lumpur Lapindo, di mana perlakuan dengan natrium hidroksida dan penambahan asam menyebabkan peningkatan konsentrasi silika yang signifikan, serta penurunan yang cukup besar pada unsur lainnya. Kandungan SiO<sub>2</sub> dalam silika gel yang dihasilkan dari lumpur Lapindo meningkat dari 50,00% menjadi 77,71%, sementara kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menurun menjadi 0,71%, dan unsur alumina serta kalsium hilang sepenuhnya [25]. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan bahan awal dan kondisi sintesis yang tepat sangat penting dalam menghasilkan nanopartikel silika dengan kualitas tinggi.

Secara umum, perbedaan hasil sintesis dari berbagai material awal menunjukkan bahwa pemilihan bahan baku dan kondisi sintesis merupakan faktor penting dalam keberhasilan proses sol-gel. Abu vulkanik, lumpur Lapindo, dan pasir pantai memiliki komposisi kimia awal yang berbeda, sehingga memerlukan perlakuan khusus untuk mencapai hasil optimal. Berdasarkan hasil karakterisasi XRF, metode sol-gel terbukti efektif dalam meningkatkan kadar silika dan mengurangi pengotor yang mempengaruhi nanopartikel silika yang dihasilkan.

## 2. Struktur Kristal

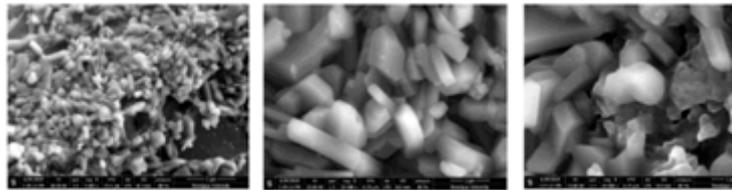
Karakterisasi struktur kristal nanopartikel silika yang dihasilkan berbagai material alam, yaitu abu vulkanik, lumpur Lapindo, dan pasir pantai menggunakan X-Ray Diffraction (XRD). Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa nanopartikel silika dari ketiga material tersebut memiliki pola difraksi yang khas amorf dengan puncak difraksi lebar di sekitar sudut  $2\theta = 22^\circ$  [5, 16, 24, 28]. Pola difraksi ini merupakan ciri khas dari silika amorf yang terbentuk melalui metode sol-gel. Meskipun demikian, intensitas dan bentuk puncak difraksi menunjukkan variasi yang bergantung pada jenis material awal yang digunakan.

## 3. Morfologi permukaan

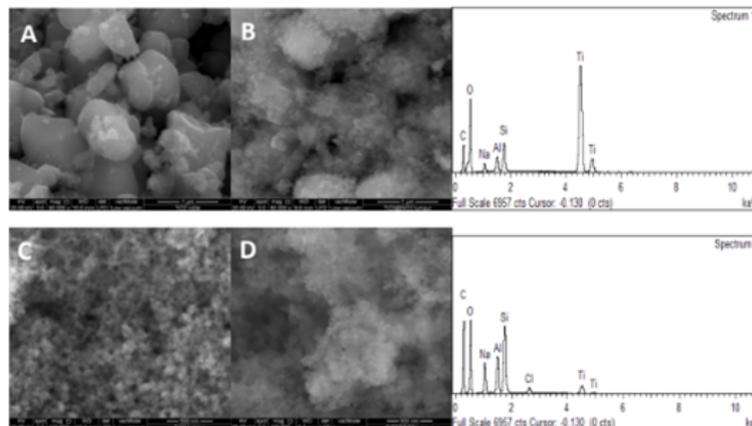
Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan alat yang sering digunakan untuk mengkarakterisasi morfologi silika setelah dilakukan ekstraksi, memberikan gambaran yang jelas mengenai struktur mikro dari nanopartikel yang dihasilkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Analisis distribusi ukuran silika setelah ekstraksi juga dilakukan secara statistik, dengan hasil yang ditampilkan pada Gambar 4. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa nanopartikel SiO<sub>2</sub> yang diekstraksi

memiliki ukuran bulat sekitar 50 nm. Namun, dalam beberapa kasus, penggunaan pengubah yang berbeda tidak menunjukkan perubahan signifikan pada gambar SEM [26, 27, 32]. Selain itu, dapat diamati bahwa partikel SiO<sub>2</sub> dengan ukuran hingga ~1 µm dapat mengalami aglomerasi, membentuk partikel yang lebih besar [20].

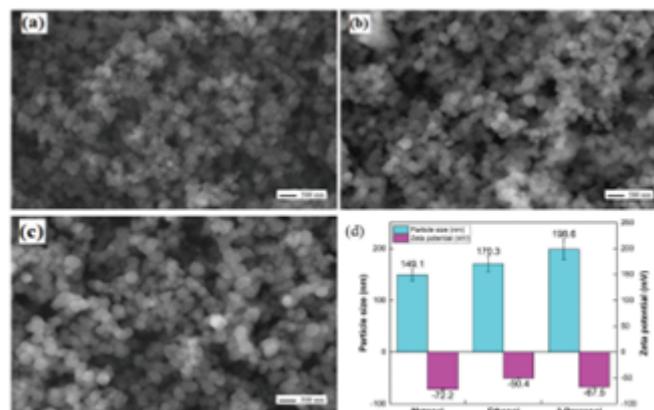
Morfologi silika sangat dipengaruhi oleh teknik ekstraksi yang digunakan dengan perubahan morfologi dapat terjadi baik sedikit maupun signifikan [18,33]. Sebagai contoh, setelah dilakukan ikatan kimia menggunakan HNO<sub>3</sub> dengan pelarut metanol dan etanol, ukuran partikel yang dihasilkan tetap konsisten di setiap percobaan [26]. Gambar 5 menunjukkan hasil serupa dengan penggunaan pengubah yang berbeda, seperti metanol, etanol, dan 2-propanol, di mana partikel yang dihasilkan memiliki bentuk dan ukuran yang seragam. Nanopartikel silika yang disintesis menggunakan etanol cenderung memiliki stabilitas yang lebih baik terhadap penggumpalan, yang dapat dijelaskan oleh efek stabilisasi elektrik [27].



**Gambar 3** Struktur mikro (hasil SEM) silika yang diekstraksi dengan perbesaran (a) 5 µm, (b) 1 µm, dan (c) 1 µm [20]



**Gambar 4** FE-SEM dari (a) nanopartikel rutil TiO<sub>2</sub>, (b) nanopartikel TiO<sub>2</sub>@SiO<sub>2</sub>, (c) nanopartikel SiO<sub>2</sub>, (d) SiO<sub>2</sub>@TiO<sub>2</sub> dan EDX struktur inti-kulit [16]



**Gambar 5** distribusi ukuran partikel nanopartikel silika yang disintesis dalam (a) metanol, (b) etanol, dan (c) 2-propanol [27]

Dalam percobaan lain, penggunaan campuran  $\text{NH}_4\text{OH}$  dengan konsentrasi yang bervariasi menghasilkan gel silika dengan morfologi granular dan bentuk kristal [32]. Penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi  $\text{NH}_4\text{OH}$ , semakin kecil ukuran butiran silika gel yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan energi yang dimiliki  $\text{NH}_4\text{OH}$  untuk memecah silika selama proses sintesis menggunakan metode sol-gel [32]. Di sisi lain, percobaan lain menunjukkan bahwa silika gel yang dihasilkan memiliki partikel yang relatif seragam dengan bentuk hampir bulat, meskipun terdapat aglomerasi agregat [9, 26, 30]. Tekstur permukaan yang dihasilkan bervariasi, ada yang tampak cukup halus [16] dan ada pula yang kasar [21]. Variasi ini dihasilkan dari proses sintesis yang terkontrol, yang memungkinkan pembentukan partikel dengan distribusi ukuran yang homogen dan sifat permukaan yang sesuai.

Dari hasil pengamatan SEM dan analisis statistik, terlihat bahwa teknik ekstraksi dan kondisi sintesis sangat mempengaruhi morfologi serta ukuran nanopartikel silika yang dihasilkan. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode sol-gel yang diterapkan pada material alami seperti abu vulkanik, lumpur Lapindo, dan pasir pantai dapat menghasilkan nanopartikel silika dengan karakteristik morfologi yang bervariasi. Variasi tersebut mencakup ukuran partikel, bentuk, serta tekstur permukaan yang sangat bergantung pada jenis pelarut, katalis, dan kondisi reaksi yang digunakan.

#### IV. PENUTUP

##### A. Simpulan

Silika merupakan suatu senyawa yang memiliki manfaat yang banyak dalam dunia industri, yang mana silika memiliki. Adapun dalam kajian pustaka yang sudah dilakukan, bahwa ekstraksi silika menggunakan metode sol gel dapat menunjukkan bahwa metode sol-gel sangat efektif dalam meningkatkan kadar silika dan menghilangkan kontaminan dari material awal seperti abu vulkanik, lumpur Lapindo, dan pasir pantai. Berdasarkan analisis XRF, konsentrasi silika meningkat signifikan, mencapai lebih dari 90% pada beberapa penelitian, sementara pengotor seperti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , alumina, dan kalsium berhasil dihilangkan. Karakterisasi XRD menunjukkan pola difraksi khas amorf dengan puncak difraksi pada sudut  $2\theta = 22^\circ$ , mengindikasikan struktur amorf dari nanopartikel silika yang dihasilkan. Pengamatan SEM memperlihatkan variasi morfologi dan ukuran partikel, dengan ukuran rata-rata antara 50 nm hingga 1  $\mu\text{m}$ , tergantung pada teknik ekstraksi, jenis pelarut, dan kondisi sintesis yang digunakan. Penggunaan pelarut seperti etanol menghasilkan partikel dengan stabilitas tinggi terhadap penggumpalan. Secara keseluruhan, metode sol-gel terbukti efektif untuk menghasilkan silika gel berkualitas tinggi dengan morfologi, kemurnian, dan sifat permukaan yang sesuai untuk berbagai aplikasi, dengan pemilihan bahan awal dan parameter proses sebagai faktor kunci keberhasilan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- R. Thahir, S. E. Widiyanti, I. Katu dan N. N. Idar. 2021. *Ekstraksi dan Analisis Karakterisasi Silika dari Sekam Padi*. Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat.
- Grand View Research (2021), *Silica Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Construction, Agrochemicals, Rubber, Oral Care, Food & Feed, Others), By Region, And Segment Forecasts, 2023 - 2030* <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/silica-market> diakses pada 9 Desember 2024
- Chrisnia, et al. (2018), *Pemanfaatan Silika dari Pasir Pantai Linau untuk Mengurangi Kadar Ammonium dalam Limbah Cair Tahu*. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, 2(2): 132-136
- Sandy, et al. (2017). *Pembuatan, Modifikasi dan Pemanfaatan Material Nano-Pori*. *Jurnal Ilmiah Widya Teknik*. 16(2), 105-110
- Ulfa, M., Solikah, A. A., Fadhilah, Z. A., Setiarini, I., and Syadida, Z. Q., 2024. *Studi Optimisasi dan Kinetika Adsorpsi Silika dari Lumpur Lapindo Menggunakan Metode P123-Putih Telur*. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 20(1), 48-61. <https://dx.doi.org/10.20961/alchamy.20.1.75659.49-61>.
- Fadli, A.F., Tjahjanto, R. T., dan Darjito, D. (2013). *Ekstraksi Silika Dalam Lumpur Lapindo Menggunakan Metode Kontinyu*. *Kimia Student Journal*, Vol. 1, No. 2, pp 182-187.

- Wimarsela, S., Junaidi, R., dan Silviyati, I. (2021) Sintesis Silika Gel dari Abu Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit Terimobilisasi Difenikarbazon dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Penelitian Inovatif (JUPIN)*, Vol. 1, No. 2, hal. 165-174. <https://doi.org/10.54082/jupin.24>
- Hanawindy, A. S., Mawardi, M. (2023). Ekstraksi Silika (SiO<sub>2</sub>) dari Mineral Tanah Napa Pesisir Selatan. *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, Vol. 12, No.1
- A'yuni, Qurrota, et al. (2023). *Syntesis and Characterization of Silica Gel From Lapindo Volcanic Mud With Etanol as a Cosolvent for Desiccant Applications*. RSC Advances. 13, 2692-2699.
- Azmi, N., Safitri, R., dkk. (2024). Analisis Struktur Kristal Silika (SiO<sub>2</sub>) dengan Metode Sol Gel sebagai Aplikasi TLD (*Thermoluminescence Dosimeter*). *ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin*, Vol. 2, No.6, page: 361-366. <https://doi.org/10.55681/armada.v2i>
- Hasri, et al. (2021). *Sintesis Nanosilika dari Pantai Takalar Menggunakan Metode Hidrothermal*. *Jurnal Sainsmat*. 10(2), pp 165-171
- Ramadhanty, D., et al. (2021). *Sintesa dan Karakteristik Adsorben dari Abu Vulkanik*. *Jurnal ChemPro*. 2(2), pp 52-56
- Prasojo, A. W, dkk. (2024). Sintesis Nanopartikel SiO<sub>2</sub> Menggunakan Metode Sol - Gel dengan Variasi Lama Waktu Kalsinasi. *Jurnal Mesin Material Manufaktur dan Energi*. 4(2), DOI: <https://doi.org/10.47549/jmmme.v4i2.11162>
- Wang, Xuaze. (2020). Preparation, Syntesis and Aplication of Sol-Gel Method.
- Eddy, D. R., dkk. (2016), Sintesis Silika Metode Sol Gel sebagai Penyangga Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Terhadap Penurunan Kadar Kromium dan Besi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 17(2), 82-89.
- Budiarti, H. A., Puspitasari, R. N., dkk. (2017). *Synthesis and Characterization of TiO<sub>2</sub>@SiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub>@TiO<sub>2</sub> Core-Shell Structure Using Lapindo Mud Extract via Sol-Gel Method*. *EPIC ( Engineering Physics International Conference)*, 170, page 65-71.
- Rahmayanti, A., A'yuni, Q., Hartati, H., dkk. (2020). *Synthesis and characterization of silica gel from Lapindo mud Sidoarjo*. *OP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 456 (2020)012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/456/1/012007>
- Maulida, M., Ginting, M., dan Wiei, H. (2017). Ekstraksi Abu Vulkanik Gunung Sinabung Untuk Menghasilkan Silika Gel. *Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 6, No. 3. Pp 41-46
- Utari, N. P. S. S., Sudiarta, I. W., dan Suarya, P. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Vulkanik Gunung Agung Melalui Teknik Sol-Gel. *Jurnal Kimia*, 14(1).
- Sumari, dkk (2023). Silica extract from Malang beach sand via leaching and sol-gel methods. *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*. 12(1), pp 74-81.
- Salamah, S. (2022). Synthesis of Mesoporous Silica from Beach Sand by Sol-Gel Method as a Ni Supported Catalyst for Hydrocracking of Waste Cooking Oil. *Indones. J. Chem.* 22 (3), 726 - 741
- Nur, Ishmah, S. dkk (2020). Extraction of Silica from Bengkulu Beach Sand using Alkali Fusion Method. *Journal of Science Education*. 4(2), 1-5.
- A'yuni, Qurrota, dkk. (2024) Development of silica gel from Lapindo volcanic mud as fluorescent fingerprint powder based on methyl orange. *South African Journal of Chemical Engineering*. 50, 143-151
- Hasanah, Moraida (2023). Extraction and Characterization of Silicon Dioxide from Volcanic Ash of Mount Sinabung, Indonesia: A Preliminary Study. *Journal of Ecological Engineering*, 23(3), 130-136
- Rahmayanti, A. dkk (2019). Synthesis and characterization of silica gel from Lapindo mud Sidoarjo. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 456 (2020) 012007 doi:10.1088/1755-1315/456/1/012007. Pp 1-8.
- Agus, Ismail. Dkk (2020). Facile Synthesis Silica Nanoparticles from Indonesia Silica Sand and their Physico-Chemical Properties. *Key Engineering Materials* Vol. 862. Pp 35-39
- Ismail, L. N. M. Z. Saputri, A. A. Dwiatmoko, B. H. Susanto & M. Nasikin (2021) A facile approach to synthesis of silica nanoparticles from silica sand and their application as superhydrophobic material, *Journal of Asian Ceramic Societies*, 9:2, 665-672, DOI: 10.1080/21870764.2021.1911057
- Daulay, Syukur. (2023). Fabrication and Characterization of Silica Nanoparticles from Beach Sand. *Engineering Chemistry* Vol. 6. Pp 53-58

- Meyliadi. Dkk. (2023). Synthesis of Nanosilica Gel Based on River Sand and Its Use as Water Treatment. *J. Mater. Environ. Sci.*, 2023, Volume 14, Issue 11, Page 1204-1213
- Rawnak. Dkk. (2021). Synthesis and preparation of Nano-silica particles from Iraqi western region silica sand via SOL-GEL method. *Journal of Physics: Conference Series*. Pp 1-10. doi:10.1088/1742-6596/1973/1/012071
- Utari, dkk, (2023). SINTESIS DAN KARAKTERISASI SILIKA GEL DARI ABU VULKANIK GUNUNG AGUNG MELALUI TEKNIK SOL-GEL. *JURNAL KIMIA (JOURNAL OF CHEMISTRY)* 14 (1), 30-36
- Muhammad Arif Firmansyah, Monika Monika, Lalu Ahmad Didik Meiliyadi, Vicram Setiawan, (2024). The morphological analysis and electrical properties of beach sand magnetic mineral-based nano silica gel synthesized via the sol-gel method. *Nexus of Future Materials* 1 (2024) 102-107
- S Salamah, W Trisunaryanti, I Kartini and S Purwono (2021). *International Conference on Chemical and Material Engineering*. Pp 1-8. doi:10.1088/1757-899X/1053/1/012027