

STUDI MODIFIKASI SILIKA ABU BONGGOL JAGUNG MENJADI NANOPARTIKEL SILIKA MENGGUNAKAN METODE STÖBER

STUDY OF MODIFICATION CORN COB ASH SILICA INTO SILICA NANOPARTICLES USING STÖBER METHOD

IRHAS ANUGRAHADI HABIBIE¹, MARIA ULFA², SUDIRMAN^{3*}

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram.
Jl. Majapahit No.62, Gomong, Kec. Selaparang, Kota Mataram, Nusa Tenggara Bar. 83115.

*email: sudirman28@unram.ac.id

Abstrak. Nanopartikel silika adalah silika (SiO_2) yang dimodifikasi dengan rentang ukuran nanometer dan diaplikasikan pada berbagai bidang tertentu. Sintesis nanopartikel silika memanfaatkan biomassa bonggol jagung karena memiliki struktur silika sferikal dan kandungan silika yang tinggi (47,78%). Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengetahui karakteristik nanopartikel silika yang berasal dari abu bonggol jagung. Isolasi silika telah dilakukan dengan metode sol-gel menghasilkan rendemen 30,08% dan tingkat keberhasilan isolasi 64,46%. Silika hasil ekstraksi telah disintesis menjadi nanopartikel silika menggunakan Metode Stöber berbasis prekursor natrium silikat. Ukuran nanopartikel silika yang didapatkan berbagai konsentrasi (0,353–0,967 %v/v) memiliki ukuran partikel 183–356 nm dan nilai PDI 0,294–0,305 yang mengindikasikan bahwa partikel tersebar secara seragam (*monodisperse*). Karakter FTIR silika hasil sintesis memiliki pita serapan gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si).

Kata Kunci: Bonggol Jagung, Metode Sol-gel, Metode Stöber, Monodisper, Natrium silikat, Silika nanopartikel.

Abstract. Silica nanoparticles are modified silica (SiO_2) with a nanometer size range and are applied in various specific fields. Synthesis of silica nanoparticles utilizes corn cob biomass because it has a spherical silica structure and high silica content (47.78%). This study aims to synthesize and determine the characteristics of silica nanoparticles derived from corn cob ash. Silica isolation was carried out using the sol-gel method with a yield of 30.08% and a success rate of 64.46%. The extracted silica has been synthesized into silica nanoparticles using the Stöber Method based on sodium silicate precursors. The size of the silica nanoparticles obtained at various concentrations (0.353–0.967 %v/v) has a particle size of 183–356 nm and a PDI value of 0.294–0.305 which indicates that the particles are distributed uniformly (*monodisperse*). The FTIR character of the synthesized silica has absorption bands of silanol (Si-OH) and siloxane (Si-O-Si) groups.

Key words: Corncobs, Monodisperse, Silica nanoparticles, Sodium silicate, Sol-gel Method, Stöber Method.

PENDAHULUAN

Nanopartikel silika adalah silika (SiO_2) yang dimodifikasi dalam skala nanometer sehingga memunculkan sifat unik baik secara termal, mekanik, optik, maupun elektronik.

Nanopartikel silika memiliki luas permukaan yang sangat besar dibandingkan dengan silika makro dengan ukuran partikel yang lebih besar. Karena sifat permukaan yang tinggi ini, nanopartikel silika dapat menahan panas lebih baik, memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, sifat mekanik yang kuat, dan stabil terhadap reaktivitas fisik dan kimia (Prabha, *et al.*, 2021).

Keunggulan sifat nanopartikel silika membuat material ini banyak diaplikasikan sebagai katalis, bidang biomedis, dan bidang sensor. Katalis dari silika nanopartikel memiliki luas permukaan yang besar sehingga memiliki kemampuan untuk meningkatkan aktivitas reaksi lebih cepat (Ghimire & Jaroniec, 2021). Aplikasi penghantaran obat dan komestik di bidang biomedis dengan silika nanopartikel berfungsi untuk lebih meningkatkan efisiensi obat ke area target. Material ini juga digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi senyawa beracun dari parameter seperti pH, kelembaban, dan lain-lain (Katz, *et al.*, 2021). Meskipun nanopartikel silika telah banyak digunakan di berbagai aplikasi, namun penelitian tentang material ini masih dilakukan terutama berfokus pada metode dan bahan untuk menghasilkan nanopartikel silika yang lebih terkontrol dan murah.

Nanopartikel silika secara umum disintesis menggunakan prekursor Tetraetil Ortosilikat (TEOS) pada medium alkali. Namun penggunaan TEOS dinilai cukup mahal karena pembuatan TEOS yang membutuhkan energi cukup tinggi, waktu yang lama, dan tidak cocok untuk produksi skala besar (Alhusein, *et al.*, 2016). Disisi lain, natrium silikat adalah prekursor yang lebih terjangkau dibandingkan TEOS dan mampu menghasilkan nanopartikel silika dan terdispersi secara seragam (Weichold, *et al.*, 2008).

Metode Stöber merupakan teknik sintesis untuk membuat partikel silika yang dapat dikontrol secara presisi dalam medium basa. Metode Stöber umumnya menggunakan TEOS sebagai prekursor silika. Disisi lain, natrium silikat juga dapat digunakan dalam metode Stöber untuk mensintesis nanopartikel silika. Zulfiqar, *et al.* (2016), menggunakan natrium silikat komersial (*Sigma Aldrich*) untuk menghasilkan silika berukuran 60 ± 11 nm dengan tingkat aglomerasi yang rendah. Namun, saat ini belum ada ditelusuri natrium silikat yang disintesis dari silika biomassa, karena biomassa memiliki potensi besar sebagai sumber silika yang melimpah.

Salah satu biomassa yang dapat dimodifikasi sebagai nanopartikel silika adalah bonggol jagung. Bonggol jagung (*Zea mays sp.*) merupakan limbah sisa hasil pertanian

yang berpotensi digunakan sebagai sumber silika (SiO_2). Komposisi bonggol jagung memiliki silika cukup tinggi yang mengandung SiO_2 (47,78%), CaO (16,7%), Al_2O_3 (9,4%), dan sisanya adalah oksida alkali (Okoronkwo, *et al.*, 2016). Astini, (2022), melaporkan bahwa morfologi silika dari abu bonggol jagung memiliki ukuran 0.2-0.6 μm dan memiliki bentuk sferikal dibandingkan biomassa dari kulit kopi, daun jati, dan daun bambu. Morfologi sferikal lebih disukai untuk sintesis nanopartikel karena meningkatkan kontrol dan tingkat keseragaman distribusi partikel.

Partikel silika yang diisolasi dari biomassa bonggol jagung masih memiliki ukuran mikro sehingga perlu dilakukan studi modifikasi silika biomassa menjadi nanopartikel menggunakan metode Stöber. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka telah dilakukan penelitian dengan judul “**Studi Modifikasi Silika Abu Bonggol Jagung Menjadi Nanopartikel Silika menggunakan Metode Stöber**”. Silika dari abu bonggol jagung diisolasi menggunakan metode sol-gel. Hasil silika isolasi dihitung persen rendemen dan tingkat keberhasilan isolasinya serta dikarakterisasi menggunakan *Fourier-Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengonfirmasi gugus fungsi. Silika nanopartikel disintesis dari silika hasil isolasi menggunakan metode Stöber dan dikarakterisasi dengan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk menganalisis ukuran partikel silika.

MATERI DAN METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian berlokasi di Laboratorium Kimia Anorganik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram. Analisis karakterisasi sampel dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik, FMIPA Universitas Mataram.

Prosedur Kerja

Isolasi silika dari bonggol jagung. Metode isolasi mengadopsi dari Astini, (2022). Abu bonggol jagung (10 g) dikeringkan (80 °C, 30 menit), lalu dihitung kadar air dengan persamaan (3.1). Abu direaksikan (150 °C, 3 jam) dengan NaOH 5 M (1:5 b/v). Campuran dipisahkan dengan vakum Buchner, lalu filtrat dinetralkan menggunakan HCl 37 % (29 °C, 24 jam). Campuran dipisahkan dan endapan dicuci menggunakan aquades hangat. Endapan dikeringkan (90 °C, 24 jam), lalu dihaluskan menjadi serbuk. Perlakuan

dilakukan sebanyak 3 kali, lalu dihitung hasil rendemen dan persen ekstraksi dengan Persamaan (3.2) dan (3.3). Silika isolasi dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi siloksan dan silanol.

Sintesis Nanopartikel Silika. Silika disintesis menggunakan metode Stöber yang diadopsi dari Zulfiqar, *et al.* (2016). Silika hasil isolasi (1,47 g) direaksikan dengan NaOH 5 M (10 mL) pada suhu 60 °C. Natrium silikat (Na_2SiO_3) yang dihasilkan, lalu disimpan dalam wadah tertutup sebagai prekursor silika. Prekursor silika diencerkan dengan aquades sesuai komposisi pada Tabel 3.1. Campuran prekursor silika dituang ke dalam medium basa yang berisi etanol p.a:ammonia 33 % b/v (3:1). Larutan diaduk selama 1 jam dengan *magnetic stirer* dan disonikasi selama 3 jam. Hasil diuji menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran dari partikel silika.

Tabel 1 Komposisi Natrium Silikat dalam Medium Basa

Medium		Prekursor	
Ammonia 33 % (mL)	Etanol p.a. (mL)	Natrium Silikat (mL)	Aquades (mL)
30	10	0,45	6,5
30	10	0,30	3,5
30	10	0,15	2,5

Karakterisasi. Karakterisasi terdiri dari analisis vibrasi bilangan gelombang dari SiO_2 hasil isolasi dengan FTIR dan analisis ukuran SiO_2 hasil sintesis metode Stöber menggunakan PSA. Nilai *Particle Dispersion Index* (PDI) pada hasil perhitungan PSA dihitung menggunakan persamaan 3.4

Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil analisis instrumen diolah menggunakan *software* Origin 8.5.1. Hasil pengukuran dihitung menggunakan beberapa persamaan sebagai berikut:

$$KA: \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan:

KA: Kadar Air (%)

W_2 : Berat awal (g)

W_1 : Berat kering (g)

$$R = \frac{BI}{BA} \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan:

R: Persentase Rendemen (%)

BE: Berat hasil isolasi (g)

BA: Berat awal abu (g)

$$E = \frac{BI}{BT} \times 100\% \quad (3.3)$$

Keterangan:

E: Persentase Ekstraksi (%)

BE: Berat hasil isolasi (g)

BT: Berat total silika dalam sampel (g)

$$PDI = \left(\frac{\sigma}{\bar{X}} \right)^2 \quad (3.4)$$

Keterangan:

PDI: *Particle Dispersion Index*

σ : Standar deviasi diameter partikel

\bar{X} : Rata-rata diameter partikel

HASIL DAN DISKUSI

Silika diisolasi dari 10 g abu bonggol jagung menggunakan metode sol-gel. Proses sol menggunakan larutan NaOH untuk mengekstraksi silika yang masih terikat pada biomassa, sehingga silika terekstraksi membentuk natrium silikat (Na_2SiO_3). Reaksi berlangsung lambat sehingga perlu dilakukan pemanasan untuk meningkatkan kinetika reaksi (Mujiyanti, *et al.*, 2010). Proses gelasi dilakukan pada pH netral dengan menambahkan HCl pekat untuk membebaskan silika dari natrium silikat. Penggunaan HCl pekat juga mampu melarutkan senyawa pengotor (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dst.) sehingga dapat mengekstraksi silika dengan kemurnian yang tinggi.

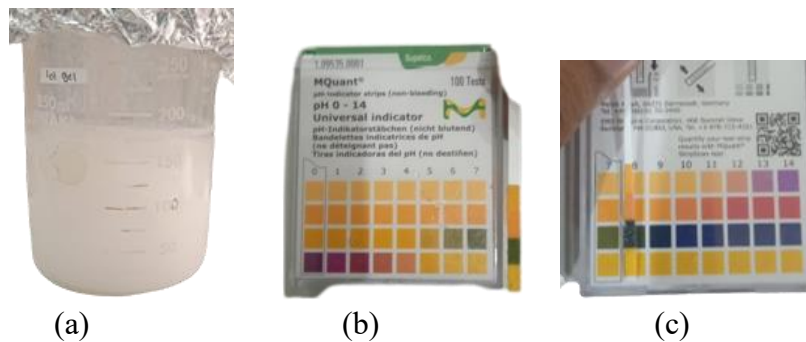
Tabel 2 Silika Hasil Isolasi dari Abu Bonggol Jagung Metode Sol-Gel

Hasil Silika	Kadar Air (%)	Rendemen (%)	Isolasi (%)
Penelitian ini	0,053	30,80	64,46
Pustaka ^[1]	-	21,4	44,78
Pustaka ^[2]	-	27,22	56,97
Silika Total ^[3]	-	47,78	-

^[1]Renika, *et al.*, (2021); ^[2]Astini, (2022); ^[3]Okoronkwo, *et al.*, (2016)

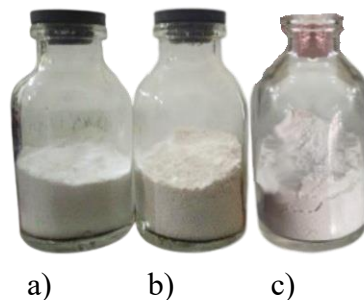
Isolasi silika dari abu bonggol jagung dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Rendemen rata-rata silika dari tiga kali pengulangan sebesar 30,8 % dengan keberhasilan isolasi sebesar 64,46 %. Hasil isolasi silika penelitian ini lebih besar dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Tabel 2). Meskipun metode isolasi silika yang dilakukan sama, tetapi Astini, (2022), menghasilkan rendemen sebesar 21,4 % dan Renika, *et al.* (2021), menghasilkan rendemen sebesar 27,22 %. Perbedaan rendemen tersebut dipengaruhi oleh kestabilan pH pada proses gelasi. Proses gelasi natrium silikat yang ideal dilakukan pada pH netral (Gambar 1), apabila pH gelasi > 7 maka rendemen akan berkurang karena laju reaksi gelasi tidak maksimal pada pH basa. Jika pH < 7 maka rendemen akan bertambah

namun mengurangi kemurnian silika karena anion Cl^- dari asam akan bereaksi dengan Na^+ membentuk NaCl (Hayati & Astuti, 2015).



(a) Proses gelasi SiO_2
(b) pH 7 pada awal gelasi (c) pH 8 setelah 24 jam gelasi

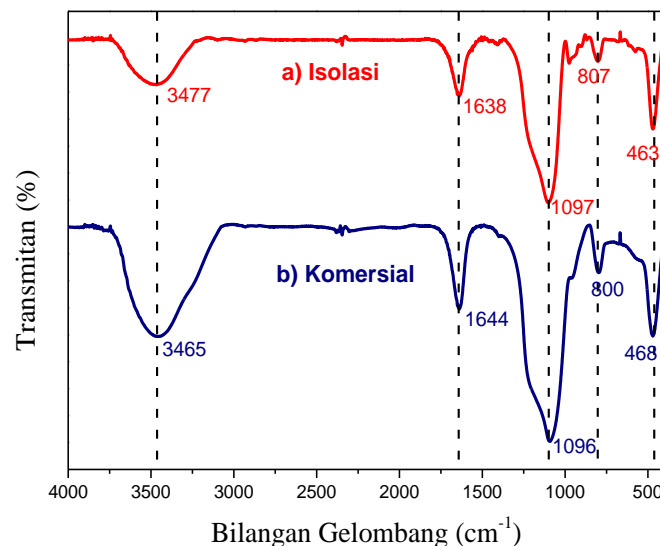
Kondisi jagung yang ditanam juga dapat mempengaruhi besar rendemen silika. Menurut Katz, *et al.* (2021), kondisi keasaman tanah akan mempengaruhi kandungan silika pada biomassa karena kelarutan senyawa silika meningkat dengan pH larutan tanah yang tinggi (8,9 – 9,8), sehingga kadar silika pada tumbuhan juga semakin besar. Silika dari bonggol jagung bersumber dari sel kersik yang ada pada dinding sel tumbuhan yang diangkut dari tanah dalam bentuk mineral. Peran silika dalam sel kersik dapat memperkuat batang bersamaan dengan selulosa yang membentuk ikatan selulosa-O-Si-O-selulosa yang kuat.



(a) I (b) II dan (c) III

Hasil rendemen isolasi silika percobaan II memiliki warna fisik cukup pekat dibandingkan dengan percobaan I dan III (Gambar 2). Menurut Mujiyanti, *et al.* (2010), proses pencucian berpengaruh terhadap warna silika yang disebabkan oleh pengotor oksida. Penggunaan aquades hangat akan lebih efektif menghilangkan pengotor seperti Na_2O , K_2O dan CaO karena rapat massa aquades akan lebih kecil. Aquades hangat cenderung memiliki kemampuan lebih besar dalam melarutkan pengotor logam dibandingkan aquades biasa.

Silika hasil isolasi dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengonfirmasi kemurnian senyawa yang diperoleh. Silika dari biomassa yang diekstraksi dengan metode sol-gel mampu menghasilkan silika dengan kemurnian 98,77 % dan sisanya merupakan pengotor seperti K_2O dan Na_2O (Okoronkwo, *et al.*, 2016). Sebagai perbandingan, silika komersial juga mengandung senyawa pengotor Al_2O_3 dan Fe_2O_3 dengan kadar dibawah 1 % (MSDS U.S. Silica Company, 2010). Silika hasil isolasi memiliki kemiripan bilangan gelombang dengan silika komersial (Gambar 3), sehingga dapat dikatakan bahwa silika hasil isolasi memiliki kemurnian yang tinggi. Kemurnian silika kuantitatif dapat dilakukan karakterisasi lanjutan menggunakan instrumen analisis *Energy Dispersive X-ray* (EDX) atau *X-ray Fluorescence* (XRF) (Prabha, *et al.*, 2021).



Gambar 3 FTIR (a) Silika Isolasi (b) Silika Komersial (Munadi, 2021)

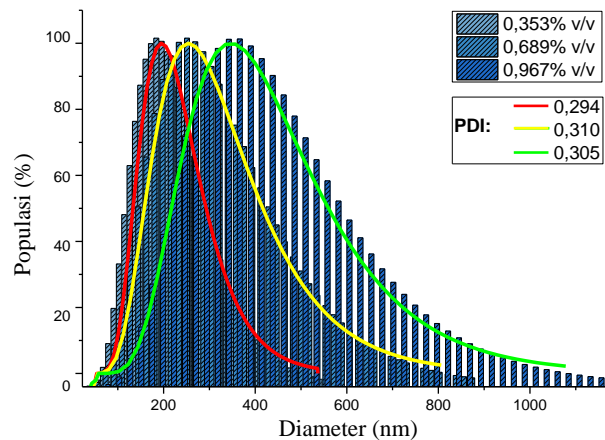
Serapan gugus fungsi silika terdiri dari gugus Si-OH (Silanol) dan gugus Si-O-Si (Siloksan). Pada Tabel 3, bilangan gelombang gugus silanol dapat teridentifikasi di sekitar 3000-3500 dan 1600-1700 cm^{-1} serta gugus siloksan berada sekitar 1100-1200, 800, dan 400-500 cm^{-1} . Hasil ini memiliki kemiripan pada karakter silika komersial dan silika isolasi dari bonggol jagung. Kemunculan serapan di bilangan 1600-1700 cm^{-1} adalah serapan *bending* O-H pada ikatan hidrogen air dengan silika. Serapan 1600-1700 cm^{-1} bisa saja tidak muncul jika silika divakum (400-600°C) untuk mendehidrasi silika (Okoronkwo, *et al.*, 2016).

Tabel 3 Silika abu bonggol jagung dan silika komersial

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
	Silika Isolasi	Pustaka ^[1]	Pustaka ^[2]
O-H <i>Stretching</i>	3466	3480	3477
Si-O <i>Bending</i>	1644	-	1638
Si-O-Si <i>Stretching</i>	1096	1095	1097
Si-O-Si <i>Stretching</i>	800	805	807
Si-O-Si <i>Bending</i>	468	460	463

^[1]Silika bonggol jagung (Okoronkwo, *et al.*, 2016), ^[2]Silika komersial (Munadi, 2021)

Silika hasil isolasi dipreparasi dengan penambahan NaOH 5 M untuk membentuk prekursor natrium silikat (Na₂SiO₃). Prekursor direaksikan pada Medium Stober untuk menghasilkan nanopartikel silika. Hasil sebaran ukuran partikel dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai *Particle Dispersion Index* (PDI) menunjukkan tingkat keseragaman ukuran partikel (*monodisphere*), apabila nilai PDI 0-1, partikel termasuk *monodisphere* dan PDI > 1 termasuk *polydisphere*. Ketiga konsentrasi menunjukkan nilai PDI 0-1 sehingga partikel silika termasuk *monodisphere*. Nilai PDI ≤ 0,3 dapat digunakan untuk aplikasi sistem penghantaran obat (Danaei, *et al.*, 2018).



Gambar 4 Distribusi partikel SiO₂ hasil metode Stöber

Hasil analisis PSA (Tabel 4) menunjukkan bahwa ukuran terbaik adalah ukuran silika yang paling kecil yaitu 183 nm pada konsentrasi Na₂SiO₃ 0,353 % v/v. Zulfiqar, *et al.* (2016), dengan metode Stöber menghasilkan ukuran silika yang lebih kecil yakni 60±11 nm dengan distribusi partikel monodisperse menggunakan Na₂SiO₃ komersial (*Merck Milipore*) dengan konsentrasi 0,004%. Perbedaan hasil pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konsentrasi mempengaruhi ukuran silika. Konsentrasi berpengaruh terhadap pembentukan nukleasi primer sehingga semakin tinggi konsentrasi

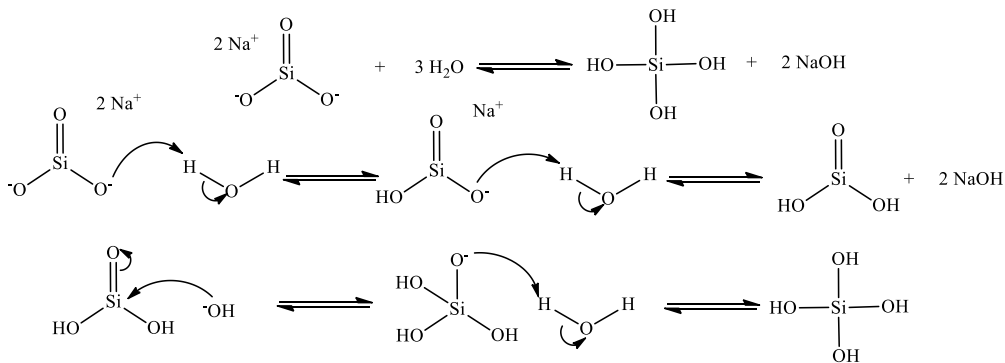
maka semakin tinggi partikel primer terbentuk yang mengakibatkan ukuran partikel semakin besar (Masalov, *et al.*, 2011).

Tabel 4. Ukuran distribusi partikel SiO₂ hasil metode Stöber

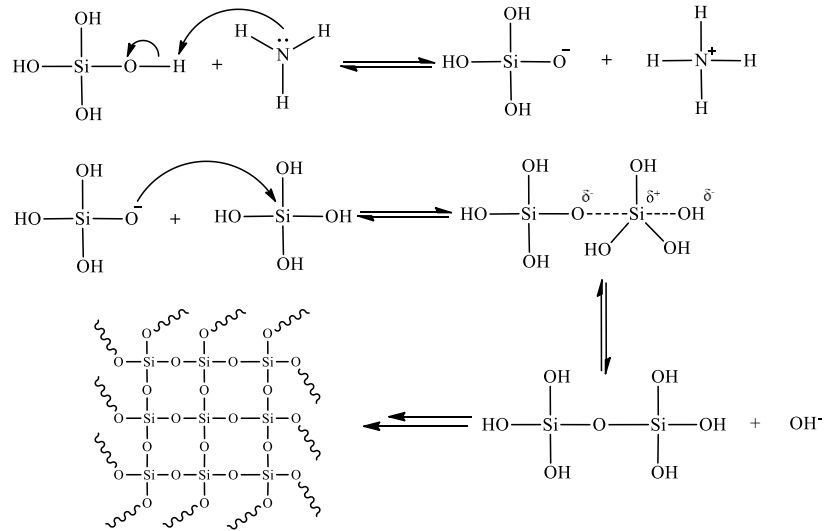
Na ₂ SiO ₃ (%v/v)	Rata-rata (nm)	Particle Dispersion Index (PDI)	Populasi		
			10 % (nm)	50 % (nm)	90 % (nm)
0,353	183	0,294	125	213	347
0,689	251	0,310	162	304	535
0,967	354	0,305	234	414	725

Kondisi pH pelarut juga menentukan ukuran silika. Silika dimodifikasi pada pH basa karena mengandung komposisi OH⁻ yang lebih banyak dibandingkan H⁺, sehingga partikel akan meningkatkan tolakan elektrostatis yang mencegah pembentukan agregat dan membentuk partikel berukuran nanometer. Kondisi pH asam juga menunjukkan hal sebaliknya, dimana tolakan elektrostatis semakin rendah akibat rendahnya komposisi OH⁻ sehingga meningkatkan pembentukan agregat (Zulfihar, *et al.*, 2016). Oleh karena itu, penggunaan metode Stöber sebagai sintesis nanopartikel dalam medium basa merupakan metode yang efektif untuk menghasilkan silika nanopartikel yang terdispersi secara seragam.

Prekursor natrium silikat membentuk asam monosilikat Si(OH)₄ ketika mengalami kesetimbangan dengan air (Gambar 5). Asam monosilikat berperan sebagai monomer yang akan membesar pada medium Stober. Metode Stober menggunakan medium campuran ammonia dan etanol sehingga proses sintesis dalam suasana basa. Ammonia berfungsi sebagai katalis yang akan memprotonasi asam monosilikat untuk memicu terjadinya pertumbuhan partikel (Gambar 6). Etanol berfungsi sebagai *buffer* yang akan mempertahankan pH medium tetap dalam keadaan basa.

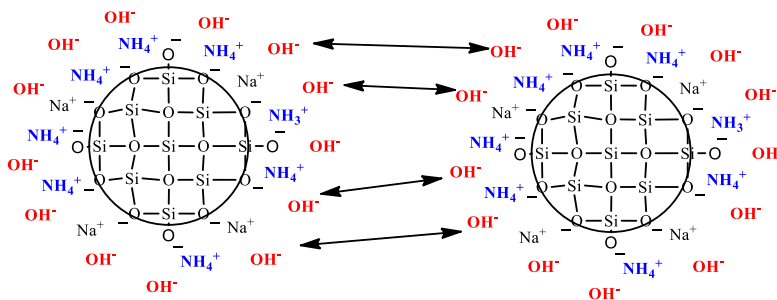


Gambar 5 Usulan mekanisme reaksi hidrolisis natrium silikat

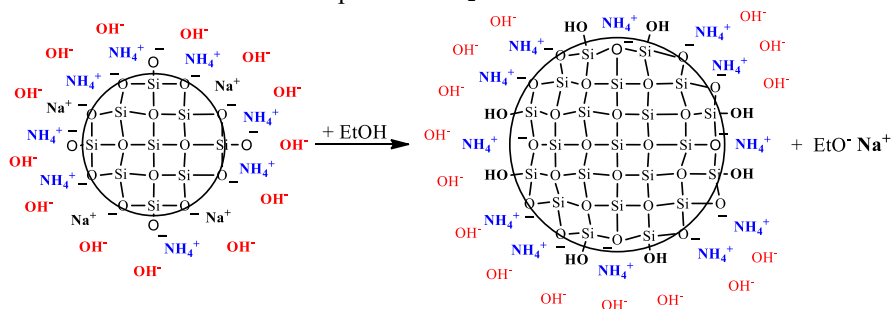


Gambar 6 Usulan mekanisme reaksi kondensasi natrium silikat

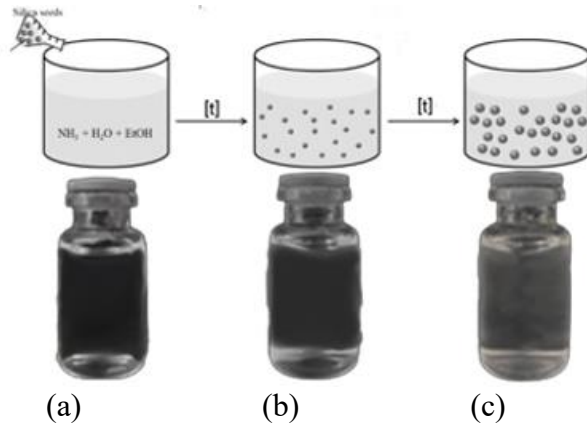
Metode Stober menggunakan pH basa (11-14) dari medium ammonia dan etanol. Seperti ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 7, ammonia terdisosiasi menjadi NH_4^+ (ammonium) yang berfungsi menstabilkan permukaan partikel tetap dalam keadaan sperikal dan basa lemah OH^- dari ammonium membentuk *electric double layer* yang bertujuan untuk memberikan tolakan antar partikel sehingga mencegah dari alglomerasi dan kondensasi (Huang & Pemberton, 2010). Ketika proses pertumbuhan partikel, etanol berfungsi sebagai penyedia proton untuk memicu reaksi kondensasi silanol sehingga partikel membesar (Gambar 8). Namun karena proses dilakukan pada media basa dan efek oleh *electric double layer*, pertumbuhan dapat dikontrol dalam skala nanometer.



Gambar 7 Kestabilan partikel SiO_2 dalam medium Stober

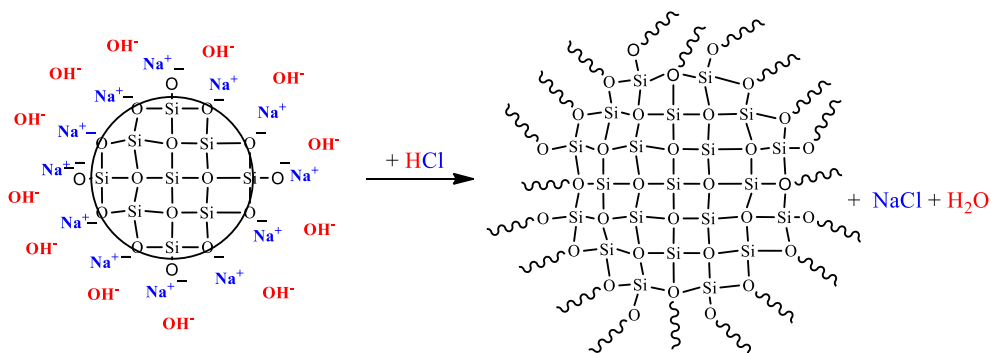


Gambar 8 Kestabilan fase pertumbuhan partikel SiO_2 dalam medium Stober



Gambar 9 Ilustrasi SiO₂ dalam medium Stober: Sebelum Penambahan Na₂SiO₃ (a); Fase pertumbuhan; (c) Pertumbuhan selesai

Metode Stober dan metode sol-gel memiliki persamaan yakni menggunakan proses hidrolisis dan kondensasi untuk mendapatkan partikel silika. Namun, perbedaan kedua metode ini adalah pada kontrol pH. Pada Metode Stober, komposisi OH⁻ lebih tinggi sehingga mencegah partikel teraglomerasi dan partikel terstabilkan pada ukuran nanometer. Pada metode Sol-Gel menggunakan pH netral yang dimana komposisi OH⁻ dan H⁺ saling meniadakan yang menyebabkan aglomerasi partikel lebih mudah terjadi. Seperti ilustrasi pada Gambar 10, prekursor natrium silikat yang bersifat basa dinetralkan oleh asam klorida sehingga laju reaksi kondensasi partikel sangat cepat. Ion Na⁺ tidak lagi mampu menstabilkan partikel silika karena bereaksi dengan ion Cl⁻ membentuk NaCl yang larut dalam air. Perbedaan kontras silika yang dihasilkan antara metode sol-gel dengan metode stober juga dapat terlihat dimana silika sol-gel membentuk larutan suspensi sedangkan silika Stober membentuk larutan koloid.



Gambar 10 Aglomerasi Partikel Silika pada Metode Sol-Gel

KESIMPULAN

Silika yang diisolasi dari abu bonggol jagung memiliki rata-rata persen rendemen sebesar 30,80 % dengan keberhasilan persen isolasi sebesar 64,46 %. Penampilan fisik silika berbentuk serbuk putih dan berdasarkan analisis FTIR teridentifikasi adanya gugus silanol pada 3446 dan 1644 cm^{-1} serta gugus siloksan pada 1096, 800, dan 468 cm^{-1} . Silika hasil isolasi dapat disintesis menjadi silika nanopartikel menggunakan metode Stöber dengan prekursor natrium silikat dalam medium Ammonia dan Etanol (3:1). Karakter nanopartikel silika dari variasi konsentrasi 0,353; 0,689; dan 0,967 % v/v memiliki ukuran partikel masing-masing sebesar 183, 251, dan 354 nm dengan nilai PDI 0,294; 0,310; 0,305 serta memiliki karakter partikel yang *monodisperse*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada dosen pembimbing Dr. Maria Ulfa, S.Si., M.Si., Sudirman, S.Si., M.Si., Oka P. Arjasa, M.T., Ph.D yang telah memberikan saran, masukan, dan kritikan sehingga artikel ilmiah ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdassah, M. (2017). Nanopartikel dengan gelas ionik. *Jurnal Farmaka*, 15(1), 45–52.
- Alhussein, O. Y., Elgorashi, E. A. M., & Bayahia, H. (2016). A novel method for synthesis of ethylsilicates and its applications. *Asian Journal of Chemistry*, 28(12), 2741–2744. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2016.20106>
- Barrabino, A. (2011). Synthesis of mesoporous silica particles with control of both pore diameter and particle size. *Thesis*, 1–63. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/142464.pdf>
- Bharti, C., Gulati, N., Nagaich, U., & Pal, A. (2015). Mesoporous silica nanoparticles in target drug delivery system: A review. *International Journal of Pharmaceutical Investigation*, 5(3), 124. <https://doi.org/10.4103/2230-973x.160844>
- Danaei, M., Dehghankhold, M., Ataei, S., Hasanzadeh Davarani, F., Javanmard, R., Dokhani, A., Khorasani, S., & Mozafari, M. R. (2018). Impact of particle size and polydispersity index on the clinical applications of lipidic nanocarrier systems. *Pharmaceutics*, 10(2), 1–17. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics10020057>
- Fitasari, D., & Ramadani, H. R. (2022). Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II). *Indonesian Chemistry And Application Journal*, 5(1), 21–32.
- Galuh, M., Astini, D., Kimia, P. S., Matematika, F., Ilmu, D. A. N., Alam, P., & Mataram, U. (2022). *Potensi limbah biomassa sebagai sumber silika*.
- Ghimire, P. P., & Jaroniec, M. (2021). Renaissance of Stöber method for synthesis of colloidal particles: New developments and opportunities. *Journal of Colloid and Interface Science*, 584(xxxx), 838–865. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.10.014>
- Hayati, R., & Astuti. (2015). Sintesis Nanopartikel Silika dari Pantai Purus Padang Dengan Metode Kopersipitasi. *Jurnal Fisika Unand*, 4(3), 282–287.
- Hidayat, R., Kim, H. L., Khumaini, K., Chowdhury, T., Mayangsari, T. R., Cho, B., ... & Lee, W. J. (2023). a mixture of hydrogen fluoride and ammonium. *Journal of Vacuum Science & Technology, A 41*. <https://doi.org/10.1116/6.0002433>
- Huang, Y., & Pemberton, J. E. (2010). Synthesis of uniform, spherical sub-100nm silica particles using a conceptual modification of the classic LaMer model. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and*

- Engineering Aspects*, 360(1–3), 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2010.02.031>
- Katz, O., Puppe, D., Kaczorek, D., Prakash, N. B., & Schaller, J. (2021). Silicon in the soil–plant continuum: Intricate feedback mechanisms within ecosystems. In *Plants* (Vol. 10, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/plants10040652>
- Liu, S., & Ott, W. K. (2020). Sodium silicate applications in oil, gas & geothermal well operations. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 195(August), 107693. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107693>
- Lu, H., Tang, S. Y., Yun, G., Li, H., Zhang, Y., Qiao, R., & Li, W. (2020). Modular and Integrated Systems for Nanoparticle and Microparticle Synthesis—A Review. *Biosensors*, 10(11), 1–34. <https://doi.org/10.3390/BIOS10110165>
- Masalov, V. M., Sukhinina, N. S., Kudrenko, E. A., & Emelchenko, G. A. (2011). Mechanism of formation and nanostructure of Stöber silica particles. *Nanotechnology*, 22(27). <https://doi.org/10.1088/0957-4484/22/27/275718>
- Mohanraj, K., Kannan, S., Barathan, S., & Sivakumar, G. (2012). Preparation and characterization of nano SiO₂ from corn Cob Ash by precipitation method. *Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications*, 6(3–4), 394–397.
- Mujiyanti, D. R., Nuryono, & Kunarti, E. S. (2010). Sintesis Dan Karakterisasi Silika Gel Dari Abu Sekam Padi Yang Diimobilisasi Dengan 3-(Trimetoksisilil)-1-Propantiol. *Jurna Sains Dan Terapan Kimia*, 4(2), 150–167.
- Okoronkwo, E. A., Imoisili, P. E., Olubayode, S. A., & Olusunle, S. O. O. (2016). Development of Silica Nanoparticle from Corn Cob Ash. *Advances in Nanoparticles*, 05(02), 135–139. <https://doi.org/10.4236/anp.2016.52015>
- Prabha, S., Durgalakshmi, D., Rajendran, S., & Lichtfouse, E. (2021). Plant-derived silica nanoparticles and composites for biosensors, bioimaging, drug delivery and supercapacitors: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1667–1691. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01123-5>
- Renika, D., Wijaya, M., & Pratiwi, D. E. (2021). Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida (NaOH) Dalam Sintesis Nanosilika Dari Tongkol Jagung dengan Metode Kopresipitasi. *Chemica: Jurnal Ilmiah Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 22(2), 56. <https://doi.org/10.35580/chemica.v22i2.26208>
- Rodgers, J., Edel, J., Rivera, J., & Englander, O. (2011). Bending of nanowire-flexible substrate assemblies integrated via direct synthesis methods. *Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science*, 208(10), 2443–2449. <https://doi.org/10.1002/pssa.201026722>
- Setyawan, N., Hoerudin, & Yuliani, S. (2021). Synthesis of silica from rice husk by sol-gel method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012149>
- Sholeh, M., Rochmadi, R., Sulisty, H., & Budhijanto, B. (2021). Nanostructured silica from bagasse ash: the effect of synthesis temperature and pH on its properties. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 97(1), 126–137. <https://doi.org/10.1007/s10971-020-05416-7>
- Thanh, N. T. K., Maclean, N., & Mahiddine, S. (2014). Mechanisms of nucleation and growth of nanoparticles in solution. *Chemical Reviews*, 114(15), 7610–7630. <https://doi.org/10.1021/cr400544s>
- Weichold, O., Tigges, B., Bertmer, M., & Möller, M. (2008). A comparative study on the dispersion stability of aminofunctionalised silica nanoparticles made from sodium silicate. *Journal of Colloid and Interface Science*, 324(1–2), 105–109. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.04.060>
- Widjonarko, D. M., Jumina, Kartini, I., & Nuryono. (2014). Phosphonate modified silica for adsorption of Co(II), Ni(II), Cu(II), and Zn(II). *Indonesian Journal of Chemistry*, 14(2), 143–151. <https://doi.org/10.22146/ijc.21251>
- Zulfiqar, U., Subhani, T., & Wilayat Husain, S. (2016). Synthesis of silica nanoparticles from sodium silicate under alkaline conditions. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 77(3), 753–758. <https://doi.org/10.1007/s10971-015-3950-7>
- Zulkifli, N. S. C., Ab Rahman, I., Mohamad, D., & Husein, A. (2013). A green sol-gel route for the synthesis of structurally controlled silica particles from rice husk for dental composite filler. *Ceramics International*, 39(4), 4559–4567.