



Preparasi Silika Gel Dari Limbah Kaca Bening Dengan Bantuan Iradiasi *Microwave*

Miftahul Khair, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Bunga Salmadani Indira, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Rizkika Salsabila, Universitas Negeri Padang, Indonesia

ABSTRACT

Clear glass waste contains large amounts of silica so that this glass waste has the potential to produce silica gel. In this research, silica has been successfully determined from clear glass waste with a silica content of 73%. Silica gel was also successfully synthesized with the help of microwave as indicated by the appearance of the Si-OH and Si-O-Si functional groups. The silica gel obtained by heating with a microwave for 20 minutes and a power of 400 W is 25 g for every 50 g of glass waste used.

ARTICLE HISTORY

Submitted : 05/06/2023

Revised : 09/06/2023

Accepted : 12/06/2023

KEYWORDS

Silica gel; Kaca Bening; Microwave

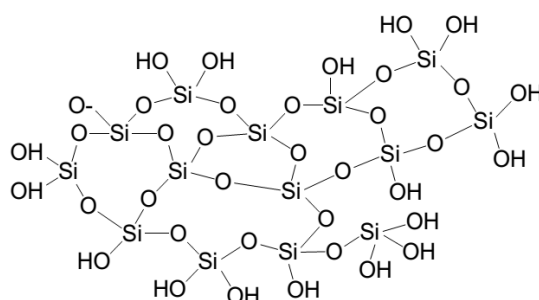
CORRESPONDENCE AUTHOR

✉ miftah@fmipa.unp.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.30743/cheds.v7i1.7130>

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang besar dan menghasilkan limbah kaca juga dalam jumlah besar, dimana sebagian besar limbah ini berasal dari sisa botol, alat dapur dari kaca, piring dan bahan bangunan (Suhartini *et al.*, 2014). Limbah kaca adalah bahan anorganik yang berbahaya dan tidak ramah lingkungan karena tidak dapat terurai secara alami (Alkatiri *et al.*, 2017). Namun demikian, limbah kaca ternyata mengandung silikon dioksida (SiO_2) yang sangat tinggi hingga 84,20 %, serta oksida logam lainnya seperti CaO , Al_2O_3 , K_2O , TiO_2 dan lainnya (Ni'mah *et al.*, 2022a). Kandungan silika yang tinggi dalam limbah kaca dapat digunakan untuk pembuatan silika gel. Dari aspek energi, ekstraksi silika dari limbah kaca lebih efisien daripada dari kuarsa murni karena membutuhkan energi yang lebih rendah (Owoeye *et al.*, 2021a) (Zhu *et al.*, 2009). Penggunaan limbah kaca dalam pembuatan silika gel diharapkan mampu mengganti penggunaan mineral tambang yang sulit diperbaharui. Silika gel sendiri adalah silika amorf yang terdiri dari globula-globula SiO_4 tetrahedral yang tersusun secara tidak beraturan akan membentuk kerangka tiga dimensi yang lebih besar (1-25 μm). Rumus kimia umum untuk silika gel yaitu $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (Sholikha, Ismiati., 2010) dengan struktur kimia pada gambar 1.



Gambar 1. Struktur Kimia Silika Gel

Silika dari limbah kaca dapat diperoleh dengan ekstraksi silika, yang biasa dilakukan dengan menggunakan metode fusi alkali dan metode refluks. Metode fusi alkali bisa mengekstrak logam dari padatan dengan mereaksikan sumber silika dengan alkali karbonat atau hidroksida. Produk fusi alkali adalah alkali silikat. Alkali silikat adalah prekursor sintesis silika gel dengan proses sol-gel (Ni'mah *et al.*, 2022b). Metode ini dilakukan dengan mereaksikan bubuk kaca dan alkali dalam rasio tertentu pada suhu yang tinggi. Keberhasilan dan jumlah silika yang terekstraksi



ditentukan oleh beberapa faktor, seperti perbandingan SiO_2 dan NaOH , ukuran partikel (mm), dan suhu dekomposisi ($^{\circ}\text{C}$) (Owoeye et al., 2021a). Karena banyaknya faktor-faktor ini, maka diperlukan metode yang lebih efisien untuk mengekstraksi silika dan untuk membuat silika gel nantinya.

Pemanasan dengan bantuan gelombang mikro (microwave) adalah teknik baru yang telah banyak memberi hasil menarik dalam reaksi kimia. Pemanasan dengan microwave melengkapi metode pemanasan konveksi yang menggunakan pemanas listrik dan penangas minyak. Sementara itu pemanasan Microwave yang disebut juga dengan pemanasan dielektrik secara langsung bisa berinteraksi dengan molekul dan biasanya memberikan efisiensi reaksi yang lebih tinggi. Microwave berperan pada aktivasi dalam sintesis silika gel karena microwave dapat mempercepat waktu sintesis silika gel dan menghindari pemakaian dan pembuangan zat kimia sisa sehingga memenuhi aspek dari green chemistry. Manfaat lain dari pemakaian microwave yaitu partikel yang dihasilkan lebih kecil dengan distribusi ukuran yang sempit, sehingga memperluas luas permukaan silika selain itu dapat menghemat waktu dan hasil yang didapatkan lebih murni.

Studi tentang pemanfaatan microwave dalam sintesis silika gel dengan menggunakan limbah kaca masih terbatas (Alkatiri et al., 2017) (Ni'mah et al., 2022b). Dalam penelitian ini dilakukan pemanasan Microwave untuk preparasi silika gel dari limbah kaca. Pengaruh waktu radiasi dan daya microwave pada silika gel hasil preparasi diselidiki.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah limbah pecahan gelas kaca bening dari rumah tangga. Asam klorida (HCl), natrium hidroksida (NaOH), berasal dari Merck (Germany) dan aquades. Semua bahan kimia adalah kelas reagen atau kelas analitik dan digunakan sesuai penerimaan. Oven microwave yang digunakan adalah domestic microwave heater 2,45 GHz, dengan daya 400 W. Pecahan kaca dibersihkan, digerus hingga halus dan dilakukan uji X-ray Fluorescence (XRF).

2.2 Pembuatan Natrium Silikat

Sebanyak 50 gram serbuk kaca ditambahkan 150 ml NaOH 3M dan diaduk. Larutan kemudian dimasukkan kedalam microwave heater selama 1, 3, 5, 10, 15 dan 20 menit, lalu ditambahkan 100 ml aquades dan dipanaskan pada temperatur $90\text{-}100^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam. Campuran kemudian disaring dan filtrat yang merupakan larutan natrium silikat dikumpulkan.

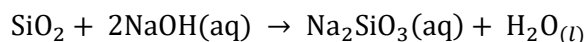
2.3 Pembuatan Silika Gel

Sebanyak 100 ml larutan natrium silikat ditambahkan dengan larutan HCl 3 M hingga pH 8-10. Larutan diaduk selama 4 jam hingga terbentuk hidrogel. Hidrogel yang diperoleh kemudian disaring, lalu dikeringkan dalam oven pada temperatur 80°C selama 2 jam hingga terbentuk silika kering (xerogel). Silika xerogel digerus dan dicuci dengan aquades sampai air bekas cucian bersifat netral. Xerogel yang netral dipanaskan kembali dalam oven pada temperatur 80°C hingga terbentuk kembali silika gel kering (xerogel) dan digerus, kemudian dikarakterisasi dengan XRF merk PANalytical epsilon3, Fourier Transform-Infra Red (FT-IR) merk PANalytical Expert Pro, dan X-Ray Diffraction (XRD) tipe X'Pert PRO merk PANalytical MPD PW3040/60.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan Natrium Silikat

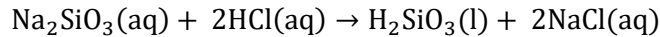
Silikon dioksida (SiO_2) yang ada pada limbah kaca dapat bereaksi dengan basa kuat seperti NaOH . Limbah kaca yang merupakan SiO_2 amorf ini mudah larut dalam NaOH pada suhu kamar dengan persamaan reaksi,



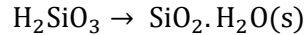
Penggunaan NaOH dengan konsentrasi 3M dalam pembuatan larutan natrium silikat merujuk pada kondisi optimum penelitian lain (Alkatiri et al., 2017). Reaksi diatas dibantu dengan pemanasan dielektrik microwave dengan variasi durasi waktu pemanasan selama 1,3,5,10,15 dan 20 menit untuk melihat bagaimana pengaruh durasi waktu pada rendemen hasil silika gel nantinya. Pemanasan microwave ini akan mempercepat reaksi karena adanya panas yang dihasilkan dari rotasi molekul air yang terinduksi microwave. Larutan natrium silikat ini merupakan prekursor untuk pembentukan silika gel berikutnya.

3.2 Pembuatan Silika Gel

Larutan natrium silikat yang diperoleh direaksikan dengan asam mineral HCl 3M hingga pH 8-10 dan diaduk selama 4 jam untuk menghasilkan hidrogel atau asam silikat H_2SiO_3 . Reaksi yang terjadi adalah:



Setelah penyaringan dan pengeringan pada suhu 80°C selama 2 jam, terbentuklah xerogel (silika gel).



Massa dari silika gel kering ini adalah ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Massa silika gel yang didapatkan dengan pemanasan Microwave 400 W

Massa limbah kaca (g)	Durasi waktu pemanasan (menit)	Massa silika gel (g)
50	1	---
50	3	6,17
50	5	14,05
50	10	20,41
50	15	24,13
50	20	25,38

Pada radiasi microwave selama 1 menit tidak ada perubahan signifikan sehingga belum mampu menghasilkan hidrogel. Massa silika gel yang dihasilkan bertambah dengan bertambahnya durasi waktu pemanasan dengan microwave. Pertambahan ini berhubungan secara linier. Hal ini menunjukkan bahwa pada pembuatan silika gel, efek pemanasan microwave pada tahapan pembentukan natrium silikat sangat menentukan jumlah silika gel yang akan dihasilkan.

3.3 Karakterisasi XRF

Limbah kaca bening dan silika gel yang dihasilkan, dikarakterisasi menggunakan X-ray fluorescence (XRF) untuk menentukan komposisi kimianya. Kandungan silika limbah kaca bening dan kandungan oksida dari silika gel hasil sintesis disajikan pada Tabel 2. Limbah kaca bening mengandung konstituen utama SiO_2 dalam jumlah besar yaitu 73,20%. Hal ini menunjukkan kaca bening ini adalah benar berbasis silika, dan bukan jenis kaca lain yang berbasis pospat misalnya. Tingginya silika ini menjadikan material ini berpotensi sebagai sumber silika pada sintesis silika gel.

Silika dalam limbah kaca bening ini akan diekstrak untuk digunakan sebagai prekursor pembuatan natrium silikat dan dilanjutkan dengan sintesis silika gel. Kandungan silika dalam produk silika gel yang dihasilkan melalui teknik pemanasan dengan bantuan gelombang mikro selama 15 menit ini adalah 75,95%. Terjadinya peningkatan kadar SiO_2 pada produk silika gel menunjukkan bahwa komponen kimia lain yang menjadi komponen pembentuk kaca bening sudah berkurang setelah terjadinya pembentukan silika gel.

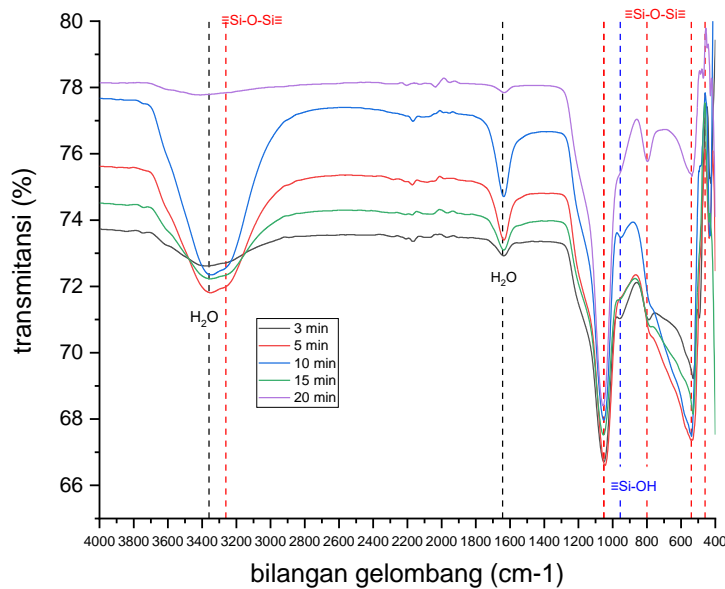
Tabel 2. Kandungan silika limbah kaca bening dan komposisi silika gel hasil sintesis dengan radiasi microwave 15 menit

Komponen	Limbah kaca bening (%)
SiO_2	73,197
Komponen	Silika gel (%)
SiO_2	75,952
P_2O_5	15,785
CaO	3,427
Al_2O_3	4,429
TiO_2	0,036
V_2O_5	0,008
Cr_2O_3	0,035
MnO	0,011

Fe ₂ O ₃	0,195
NiO	0,018
ZnO	0,037
CeO ₂	0,038
Eu ₂ O ₃	0
Yb ₂ O ₃	0
Cl	0,029

3.4 Karakterisasi FTIR

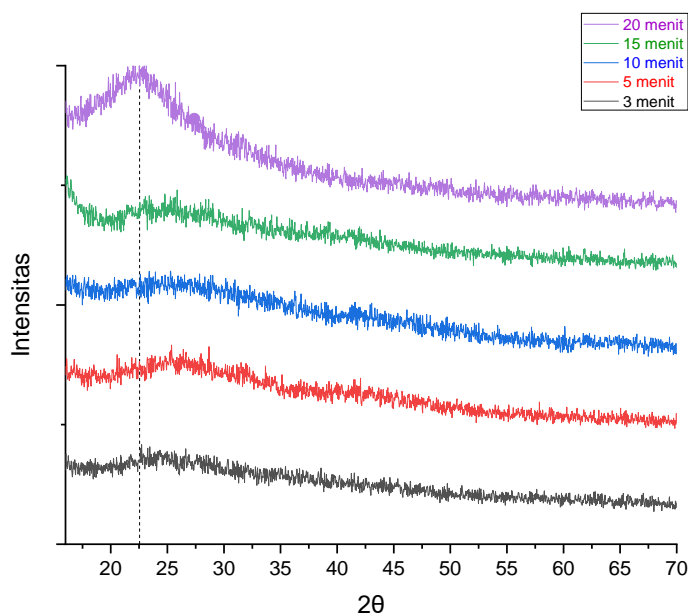
Analisis dengan instrumen FTIR bertujuan untuk melihat gugus-gugus fungsi utama yaitu siloksan ≡Si-O-Si≡ dan silanol ≡SiOH yang terbentuk pada silika gel pada rentang bilangan gelombang 4000-400 cm⁻¹. Dari spektra FTIR (gambar 1), terlihat adanya air yang terserap dengan puncak serapan pada bilangan gelombang pada kisaran 3300 – 3450 cm⁻¹ (vibrasi ulur -OH dari H₂O) dan 1640 cm⁻¹ (vibrasi lentur -OH dari H₂O). Gugus silanol yang merupakan gugus khas pada silika gel dijumpai pada bilangan gelombang 956 cm⁻¹. Gugus siloksan dijumpai pada bilangan gelombang 1082 cm⁻¹ (getaran asimetri Si-O), 800 cm⁻¹ (getaran simetri Si-O), 560 cm⁻¹ (cincin siloksan) dan 460 cm⁻¹ (vibrasi tekuk Si-O-Si). Lengkapnya puncak silanol dan siloksana ini menunjukkan bahwa silika gel sudah terbentuk, bahkan semenjak pemanasan MW selama 3 menit.



Gambar 1. Spektra FTIR silika gel dengan iradiasi microwave

3.5 Karakterisasi XRD

Gambar 2 menunjukkan difraktogram dari gel silika yang disintesis dengan 5 variasi durasi pemanasan dengan microwave, yaitu 3 menit, 5 menit, 10 menit dan 20 menit. Semua difraktogram menunjukkan puncak broadband antara 22 dan 27°. Difraktogram yang melebar dengan puncak yang tumpul menunjukkan fasa amorf dari silika gel. (Kalapathy et al., 2000)(Munasir, 2012). Melebarnya puncak ini adalah karena sinar-X yang ditembakkan oleh alat XRD tidak mampu didifraksikan secara sempurna oleh struktur yang amorf (struktur dengan atom-atom yang tidak beraturan) pada silika gel.



Gambar 2. Difraktogram X-ray dari silika gel limbah kaca bening dengan variasi iradiasi microwave

Difraktogram gel silika yang disintesis tidak menunjukkan adanya puncak NaCl yang merupakan produk sampingan yang biasa dijumpai dalam sintesis silika gel. Hal ini menunjukkan bahwa proses pencucian dalam prosedur sintesis sudah memadai. Intensitas puncak silika gel terlihat makin tinggi seiring makin lamanya durasi pemanasan MW. Ini menunjukkan bahwa kandungan silika lebih tinggi seiring makin lamanya durasi pemanasan. Hal ini dikonfirmasi dengan jumlah silika gel yang makin meningkat seiring durasi pemanasan MW (tabel 1). Difraktogram ini mirip dengan penelitian sebelumnya ((Owoeye et al., 2021b)(Xue & Li, 2008).

4. SIMPULAN DAN SARAN

Silika telah berhasil diekstrak dari limbah kaca bening dengan kandungan silika 73%. Silika gel berhasil disintesis dengan bantuan microwave yang ditunjukkan oleh munculnya gugus fungsi Si-OH dan Si-O-Si. Silika gel yang diperoleh pada pemanasan dengan microwave selama 20 menit dan daya 400 W adalah 25 g setiap 50 g limbah kaca yang digunakan. Terbuka peluang untuk menentukan konsentrasi asam optimal, waktu dan daya optimum pada sintesis dengan bantuan microwave untuk silika gel berikutnya.

5. REFERENSI

- Alkatiri, D. S. F., Insanii, A. M., Marjuki, E. I., & Fitriyah, N. H. (2017). Pembuatan Gel Silika Dari Limbah Kaca Dengan Bantuan Ultrasound Bath Dan Microwave. *Prosiding Semnastek*, 0(0), 1–2. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/1952>
- Kalpathy, U., Proctor, A., & Shultz, J. (2000). A simple method for production of pure silica from rice hull ash. *Bioresource Technology*, 73(3), 257–262. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00127-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00127-3)
- Munasir, M. (2012). *Uji XRD dan XRF pada Bahan Meneral (Batuan dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO3 dan SiO2)*. February 2017. <https://doi.org/10.26740/jpfa.v2n1.p20-29>
- Ni'mah, Y. L., Suprpto, S., Subandi, A. P. K., Yuningsih, N. E., & Pertiwi, A. C. (2022a). The optimization of silica gel synthesis from chemical bottle waste using response surface methodology. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(12), 104329. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104329>
- Ni'mah, Y. L., Suprpto, S., Subandi, A. P. K., Yuningsih, N. E., & Pertiwi, A. C. (2022b). The optimization of silica gel synthesis from chemical bottle waste using response surface methodology. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(12). <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104329>
- Owoeye, S. S., Abegunde, S. M., & Oji, B. (2021a). Effects of process variable on synthesis and characterization of amorphous silica nanoparticles using sodium silicate solutions as precursor by sol–gel method. *Nano-Structures and Nano-Objects*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2020.100625>
- Owoeye, S. S., Abegunde, S. M., & Oji, B. (2021b). Effects of process variable on synthesis and characterization of amorphous silica nanoparticles using sodium silicate solutions as precursor by sol–gel method. *Nano-Structures and Nano-Objects*, 25, 100625. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2020.100625>

- Sholikha, Ismiati., dkk. (2010). *Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Limbah Abu Sekam Padi (Oryza sativa) dengan Konsentrasi Pengasaman*.
- Suhartini, A., Gunartri, A. S. S., & Hasan, A. (2014). Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Botol Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton. *Jurnal BENTANG*, 2(1), 66–80.
- Xue, X., & Li, F. (2008). Removal of Cu(II) from aqueous solution by adsorption onto functionalized SBA-16 mesoporous silica. *Microporous and Mesoporous Materials*, 116(1–3), 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2008.03.023>
- Zhu, H., Chen, A. W., Zhou, A. W., & Byars, E. A. (2009). *Expansion behaviour of glass aggregates in different testing for alkali-silica reactivity*. 485–494. <https://doi.org/10.1617/s11527-008-9396-4>