

Aplikasi silica dalam bidang biomedis

Fikri Ardiansyah Rahmatullah

Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

e-mail: 210604110013@student.uin-malang.ac.id

Kata Kunci:

silika; biomedis; aplikasi; bikompatibilitas; potensial

Keywords:

silica; biomedicine; application; biocompatibility; potential

ABSTRAK

Silika (SiO_2) adalah senyawa anorganik yang banyak ditemukan di bumi dan memiliki berbagai aplikasi dalam bidang biomedis. Sebagai bahan dengan struktur berpori, silika memiliki sifat biokompatibilitas tinggi dan stabilitas yang baik. Dalam nanomedisin, silika digunakan sebagai nanokarier untuk penghantaran obat, memungkinkan pengobatan yang lebih efektif dan mengurangi efek samping. Selain itu, silika digunakan dalam pembuatan glass-ceramics untuk perangkat prostetik karena bioaktivitas dan sifat mekaniknya yang unggul. Aerogel berbasis silika telah dimodifikasi menjadi agen antibakteri efektif dan digunakan sebagai scaffolds saraf, memungkinkan pertumbuhan sel saraf yang lebih baik dan perbaikan saraf yang efisien. Dengan aplikasi yang luas dan keunggulannya, silika terus menjadi bahan yang sangat potensial dalam bidang biomedis.

ABSTRACT

Silica (SiO_2) is an inorganic compound abundantly found on Earth, with various applications in the biomedical field. As a material with a porous structure, silica exhibits high biocompatibility and stability. In nanomedicine, silica is utilized as a nanocarrier for drug delivery, enabling more effective treatments and reducing side effects. Additionally, silica is used in the production of glass-ceramics for prosthetic devices due to its superior bioactivity and mechanical properties. Silica-based aerogels have been modified into effective antibacterial agents and used as nerve scaffolds, promoting better nerve cell growth and efficient nerve repair. With its wide range of applications and numerous advantages, silica continues to be a highly promising material in the biomedical field.

Pendahuluan

Silika merupakan senyawa kimia yang biasa disebut silicon dioksida dengan rumus kimia SiO_2 . Silika terdiri dari camuran heterogen yang memiliki sifat menarik pada ukuran dan keadaan yang berbeda. Silika, dengan rumus kimia SiO_2 , dapat diperoleh dari tiga sumber utama: mineral, tumbuhan, dan sintesis. Silika mineral hadir dalam mineral seperti pasir kuarsa, granit, dan feldspar, yang kaya akan kristal SiO_2 , sementara silika nabati berasal dari tumbuhan seperti sekam padi, tongkol jagung, dan daun bambu. Struktur dasarnya adalah tetrahedral (SiO_4), yang merupakan komponen utama dalam banyak mineral silika, di mana empat atom oksigen terikat pada sudut-sudut tetrahedral mengelilingi atom silikon pusat melalui ikatan kovalen (Afida, 2015). Atom Si dalam silika gel terikat kovalen ke empat atom O dalam susunan tetrahedral. Setiap atom O terikat kovalen ke atom Si lainnya untuk membentuk kelompok fungsional siloksana (-Si-O-Si-)



This is an open access article under the [CC BY-NC-SA](#) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

dan silanol (-Si-OH). Secara umum, panjang ikatan Si-O adalah $\pm 0.16\text{nm}$ dan sudut ikatan Si-O-Si sekitar 148° (Novita & Idris, 2022).

Silica dapat dengan mudah ditemukan di bumi atau bisa dikatakan bahwa silica ialah senyawa yang banyak di bumi. Sebagai bahan anorganik, silika memiliki pori yang seragam ukuran, ukuran partikel dapat dikontrol, luas permukaan besar, dan mudah dimodifikasi permukaan karena adanya gugus silanol (Si-OH), dan sangat baik biokompatibilitas. Berdasarkan karakteristik tersebut, silika anorganik kerangka memiliki stabilitas yang lebih besar dengan adanya suhu fluktuasi, pelarut organik, dan kondisi asam dibandingkan dengan sistem penghantaran obat tradisional. Pertumbuhan Silica manufaktur telah menjadikan Silica sebagai bahan nano terbesar kedua yang diproduksi di seluruh dunia (Huang et al., 2022).

Diantara berbagai aplikasi silica yang ada, diantaranya yaitu pada bidang medis. Artikel ini merangkum kemajuan penelitian terkini dalam aplikasi biomedis. Dalam jurnal lain diterangkan bahwa aplikasi silika lanjut berbasis aerogel dapat digunakan untuk optimalisasi konduktivitas termal bahan, adsorpsi, pembawa katalis, serat optik dll. Salah satu aplikasi penting dari aerogel berbasis silika adalah aplikasi biomedisnya (Vallet-Regí & Balas, 2008).

Dalam artikel ini digunakan metode pendekatan teoritis untuk mengetahui terkait informasi-informasi dari aplikasi silica dalam bidang biomedis. Untuk mendukung artikel ini maka digunakan beberapa jurnal untuk mengutip informasi terkait aplikasi silica dalam bidang bio medis. Tujuan dari pembuatan artikel ini yakni untuk memberikan pengetahuan terkait aplikasi silica yang merupakan senyawa yang paling banyak ditemukan di bumi dalam bidang biomedis.

Pembahasan

Silica merupakan mineral yang utamanya terdiri dari silikon dioksida (SiO_2). Silika hadir dalam berbagai bentuk seperti silika kristalin, silika mikrokristalin, silika vitreous (supercooled liquid glasses), dan silika amorf. Di alam, silika umumnya ditemukan dalam bentuk kristalin, sementara dalam bentuk sintetis, silika biasanya berbentuk amorf. Dalam bidang medis, silika telah menjadi pesaing unggul yang mampu menargetkan, mendeteksi, memberi sinyal, dan melepaskan obat, sehingga memungkinkan pengobatan atau diagnosis yang disesuaikan secara optimal. Aplikasi silica yang lain yaitu bioactive, antibakterial, serta regenerasi saraf dan prostetik (Gonçalves, 2018).

Bioaktive

Glass-ceramics adalah material dengan satu atau lebih fase kristal dalam matriks kaca yang mencakup setidaknya 90% volume total. Matriks kaca berbasis silika sangat berguna dalam biomedis karena material ini tidak hanya bioaktif tetapi juga memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan kaca murni, membuatnya cocok untuk perangkat prostetik beban berat. Bioaktivitas *glass-ceramics* lebih sulit diprediksi daripada kaca, terutama dalam tubuh hidup (*in vivo*). Penelitian menunjukkan bahwa semua implan dengan tiga komposisi mikrostruktural berbeda dapat terikat dengan tulang setelah 6 minggu, menunjukkan bahwa fase silika cukup untuk bioaktivitas. Selain itu, penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa *glass-ceramics* A-W dapat mengikat

dengan tulang melalui lapisan kalsium fosfat, meskipun tanpa lapisan gel silika. Fase kristalin dapat menghambat bioaktivitas, tetapi komposisi baru mempertahankan sifat mekanik yang baik dan bioaktivitas setara dengan kaca sol-gel. Komposisi ini dibuat dengan menggabungkan sintesis kaca sol-gel dan prosedur pemanasan kaca lelehan, menghasilkan *glass-ceramics* dengan karakteristik mikrostruktural dan mekanik yang baik (Vallet-Regí & Balas, 2008).

Pengiriman Obat

Setiap tahun, miliaran dolar dihabiskan di seluruh dunia untuk mengobati dan menyelidiki masalah yang disebabkan oleh efek samping obat. Banyak orang yang mengonsumsi obat mengalami komplikasi yang diakibatkan oleh obat tersebut. Karena tingginya jumlah efek samping obat, ada kebutuhan mendesak untuk menggunakan sistem penghantaran obat yang dapat mengirimkan obat ke tempat yang ditargetkan tanpa merusak jaringan sehat (Hosseini et al., 2024). Aerogel berbasis silika sangat menarik karena stabilitas tinggi, struktur berpori, dan kemudahan fungsionalisasi permukaan, menjadikannya pilihan unggul untuk penghantaran obat dengan biodegradabilitas dan biokompatibilitas yang baik. Dalam sebuah studi, formulasi baru aerogel untuk ketoprofen dikembangkan untuk meningkatkan bioavailabilitasnya. Penelitian menunjukkan bahwa densitas aerogel dapat mengontrol jumlah ketoprofen yang dimuat, dengan teknik CO₂ superkritis memberikan penyerapan obat yang homogen dan seragam. Hasilnya, obat dalam aerogel lebih mudah larut dan dilepaskan lebih cepat dibandingkan bentuk kristalnya (Jahed et al., 2023).

Penggunaan nanopartikel silika juga dimanfaatkan dalam pengobatan penyakit dalam berbagai aplikasi medis, terutama dalam mengobati penyakit pernapasan, sistem saraf, mata, pencernaan, dan sirkulasi. Dalam sistem pernapasan, SiNPs digunakan untuk menargetkan kanker paru-paru, cedera paru-paru akut (ALI), dan penyakit pernapasan infeksi, memanfaatkan aerosol berbasis air dan sistem penghantaran obat yang dapat dihirup seperti M-SiNPs yang dimuat dengan deksametason dan M-SiNPs yang dimuat dengan mirisetin untuk menghambat pertumbuhan tumor. Dalam sistem saraf, SiNPs memfasilitasi penghantaran obat melintasi penghalang darah-otak (BBB) untuk mengobati glioblastoma dan penyakit neurodegeneratif, dengan inovasi seperti M-SiNPs yang dikonjugasikan dengan reseptor transferrin dan partikel yang dimuat dengan resveratrol untuk menargetkan spesies oksigen reaktif dalam tumor. Aplikasi okulasi melibatkan mengatasi penghalang mata untuk penghantaran obat yang ditargetkan, menggunakan SiNPs untuk mengobati angiogenesis retina dan glaukoma, dengan pengembangan seperti M-SiNPs yang dikonjugasikan dengan EpCAM untuk retinoblastoma. Dalam sistem pencernaan, SiNPs direkayasa untuk mengantarkan obat ke hati dan usus, mengobati kondisi seperti kanker hati dan penyakit radang usus melalui sistem penghantaran yang ditargetkan dan nanopartikel yang responsif terhadap rangsangan. Untuk sistem sirkulasi, SiNPs meningkatkan perawatan kardiovaskular dengan meningkatkan efektivitas terapi sel punca dan penghantaran obat ke area spesifik infark miokard, menggunakan nanocarrier multifungsi dan kompleks eksosom tiruan yang direkayasa secara biologis. Teknik pencangkokan permukaan yang canggih lebih lanjut meningkatkan aplikasi biomedis SiNPs, menggabungkan polimer, glikopolimer, dan bahan yang responsif

terhadap rangsangan untuk meningkatkan penghantaran obat, penargetan, dan mekanisme pelepasan, menunjukkan potensi besar di bidang nanomedisin (Huang et al., 2022).

Antibacterial

Aerogel berbasis silika yang telah diubah muatan permukaannya dari negatif menjadi lebih positif dengan penambahan kelompok kationik dan asam amino menjadi agen antibakteri yang efektif melalui mekanisme kontak. Muatan negatif pada dinding sel bakteri menyebabkan interaksi dengan material bakterisida bermuatan positif, yang menyebabkan kematian sel melalui interaksi elektrostatik. Agen antimikroba membunuh atau memperlambat pertumbuhan bakteri melalui empat mekanisme: mencegah pembentukan dinding sel, mengganggu konstruksi DNA, menghambat prorasi protein, dan menghancurkan dinding sel. Interaksi elektrostatik antara bakteri dan aerogel dipengaruhi oleh hidrofobisitas dan kekasaran permukaan aerogel. Permukaan aerogel yang dihidrofobisasi mengurangi adhesi bakteri, yang biasanya lebih suka permukaan hidrofilik. Modifikasi permukaan aerogel dengan agen sililasi, seperti metilasi dengan trimetilsilil klorida (TMCS), meningkatkan efisiensi inhibisi adhesi bakteri. Aerogel silika dapat berfungsi sebagai agen antibakteri melalui fungsionalisasi atau modifikasi permukaan dan pemuatan antibiotik. Studi menunjukkan bahwa nanopartikel tembaga memiliki efek membunuh bakteri yang lebih baik dibandingkan dengan nanopartikel tembaga oksida (Jahed et al., 2023).

Regenerasi saraf dan prostetik

Aplikasi lain dari silika adalah dalam aerogel berbasis silika yang cocok untuk digunakan sebagai scaffolds saraf, terutama dalam konteks prostetik saraf, karena permukaan aerogel yang amorf menyediakan platform yang ideal untuk adhesi dan proliferasi sel, yang penting bagi sel yang harus menempel dan berlabuh sebelum berkembang biak. Sel PC12 tumbuh lebih cepat di aerogel dibandingkan dengan di cawan Petri polistirena, dan aerogel berbasis silika menunjukkan potensi yang baik sebagai konduit saraf. Aerogel yang terikat silang dengan poliurea memungkinkan perpanjangan neurit lebih panjang dan jumlah neurit per kluster yang lebih rendah dibandingkan dengan plastik kultur jaringan. Selain itu, aerogel dapat menahan reaksi kimia dengan baik dan digunakan sebagai platform untuk interface listrik dalam scaffolds saraf. Penggunaan stimulasi listrik arus searah (DC) pada aerogel menunjukkan peningkatan laju pertumbuhan neurit PC12 ke arah anoda, menunjukkan potensi aerogel sebagai implan pintar yang dapat berintegrasi dengan lingkungan tubuh. Stabilitas biologis dan biokompatibilitas aerogel dalam evaluasi *in vivo* mengindikasikan potensi penggunaannya dalam prostetik saraf. Dibandingkan dengan metode perbaikan saraf menggunakan jahitan, aerogel porus silika poliurea menunjukkan bahwa aerogel multisaluran lebih efisien dan menghemat waktu, serta tidak memerlukan tenaga ahli, menjadikannya alternatif yang lebih baik untuk metode allograft/autograft dalam perbaikan saraf. Permukaan aerogel yang disintesis memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas saraf tanpa perlu dijahit, dengan waktu yang dibutuhkan untuk prosedur kurang dari lima menit, jauh lebih cepat dibandingkan metode jahitan konvensional (Jahed et al., 2023).

Kesimpulan dan Saran

Silika, dengan rumus kimia SiO_2 , adalah senyawa yang banyak ditemukan di bumi dan memiliki berbagai aplikasi dalam bidang biomedis. Sebagai bahan anorganik dengan struktur berpori, silika memiliki sifat biokompatibilitas yang tinggi dan stabilitas yang baik terhadap fluktuasi suhu dan pelarut organik. Dalam nanomedisin, silika digunakan sebagai nanokarier untuk penghantaran obat, memungkinkan pengobatan yang lebih efektif dan mengurangi efek samping obat. Silika juga digunakan dalam pembuatan *glass-ceramics* untuk perangkat prostetik beban berat karena bioaktivitas dan sifat mekaniknya yang unggul. Selain itu, aerogel berbasis silika telah dimodifikasi menjadi agen antibakteri yang efektif dan digunakan sebagai scaffolds saraf dalam prostetik. Aerogel ini memungkinkan pertumbuhan sel saraf yang lebih baik dan perbaikan saraf yang efisien, menghemat waktu dan tidak memerlukan tenaga ahli. Dengan aplikasi yang luas dan berbagai keunggulannya, silika terus menjadi bahan yang sangat potensial dalam bidang biomedis.

Perlu pengembangan lagi terkait penelitian tentang silika dalam aplikasi biomedis. Yaitu termasuk mengidentifikasi potensi baru dan meningkatkan pemahaman tentang mekanisme kerjanya dalam tubuh. Dengan begitu aplikasi silika dalam bidang biomedis dapat berkembang dengan lebih aman, efektif, dan inovatif, memberikan manfaat yang signifikan bagi kesehatan masyarakat.

Daftar Pustaka

- Gonçalves, M. C. (2018). Sol-gel silica nanoparticles in medicine: A natural choice. design, synthesis and products. *Molecules*, 23(8), 1–26. <https://doi.org/10.3390/molecules23082021>
- Hosseini, V., Mokri, S. M. G., & Viktorovna, K. A. (2024). Targeted drug delivery through the synthesis of magnetite nanoparticle by co-precipitation method and creating a silica coating on it. *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, April, 113–118. <https://doi.org/10.38124/ijisrt/ijisrt24apr201>
- Huang, Y., Li, P., Zhao, R., Zhao, L., Liu, J., Peng, S., Fu, X., Wang, X., Luo, R., Wang, R., & Zhang, Z. (2022). Silica nanoparticles: Biomedical applications and toxicity. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 151(April), 113053. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113053>
- Jahed, F. S., Hamidi, S., Zamani-Kalajahi, M., & Siahi-Shadbad, M. (2023). Biomedical applications of silica-based aerogels: a comprehensive review. *Macromolecular Research*, 31(6), 519–538. <https://doi.org/10.1007/s13233-023-00142-9>
- Novita, L., & Idris, I. (2022). Effectiveness of silica gel from palm kernel shell ash as a moisture absorber of bottle packaging medicine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1041(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1041/1/012044>
- Vallet-Regí, M., & Balas, F. (2008). Silica Materials for Medical Applications. *The Open Biomedical Engineering Journal*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.2174/1874120700802010001>