

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam dua dekade terakhir, perkembangan teknologi berbasis material mengalami akselerasi signifikan, ditandai dengan meningkatnya eksplorasi dan pemanfaatan nanomaterial sebagai komponen utama dalam berbagai bidang strategis. Nanomaterial, yang memiliki ukuran domain partikel kurang dari 100 nanometer, menunjukkan karakteristik unik seperti luas permukaan spesifik tinggi, kestabilan termal dan mekanik, serta reaktivitas kimia yang tinggi, yang tidak ditemukan pada material skala makro atau bulk (Khan *et al.*, 2019). Keunggulan ini menjadikan nanomaterial sangat penting dalam berbagai sektor, termasuk energi terbarukan (baterai litium, sel surya), biomedis (penghantaran obat, antibakteri), elektronik (sensor, transistor), dan teknologi lingkungan (adsorben, katalis) (Bharadwaj *et al.*, 2021; Roco, 2011). Salah satu nanomaterial yang paling banyak diteliti dan diaplikasikan adalah nanosilika (SiO_2), yang dikenal karena struktur pori yang seragam, kestabilan termal tinggi, serta kemampuan untuk dimodifikasi secara kimia (Zhao *et al.*, 2022). Menurut laporan *Grand View Research*, pasar global *specialty silica* bernilai USD 8,3 miliar pada tahun 2025 dan diproyeksikan tumbuh dari USD 9,1 miliar pada tahun 2026 menjadi USD 14,6 miliar pada tahun 2033 dengan laju pertumbuhan tahunan majemuk (*Compound Annual Growth Rate/CAGR*) sebesar 7,0% selama periode 2026–2033. Kawasan Asia Pasifik merupakan pasar terbesar dengan pangsa sebesar 42,0% dari pasar global pada

tahun 2025. Pertumbuhan tersebut didorong oleh meningkatnya kebutuhan terhadap material silika berkemurnian tinggi yang mendukung berbagai aplikasi industri, seperti material komposit, adsorben, katalis, dan bahan fungsional lainnya. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan industri terhadap material fungsional yang efisien dan ramah lingkungan, kebutuhan terhadap nanosilika terus meningkat. Namun, tingginya harga bahan baku nanosilika sintetis di pasaran mendorong pencarian alternatif sumber yang lebih ekonomis dan berkelanjutan.

Indonesia adalah negara kepulauan yang berada di pertemuan tiga lempeng tektonik aktif dunia: Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Lokasi ini menjadikan Indonesia sebagai bagian dari Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*), dengan lebih dari 130 gunung api aktif, yang menghasilkan berbagai jenis batuan vulkanik dan material piroklastik seperti abu, pasir, dan batuan beku (Artha *et al.*, 2024). Salah satu mineral dominan dari hasil aktivitas vulkanik adalah silika (SiO_2), yang memiliki peran strategis dalam berbagai industri seperti keramik, katalis, optoelektronik, dan nanoteknologi (Rossatto *et al.*, 2022). Namun sayangnya, silika (SiO_2) yang tersedia di alam umumnya masih terdispersi dengan senyawa pengotor seperti Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , dan MgO , serta kebanyakan hadir dalam bentuk makro atau mikroskopis, bukan dalam ukuran nano. Padahal, bentuk nanosilika yang memiliki luas permukaan spesifik tinggi, reaktivitas kimia yang lebih besar, serta morfologi yang dapat dikontrol sangat diperlukan dalam berbagai aplikasi material maju.

Pulau Bali memiliki dua gunung berapi utama, yaitu Gunung Batur dan Gunung Agung, dengan Gunung Agung sebagai gunung tertinggi dan paling aktif. Aktivitas erupsinya secara periodik menghasilkan endapan lahar dingin dan

material piroklastik yang terbawa melalui jalur sungai, termasuk Tukad Telaga Waja (Agus Prayogi *et al.*, 2025; Setyo Pratomo *et al.*, 2018). Sungai ini mengalirkan material vulkanik berupa pasir berwarna abu-abu gelap hingga hitam yang selama ini banyak dimanfaatkan sebagai material konstruksi dan menjadi salah satu sumber daya galian utama di Kabupaten Karangasem (Sumawdiyani, 2021). Secara geoteknis, pasir vulkanik di daerah aliran sungai gunung api umumnya tergolong *well-graded sand* dengan berat jenis sekitar 2,65–2,68 dan sudut geser internal 35° – 44° , sehingga memiliki kepadatan relatif yang baik (Sudewo *et al.*, 2019). Meskipun pemanfaatannya sebagai bahan konstruksi telah cukup luas, potensi pasir vulkanik Tukad Telaga Waja sebagai sumber silika alami untuk sintesis nanosilika masih belum dikaji dan dimanfaatkan. Pemanfaatan pasir vulkanik sebagai bahan baku bernilai tambah, khususnya untuk sintesis nanomaterial, masih relatif terbatas sehingga membuka peluang pengembangan material fungsional berbasis sumber daya lokal.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa material vulkanik di Indonesia memiliki kandungan silika yang tinggi dan berpotensi dimanfaatkan sebagai prekursor sintesis nanosilika. Astari *et al.* (2021) melaporkan bahwa pasir vulkanik Gunung Kelud mengandung SiO_2 sebesar 43–55%. Selanjutnya, Artha *et al.* (2024) berhasil mensintesis nanosilika dari batuan vulkanik Gunung Batur menggunakan metode kopresipitasi dengan kemurnian SiO_2 mencapai 94,9% serta ukuran domain partikel berkisar antara 8,47–8,65 nm berdasarkan karakterisasi XRD. Selain itu, Utari *et al.* (2020) melaporkan bahwa gel silika berhasil disintesis dari abu vulkanik Gunung Agung melalui proses ekstraksi kimia, sedangkan Hasanah *et al.* (2021) menunjukkan bahwa abu vulkanik dapat menghasilkan nanosilika dengan

kemurnian SiO_2 hingga 99,1% menggunakan metode ekstraksi kimia dan kopresipitasi. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa material vulkanik dari berbagai wilayah di Indonesia memiliki potensi yang besar sebagai sumber silika alami untuk sintesis nanosilika. Oleh karena itu, pasir Tukad Telaga Waja yang berasal dari material vulkanik Gunung Agung dipilih sebagai objek penelitian untuk mengkaji potensinya sebagai prekursor nanosilika berkualitas tinggi.

Nanomaterial silika dapat diperoleh melalui berbagai metode, salah satunya adalah metode kopresipitasi, yaitu proses pelarutan dan pengendapan kimia yang dilakukan secara terkendali (Surahmat *et al.*, 2011). Kopresipitasi dinilai sebagai metode yang efisien dan ramah lingkungan, serta sangat sesuai untuk memanfaatkan bahan alam seperti pasir vulkanik sebagai sumber nanosilika. Dalam metode ini, pasir silika terlebih dahulu direaksikan dengan larutan natrium hidroksida (NaOH) untuk membentuk natrium silikat (Na_2SiO_3), kemudian larutan tersebut dititrasi dengan asam kuat seperti HCl sehingga terbentuk endapan silika gel. Silika hasil sintesis selanjutnya dapat dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi fasa kristal atau *amorf*, dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi unsur kimia dominan, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dan distribusi ukuran domain partikel silika pada skala mikro hingga nano, dan menilai homogenitas bentuk, tingkat aglomerasi, serta potensi luas permukaan spesifik. Hasil karakterisasi dari ketiga metode tersebut menjadi penentu utama dalam menilai kualitas nanosilika yang dihasilkan, terutama untuk aplikasi strategis seperti material baterai, sensor kimia, dan sistem fotovoltaik berbasis energi terbarukan.

Parameter penting yang memengaruhi keberhasilan proses ini meliputi molaritas NaOH, suhu reaksi, rasio pereaksi, serta waktu kopresipitasi. Peningkatan molaritas NaOH berperan besar dalam proses pembentukan sodium silikat untuk menghasilkan SiO_2 , namun dalam kondisi berlebih dapat memicu aglomerasi partikel sehingga menurunkan kualitas hasil kemurnian silika yang terbentuk (Silvia & Zainuri, 2020). Menurut Dwi Meilani *et al.* (2023) semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan kemurnian partikel SiO_2 akan semakin besar namun kemungkinan terjadi aglomerasi semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh kavitasi pada sonikasi. Kavitasi merupakan energi yang digunakan untuk menghancurkan partikel ataupun ikatan atom pada suatu larutan. (Desianti *et al.*, 2018). Jika semakin tinggi konsentrasi NaOH maka viskositas larutan juga akan meningkat. Peristiwa ini terjadi dikarenakan konsentrasi menyatakan banyaknya partikel zat terlarut dalam setiap volume, sehingga semakin tinggi konsentrasi semakin banyak partikel yang larut yang mengakibatkan gesekan antar partikel semakin banyak dan viskositasnya semakin besar (Ismayana *et al.*, 2017) sehingga kemurniannya meningkat.

Pengaruh variasi molaritas NaOH dalam proses sintesis silika menjadi nanosilika telah dikaji oleh Bernadeta Dwi Meilani *et al.* (2023), yang mensintesis SiO_2 dari *red mud* menggunakan larutan NaOH dengan variasi molaritas 2,5 M, 5 M, dan 7,5 M serta waktu ekstraksi masing-masing selama 2, 3, dan 4 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemurnian SiO_2 tertinggi diperoleh pada molaritas 7,5 M, yakni sebesar 47,6%, sedangkan pada molaritas 5 M dan 2,5 M diperoleh kemurnian sebesar 35,7% dan 27,2% secara berurutan. Dimana hasil ini menunjukkan komposisi SiO_2 meningkat seiring dengan meningkatnya molaritas

NaOH. Peningkatan terjadinya karena karena molaritas berfungsi sebagai *driving force* pada pembentukan kristal (Esa Madina *et al.*, 2017).

Penelitian oleh Siswanto *et al.* (2024) menyelidiki sintesis SiO_2 dari pasir pantai di Bangka Belitung dan Sungai Lumajang menggunakan metode kopresipitasi dengan variasi molaritas NaOH sebesar 6 M, 7 M, dan 8 M. Karakterisasi hasil sintesis dilakukan menggunakan XRD dan XRF untuk mengidentifikasi struktur kristal dan komposisi unsur kimia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan molaritas NaOH memberikan pengaruh signifikan terhadap kemurnian produk yang dihasilkan. Pada molaritas 8 M, diperoleh kemurnian SiO_2 tertinggi, yaitu sebesar 96,7% untuk pasir Pantai Bangka Belitung dan 96,2% untuk pasir Sungai Lumajang. Temuan ini mengindikasikan bahwa molaritas NaOH yang lebih tinggi dalam batas tertentu mampu meningkatkan efisiensi pelarutan dan presipitasi silika, sehingga menghasilkan nanosilika dengan tingkat kemurnian yang lebih optimal.

Sementara itu, penelitian Ramadhan *et al.* (2014) turut mengeksplorasi pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap sintesis dan karakterisasi serbuk SiO_2 yang berasal dari pasir Pantai Bancar. Proses sintesis dilakukan melalui pembentukan larutan natrium silikat dengan variasi molaritas NaOH sebesar 7 M, 9 M, dan 11 M. Berdasarkan hasil uji komposisi, kandungan SiO_2 tertinggi diperoleh pada molaritas 9 M dengan nilai kemurnian sebesar 96,1%, sedangkan pada 7 M dan 11 M masing-masing menghasilkan 95,6% dan 91,1%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan molaritas NaOH dapat meningkatkan efisiensi pelarutan silika dan pembentukan natrium silikat hingga batas optimum. Namun, penggunaan molaritas yang terlalu tinggi seperti 11 M justru menurunkan kadar

kemurnian karena kondisi larutan menjadi terlalu basa dan sangat pekat. Kondisi ini menyebabkan proses presipitasi silika berlangsung tidak stabil dan memicu terbentuknya aglomerasi partikel yang lebih besar.

Rangkaian penelitian terdahulu secara konsisten menunjukkan bahwa molaritas larutan NaOH merupakan parameter krusial dalam proses sintesis nanosilika melalui metode kopresipitasi. Penelitian Siswanto *et al.* (2024) menunjukkan bahwa kemurnian SiO₂ mencapai nilai optimal pada molaritas 8 M, sementara Ramadhan *et al.* (2014) menemukan bahwa molaritas 9 M menghasilkan kemurnian tertinggi sebelum menurun akibat aglomerasi partikel yang sangat besar pada 11 M. Temuan-temuan ini menegaskan bahwa pemilihan molaritas NaOH yang tepat sangat memengaruhi efisiensi pelarutan, presipitasi, dan kemurnian nanosilika yang dihasilkan. Namun demikian, sebagian besar studi tersebut masih berfokus pada bahan dasar non-vulkanik atau wilayah di luar Bali. Oleh karena itu, rentang molaritas NaOH 6 M, 7 M, dan 8 M dipilih dalam penelitian ini karena penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa rentang molaritas ini secara efektif meningkatkan ekstraksi dan kemurnian silika sekaligus meminimalkan aglomerasi berlebihan pada material pasir kaya silika. Secara khusus, Siswanto *et al.* (2024) berhasil menerapkan rentang konsentrasi NaOH yang sama untuk sintesis silika dari material pasir yang berasal dari sungai, yang dianggap sebanding dengan endapan pasir vulkanik yang diangkut melalui sistem sungai Tukad Telaga Waja di Gunung Agung.

Hingga saat ini, belum terdapat penelitian yang mengkaji pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap sintesis nanosilika dari pasir vulkanik Bali, terutama yang berasal dari jalur lahar Gunung Agung seperti di Tukad Telaga Waja, yang secara

geologis memiliki potensi kandungan silika yang tinggi dalam bentuk *amorf*. Selain itu, sangat sedikit kajian yang secara komprehensif menggabungkan karakterisasi XRF, XRD, dan SEM, untuk mengevaluasi kualitas nanosilika baik secara kimiawi maupun struktural. Padahal, pemahaman terhadap korelasi antara parameter sintesis seperti molaritas basa dan struktur hasil sangat penting untuk menentukan aplikasi potensial nanosilika di berbagai sektor strategis seperti elektronik, biomedis, sensor, energi terbarukan, dan rekayasa lingkungan.

Dengan kondisi geologi yang mendukung serta ketersediaan pasir vulkanik melimpah, Bali memiliki peluang besar untuk dikembangkan sebagai sentra produksi nanosilika berbasis alam. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi nanosilika dari pasir vulkanik Tukad Telaga Waja dengan memvariasikan molaritas NaOH dan melakukan analisis menggunakan XRF, XRD, dan SEM secara menyeluruh. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menjadi dasar ilmiah untuk mengoptimalkan metode kopresipitasi, sekaligus mendorong pemanfaatan sumber daya lokal secara berkelanjutan dan bernilai ekonomi tinggi dalam bidang material maju.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah pada penelitian ialah sebagai berikut:

- 1.2.1. Bagaimana mensintesis nanosilika (SiO_2) dari pasir vulkanik Tukad Telaga Waja Gunung Agung menggunakan metode kopresipitasi?
- 1.2.2. Bagaimana mengkarakterisasi nanosilika (SiO_2) hasil sintesis dari pasir vulkanik Tukad Telaga Waja dengan variasi molaritas NaOH?

- 1.2.3. Bagaimana pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap struktur kristal, kandungan silika, dan kemurnian partikel nanosilika (SiO_2) yang dihasilkan?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

- 1.3.1. Menjelaskan sintesis nanosilika (SiO_2) dari pasir vulkanik Tukad Telaga Waja Gunung Agung melalui metode kopresipitasi.
- 1.3.2. Menjelaskan karakteristik nanosilika (SiO_2) hasil sintesis dari pasir vulkanik Tukad Telaga Waja berdasarkan data karakterisasi XRD, XRF, dan SEM.
- 1.3.3. Menganalisis pengaruh variasi molaritas larutan NaOH terhadap struktur, kandungan unsur, dan kemurnian partikel nanosilika (SiO_2) yang dihasilkan.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik bagi peneliti, lembaga maupun masyarakat. Secara teoretis dan praktis, manfaat dalam penelitian dapat dijabarkan sebagai berikut:

- 1.4.1. Secara teoretis, penelitian ini dapat dijadikan sebagai: (1) sumber informasi ilmiah mengenai potensi kandungan mineral silika pada pasir vulkanik yang berasal dari aliran lahar Gunung Agung, khususnya di wilayah Tukad Telaga Waja, Bali; serta (2) bahan referensi dalam pengembangan kajian akademik dan penelitian selanjutnya yang berfokus pada sintesis dan karakterisasi material nanosilika berbasis bahan alam lokal.

1.4.2. Secara praktis, penelitian ini dapat memberikan kontribusi sebagai pedoman awal bagi pemangku kepentingan dalam pengelolaan sumber daya alam vulkanik, khususnya pasir vulkanik, untuk dimanfaatkan dalam berbagai sektor industri, seperti bahan baku kaca dan keramik, adsorben limbah zat warna sintetis.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada kegiatan sintesis dan karakterisasi kandungan mineral silika (SiO_2) yang berasal dari pasir vulkanik Tukad Telaga Waja, Kabupaten Karangasem, Bali, yang merupakan salah satu jalur aliran lahar Gunung Agung. Proses sintesis dilakukan dengan metode kopresipitasi, menggunakan variasi molaritas larutan NaOH sebagai parameter utama untuk memperoleh nanosilika. Karakterisasi hasil sintesis dilakukan dengan tiga teknik utama, yaitu XRF, XRD, dan SEM. Karakterisasi XRF bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur kimia dominan dalam sampel pasir maupun hasil sintesis. XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa mineral, menentukan struktur kristal atau *amorf*. Sedangkan uji SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dan distribusi ukuran domain partikel hasil sintesis, termasuk bentuk, agregasi partikel, dan kekasaran permukaan.