

## Intisari

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber silika dalam jumlah yang besar seperti pasir silika yang terdapat di Desa Pasir Putih, Kecamatan Pamona Selatan, Kabupaten Poso, Provinsi Sulawesi Tengah. Pasir silika dapat disintesis untuk menjadi silika dalam ukuran nano yang selanjutnya disebut sebagai partikel nanosilika. Partikel nanosilika dapat diaplikasikan sebagai material perangkat elektronik, isolator, katalis, panel surya dan piezoelektrik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji proses sintesis dan karakteristik partikel nanosilika yang meliputi sifat fisis, mekanis dan listrik untuk aplikasi piezoelektrik.

Pada penelitian ini, pasir silika yang diperoleh dari Desa Pasir Putih, Provinsi Sulawesi Tengah digunakan sebagai bahan baku untuk membuat partikel nanosilika. Partikel nanosilika disintesis menggunakan metode kombinasi mekanis dan metode kimia yakni alkali fusion. Proses mekanis dilakukan melalui penghalusan partikel menggunakan ball milling untuk memperoleh serbuk pasir silika yang halus. Proses *alkali fusion* dilakukan melalui pencampuran antara pasir silika dan serbuk natrium hidroksida (NaOH) dengan perbandingan 1:1 fraksi berat, kemudian dipanaskan pada temperatur 600°C ditahan selama 1 jam dan dititrasi dengan larutan HCl sampai terbentuk partikel nanosilika dengan pH normal dan bentuk gel. Untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih kecil dan bervariasi maka proses sintesis dibantu dengan memberikan getaran membran *speaker* variasi frekuensi getaran yaitu: 0, 50, 100 dan 200 Hz. Partikel nanosilika kemudian dikeringkan di dalam *oven* pada temperatur 100 °C selama 16 jam. Partikel nanosilika yang telah dikeringkan selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (X-RF), dan *Transmission Electron Microscope* (TEM). Partikel nanosilika tersebut dipadatkan dengan tekanan 75 MPa secara uniaksial dan disinter dengan variasi temperatur 1330, 1360, 1390, 1420 dan 1450 °C selama 2 jam di lingkungan udara. Partikel nanosilika yang telah disinter selanjutnya dikarakterisasi dengan XRD, SEM/EDX, dan uji densitas. Selanjutnya partikel nanosilika setelah disinter diuji sifat dielektrik menggunakan perangkat spektroskopi impedansi terkomputerisasi dan diuji sifat piezoelektrik dengan penguatan *operational amplifier*. Sifat mekanis dari partikel nanosilika hasil sinter ditentukan menggunakan uji kekerasan Vickers, uji tekan dan uji *diametral tensile strength*. Selanjutnya partikel nanosilika dicampur dengan barium titanat untuk membentuk komposit partikel nanosilika/barium titanat dengan variasi kandungan barium titanat sebesar 0, 10, 20, 30 dan 40% fraksi berat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran partikel nanosilika berkurang dengan meningkatnya frekuensi getaran membran *speaker*. Selanjutnya, ukuran partikel nanosilika yang lebih kecil memiliki sifat dielektrik yang lebih tinggi. Temperatur sinter memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan fase, densifikasi, struktur mikro, dan sifat mekanis dari partikel nanosilika. Fase yang terbentuk pada partikel nanosilika yang disinter adalah fase *tridymite* dan *crystalite*. Densitas *bulk* diperoleh naik dengan kenaikan temperatur sinter dan densitas *bulk* tertinggi diperoleh pada spesimen yang disinter pada temperatur 1390°C. Kenaikan temperatur sinter menyebabkan pertumbuhan butir, terbentuknya *cracks*, dan *liquid* pada permukaan spesimen. Kekuatan tekan dan *diametral tensile strength* meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur sinter dari 1330, 1360, 1390 °C tetapi terjadi penurunan pada temperatur sinter 1420 dan 1450°C. Kekuatan tekan dan *diametral tensile strength* tertinggi diperoleh pada temperatur sinter 1390°C. Nilai kekerasan Vickers naik ketika temperatur sinter meningkat dari temperatur 1330, 1360, 1390, 1420 °C tetapi terjadi penurunan pada temperatur sinter 1450°C. Kekerasan Vickers

tertinggi didapat pada temperatur sinter 1420°C. Sifat dielektrik yang ditunjukkan oleh nilai dielektrik riil dan nilai dielektrik imajiner dari partikel nanosilika menunjukkan nilai tinggi pada frekuensi rendah dan menurun pada frekuensi tinggi. Sifat piezoelektrik ditunjukkan dengan nilai tegangan (*voltage*) luaran. Sifat dielektrik dan tegangan luaran spesimen tidak dipengaruhi signifikan oleh berbagai temperatur sinter dari 1330 °C sampai dengan 1450 °C. Hal ini disebabkan oleh fase yang terbentuk cenderung sama yaitu *tridymite* dan *crystalite*. Penambahan barium titanat 10, 20, 30, dan 40% fraksi berat meningkatkan kekuatan tekan yang signifikan dari nanosilika dan kekuatan tekan tertinggi dicapai pada kandungan barium titanat 10% fraksi berat yakni  $37,01 \pm 1,29$  MPa. Nilai densitas *bulk* tertinggi juga ditunjukkan oleh komposit nanosilika/barium titanat yang mengandung 10% fraksi berat barium titanat, dengan nilai  $2,72 \pm 0,19$  g/cm<sup>3</sup>. Penambahan barium titanat pada partikel nanosilika juga menyebabkan peningkatan nilai tegangan luaran dan tegangan luaran tertinggi (5,52 mV) diperoleh pada kandungan barium titanat 40% fraksi berat. Pada penambahan 10% dan 20% barium titanat, fase yang terbentuk adalah *tridymite* dan *crystalite* sedangkan pada penambahan 30, 40% fraksi berat barium titanat, fase yang terbentuk adalah *tridymite*, *crystalite* dan munculnya fase baru yaitu BaTiSiO<sub>5</sub> dan Ba<sub>2</sub>TiSi<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (*fresnoite*).

Kata kunci: Pasir silika, sintesis, getaran membran, piezoelektrik

## Abstract

Indonesia is a country that has a large amount of silica sources such as silica sand which is found in Pasir Putih village, South Pamona sub-district, Poso district, Central Sulawesi province. Silica sand can be synthesized to become silica in nano size, hereinafter referred to as nanosilica particles. Nanosilica particles can be applied as materials for electronic devices, insulators, catalysts, solar panels and piezoelectrics. The purpose of this research is to study the synthesis process and the characteristics of nanosilica particles which include physical, mechanical and electrical properties for piezoelectric applications.

In this study, silica sand obtained from Pasir Putih village, Central Sulawesi province was used as a raw material for making nanosilica particles. Nanosilica particles were synthesized using a combination of mechanical and chemical methods, namely alkaline fusion. The mechanical process was carried out by refining the particles using ball milling to obtain fine silica sand powder. The alkaline fusion process was carried out by mixing silica sand and sodium hydroxide powder (NaOH) in ratio 1:1 weight fraction, then heating at a temperature of 600°C holding for 1 hour, and titrating with HCl solution until nanosilica particles were formed with a normal pH and form a gel. To obtain smaller and more varied particle sizes, the synthesis process was assisted by vibrating the speaker membrane with variations in vibration frequency, namely: 0, 50, 100 and 200 Hz. The nanosilica particles were then dried in an oven at 100°C for 16 hours. The dried nanosilica particles were then characterized using X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (X-RF), and Transmission Electron Microscope (TEM). The nanosilica particles were uniaxially compacted under 75 MPa pressure and sintered at various temperatures of 1330, 1360, 1390, 1420 and 1450°C for 2 hours in air environment. The sintered nanosilica particles were then characterized by XRD, SEM/EDX, and density tests. After sintering, the nanosilica particles were evaluated for dielectric properties using a computerized impedance spectroscopy device and the piezoelectric properties were tested using an operational amplifier. The mechanical properties of the sintered nanosilica particles were determined using the Vickers hardness, compressive test, and diametral tensile strength tests. Furthermore, nanosilica particles were mixed with barium titanate to form nanosilica/barium titanate composite particles with variations in barium titanate content of 0, 10, 20, 30 and 40 wt%.

The results showed that the nanosilica particle size decreased with increasing the vibration frequency of the speaker membrane. Furthermore, the smaller nanosilica particle size had higher dielectric properties. Sintering temperature had a significant effect on phase change, densification, microstructure, and mechanical properties of nanosilica particles. The phases formed on the sintered nanosilica particles were the tridymite and cristobalite phases. The bulk density obtained increased with increasing sintering temperature and the highest bulk density was obtained in specimens sintered at 1390°C. The increase in sintering temperature caused grain growth, the formation of cracks, and liquid on the surface of the specimen. Both compressive strength and diametral tensile strength increased with increasing sintering temperatures from 1330, 1360, 1390 °C but decreased at 1420 and 1450 °C sintering temperature. The highest compressive strength and diametral tensile strength were obtained at sintering temperature of 1390°C. The Vickers hardness value increased when the sintering temperature increased from 1330, 1360, 1390, 1420 °C but decreased at 1450°C sintering temperature. The highest Vickers hardness was obtained at sintering temperature of 1420°C. The dielectric properties indicated by the real dielectric value and the imaginary dielectric value of nanosilica particles showed high values at low frequencies and decreased at high frequencies. Piezoelectric properties were indicated by