

---

## Fabrikasi Genteng Keramik dari Campuran Lempung dan Pasir Kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) dengan Teknik Kompaksi serta Sintering pada Suhu $800^\circ\text{C}$

Heri Kiswanto<sup>1</sup>, Indah Nurhidayati<sup>2</sup>, Ario Hendartono<sup>3</sup>

*<sup>1</sup>Program Studi Teknika, Politeknik Maritim Negeri Indonesia*

*Jl. Pawiyatan Luhur I No 1 Bendan Duwur, Kec.GajahMungkur, Semarang, Indonesia*

*<sup>2</sup>Program Studi Nautika, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang*

*Jl. Singosari Raya No 2A, Wonodri, Kec. Semarang Selatan, Semarang, Indonesia*

*<sup>3</sup>Program Studi Nautika, Politeknik Maritim Negeri Indonesia*

*Jl. Pawiyatan Luhur I No 1 Bendan Duwur, Kec.GajahMungkur, Semarang, Indonesia*

Penulis Penanggungjawab.

E-mail: [hkiswanto@polimarin.ac.id](mailto:hkiswanto@polimarin.ac.id)

### ABSTRAK

Telah dilakukan fabrikasi genteng keramik dari campuran lempung dan pasir kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) sebagai bahan aditif. Fabrikasi dilakukan pada temperatur sintering  $800^\circ\text{C}$  yang ditahan selama 2 jam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memfabrikasi genteng keramik serta menentukan komposisi optimum bahan aditif pada dari genteng keramik. Komposisi bahan aditif ditentukan berdasarkan persentase massa. Sampel keramik dibuat dalam 4 komposisi yang berbeda dengan perbandingan pasir silika: lempung, yaitu 20%, 40%, 60% dan 80%. Karakterisasi dan pengujian meliputi uji densitas, porositas, serta uji kekerasan. Selain itu juga dilakukan pengamatan mikrofografi dengan menggunakan mikroskop optik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keramik dengan komposisi 80% lempung, 20% silika memiliki hasil yang optimum. Pada komposisi tersebut genteng keramik memiliki densitas  $1,35\text{g/cm}^3$ , porositas 14,68%, kekerasan  $268,04\text{ kgf/mm}^2$ . Pengamatan morfologi menunjukkan terdapat pengurangan pori-pori pada keramik dengan penambahan komposisi silika.

**Kata Kunci** : genteng keramik, morfologi, densitas, porositas, kekerasan,

### ABSTRACT

*The fabrication of ceramic tiles have been carried out from clay and silica ( $\text{SiO}_2$ ) as an additives. The ceramic fabrication was conducted at  $800^\circ\text{C}$  of sintering temperature which held for 2 hours. The purpose was to fabricate the ceramic tiles and determined the optimum composition. The composition of the ceramic was determined by mass percentage. The ceramic samples were made with the compositions of silica: clay, i.e. 20%, 40%, 60% and 80%. The samples were characterized by the density, porosity, and hardness tests. In addition, morphological observations were also carried out using an optical microscope. The test results showed that ceramics with a composition of 80% clay and 20% silica had optimum results. In this composition, ceramic tile has a density of  $1.35\text{g/cm}^3$ , porosity of 14.68%, hardness of  $268.04\text{ kgf/mm}^2$ . The morphology observations showed that the ceramic pores decreased by increasing silica composition.*

**Keywords:** *ceramic tiles, morphology, density, porosity, hardness.*

## 1. Pendahuluan

Material keramik merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Penggunaan keramik dalam kehidupan sehari-hari dapat kita jumpai dalam bentuk pada produk perkakas rumah tangga misalnya pada gerabah, keramik lantai, porselen, gelas maupun dalam bentuk karya seni misalnya pada vas bunga.

Saat ini pengembangan material keramik yang telah maju begitu pesat mengarahkan pada spesifikasi keramik sesuai dengan penggunaannya. Material keramik pada umumnya memiliki beberapa keunggulan di antaranya bersifat keras dan tidak bersifat korosif, serta memiliki kestabilan pada suhu tinggi [1]. Namun ada beberapa kelemahan dari material keramik karena memiliki sifat yang rapuh (*brittle*) yaitu mudah patah dan bersifat getas [2].

Salah satu jenis material keramik yang banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari adalah genteng keramik. Genteng keramik pada umumnya dimanfaatkan sebagai atap bangunan. Alasan penggunaan genteng keramik sebagai atap bangunan antara lain: bahan baku yang mudah didapatkan, proses produksi yang tidak terlalu rumit,

masih digunakan oleh mayoritas penduduk sehingga berpotensi untuk menjadi industri yang berkembang.

Industri genteng merupakan salah satu industri yang cukup potensial untuk dikembangkan. Industri ini menghasilkan genteng keramik sebagai atap bangunan. Salah satu karakteristik atap bangunan yang perlu diperhatikan dalam produksi genteng keramik adalah densitas, porositas serta tingkat kekerasannya. Densitas berkaitan dengan massa genteng, porositas berkaitan dengan serta kemampuan dalam menahan perembesan air, sedangkan kekerasan berkaitan dengan kemampuan genteng dalam menahan beban dari luar.

Penentuan komposisi yang optimum serta pemilihan bahan yang tepat dapat menjadi salah satu upaya untuk menghasilkan genteng keramik yang berkualitas. Proses pembakaran yang optimum juga berpengaruh dalam menghasilkan produk genteng keramik dengan *performance* yang lebih baik, lebih keras dan tahan lama [3].

Pada umumnya genteng keramik terbuat dari tanah lempung, namun tidak jarang ditemui genteng yang dicampur dengan bahan tertentu. Bahan campuran yang digunakan adalah bahan aditif yang berfungsi untuk meningkatkan kekerasan

maupun ketahanannya. Salah satu bahan aditif yang digunakan dalam produksi genteng keramik misalnya pasir kuarsa  $\text{SiO}_2$  [4], [5]. Pemanfaatan pasir kuarsa saat ini semakin meningkat dalam dunia industri. Dalam ukuran nano, pasir kuarsa memiliki sifat yang berbeda dibandingkan dengan ukuran *bulk*-nya. Dalam hal ini penggunaan pasir kuarsa dapat meningkatkan kualitas produk sehingga banyak diaplikasikan dalam *material building* [6].

Pada penelitian ini, proses fabrikasi genteng keramik dilakukan pada suhu  $800^\circ\text{C}$  dengan bahan baku tanah lempung yang dipadukan dengan bahan aditif pasir kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) guna meningkatkan kekerasannya [4]. Penelitian ini bertujuan untuk memfabrikasi genteng keramik, menentukan komposisi optimum bahan aditif, pengujian sifat fisis dan mekanis serta pengamatan mikrografi sampel genteng keramik.

## 2. Bahan dan Metode

Dalam fabrikasi genteng keramik ini, bahan baku yang digunakan adalah tanah lempung yang dicampurkan dengan pasir kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) dengan komposisi tertentu. Selain itu, beberapa alat maupun instrument yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: timbangan

digital, mortar, ayakan, *furnace*, *ballmill*, cetakan, *pressing hydraulic machine*, mikroskop optik, dan *Vickers hardness tester*.

Pengujian hanya dibatasi pada pengujian sifat-sifat fisis dan sifat mekanis yang meliputi densitas, porositas, serta kekerasan. Selain itu, juga dilakukan pengamatan mikrografi untuk melihat morfologi permukaan genteng keramik. Secara detail, tahapan penelitian dijabarkan sebagai berikut:

### a) Preparasi Bahan

Tahap penyiapan bahan adalah tahapan sebelum bahan-bahan dimasukkan ke dalam wadah cetakan. Tahapan ini meliputi preparasi tanah lempung dan pasir kuarsa dengan digerus kemudian lakukan penyaringan butir dengan saringan 200 *mesh* untuk diperoleh butiran yang homogen, serta perhitungan komposisi. Fabrikasi sampel dilakukan dengan memvariasikan komposisi pasir kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) berdasarkan persentase massa (%). Komposisi pasir kuarsa dibuat dalam enam komposisi yang berbeda yaitu 5%, 10%, 15% 20%, 25%, dan 30%.

### b) Homogenisasi

Setelah tahap penyiapan bahan, selanjutnya adalah tahap homogenisasi

yaitu tahap pencampuran bahan. Pencampuran dilakukan dengan *ballmill* agar diperoleh campuran yang homogen dengan ditambahkan sedikit air sebagai media pencampuran. Tahapan ini merupakan salah satu tahapan penting karena akan menentukan kualitas dari genteng keramik yang dihasilkan.

Dalam tahapan ini perlu diperhatikan komposisi serta ukuran butir dari prekursor masing-masing bahan agar diperoleh campuran yang homogen. Hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan kerapatan (*density*) genteng keramik serta untuk mengurangi pori-pori pada permukaan genteng agar mencegah masuknya air hujan sehingga dapat menambah daya tahan genteng [7].

#### c) Kompaksi

Setelah semua bahan sampel tercampur dengan sempurna, tahapan berikutnya adalah kompaksi yaitu pencetakan disertai dengan penekanan. Proses ini bertujuan untuk membentuk keramik dalam sebuah wadah berongga yang diberi beban (ditekan). Pemberian beban ini bertujuan agar sampel mengalami konsolidasi dengan pemberian secara uniaksial. Pencetakan genteng keramik dilakukan dengan pemberian beban (kompaksi) sebesar 200 kg/cm<sup>2</sup>.

#### d) Pembakaran (*Sintering*)

Setelah dipeoleh sampel dalam bentuk pellet, dilanjutkan dengan proses *sintering* (pemanasan) pada suhu 800 °C dengan *heating rate* 5°C/menit. Sintering merupakan proses pemanasan pada suhu tinggi agar serbuk mengalami pemadatan, dengan maksud untuk mengurangi jumlah serta ukuran pori-pori [8], terjadi proses pertumbuhan butir (*grain growth*) [9], [10], meningkatkan kerapatan (*density*), serta mengurangi volume [1], [11]. Proses sintering dipengaruhi oleh beberapa hal seperti jenis precursor (bahan), persentasi massa (komposisi), bahan pengotor serta ukuran bahan penyusun [12].

#### e) Uji Sifat Fisis

Analisis sifat fisis sampel meliputi kerapatan (*density*) dan porositas genteng keramik. Densitas dapat diartikan sebagai perbandingan massa dengan volume [13], [14]. Pengujian densitas dan porositas dilakukan dengan timbangan digital serta gelas ukur. Penentuan kerapatan (*density*) diukur dengan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

dimana  $\rho$  menyatakan densitas (kg/m<sup>3</sup>),  $m$  adalah massa sampel (kg), dan  $v$  adalah volume (m<sup>3</sup>).

Selain densitas, porositas sampel juga diukur. Penentuan porositas didasarkan

pada prinsip Archimedes [13], [14] seperti yang disajikan pada persamaan berikut:

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \quad (2)$$

Dengan  $\rho_1$  adalah densitas sampel dalam kondisi basah ( $\text{kgm/s}^2$ ) dan  $\rho_2$  adalah densitas sampel dalam kondisi kering ( $\text{kgm/s}^2$ ).

f) Pengamatan Mikrografi

Pengamatan mikrografi sampel bertujuan untuk melihat morfologi serta permukaan sampel berikut pori-porinya. Dalam pengamatan morfologi juga dapat mengkonfirmasi apakah bahan dapat tercampur dengan sempurna. Pengamatan mikrografi dilakukan dengan mikroskop optik dengan mikroskop optik dengan perbesaran 100 kali.

g) Pengujian Kekerasan

Dalam penelitian ini, uji kekerasan dilakukan terakhir kali setelah pengujian sifat fisis dan pengamatan mikrografi. Hal ini dikarenakan pengujian ini dapat merusak sampel sehingga berpotensi menyebabkan sampel pecah [15]. Kekerasan didefinisikan sebagai seberapa tahan suatu material untuk menahan gaya (deformasi) secara permanen. Tingkat kekerasan dalam penelitian ini diukur dengan uji *Vickers*, yaitu sebuah pengujian material dengan cara memberikan suatu gaya tekan dari sebuah

indentor pada permukaan sampel. Diagonal jejak yang tumbukan pada sampel yang diukur menjadi dasar perhitungan nilai kekerasan.

Untuk menentukan nilai kekerasan *Vickers* didasarkan pada persamaan berikut:

$$H_v = 1,854 \frac{P}{d^2} \quad (3)$$

dengan  $H_v$  menyatakan nilai kekerasan ( $\text{kgf/mm}^2$ ),  $P$  merupakan indentor atau beban yang diberikan untuk menumbuk ( $\text{kgf}$ ), dan  $d$  adalah jejak diameter ( $\text{mm}^2$ ).

### 3. Hasil dan Pembahasan

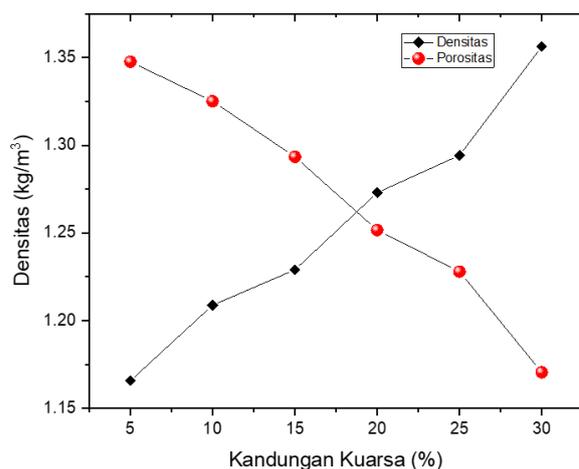
Sampel genteng keramik yang disinterring pada suhu  $800\text{ }^\circ\text{C}$  memiliki warna merah bata dengan bentuk lingkaran dengan jejari 10 mm dan ketebalan 5 mm. Penentuan komposisi optimum genteng keramik didasarkan pada tiga parameter parameter berikut: densitas, porositas serta tingkat kekerasan. Nilai tersebut akan dibandingkan nilai genteng keramik yang ada di pasaran dan telah memenuhi Standard Nasional Indonesia (SNI) 03-2134-1996.

Komposisi dianggap optimum jika genteng keramik memiliki karakteristik sebagai berikut: nilai kekerasan tinggi, porositas rendah, serta densitas tidak terlalu tinggi. Berikut ini ini hasil pengujian sifat fisis dan pengamatan

mikrografi dari sampel genteng keramik yang telah difabrikasi.

### a) Densitas

Hasil pengujian kerapatan sampel (*density*) serta porositas disajikan pada grafik 1 di bawah ini. Berdasarkan gambar 1 di atas, diperoleh bahwa nilai densitas genteng keramik meningkat seiring dengan meningkatnya komposisi pasir kuarsa dengan kisaran antara 1,16 - 1,37 g/cm<sup>3</sup>. Pasir kuarsa memiliki massa lebih tinggi daripada lempung. Oleh karena itu, bertambahnya kandungan pasir kuarsa menyebabkan densitas genteng keramik menjadi meningkat.



Gambar 1. Densitas dan Porositas genteng keramik

### b) Porositas

Porositas menyatakan banyaknya ruang kosong dalam material yang diuji. Semakin banyak ruang kosong pada sampel maka porositasnya semakin tinggi. Porositas sampel berkaitan dengan ketahanan genteng keramik. Semakin banyak pori-pori pada genteng keramik, semakin mudah air masuk ke dalamnya sehingga menyebabkan genteng keramik cepat lapuk karena dapat ditumbuhi lumut.

Berdasarkan gambar 1, porositas sampel cenderung turun dengan bahwa penambahan pasir kuarsa. Pengurangan porositas sampel diduga karena pasir kuarsa mengisi pori-pori genteng keramik yang sebelumnya hanya berupa ruang kosong. Selama proses sintering, butiran-butiran pasir kuarsa akan mengisi pori-pori genteng keramik yang kosong. Hal tersebut sangat mungkin terjadi karena ukuran butir pasir kuarsa relatif lebih kecil dari butiran lempung.

Semakin tinggi kandungan pasir kuarsa dalam genteng keramik, semakin banyak pori-pori genteng keramik yang terisi. Uji porositas genteng keramik dalam penelitian ini berkisar antara 11,5% sampai 13%. Hasil ini lebih kecil daripada porositas genteng keramik yang ada di pasaran yaitu antara 20% sampai 30%.

### c) Pengamatan Morfologi

Pengamatan permukaan genteng keramik serta morfologi sampel menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100 kali. Hasil pengamatan

morfologi masing-masing sampel disajikan pada gambar 2 hingga 5 di bawah ini.



Gambar 2. Sampel a (5% silika)



Gambar 3. Sampel b (10% silika)



Gambar 4. Sampel c (20% silika)

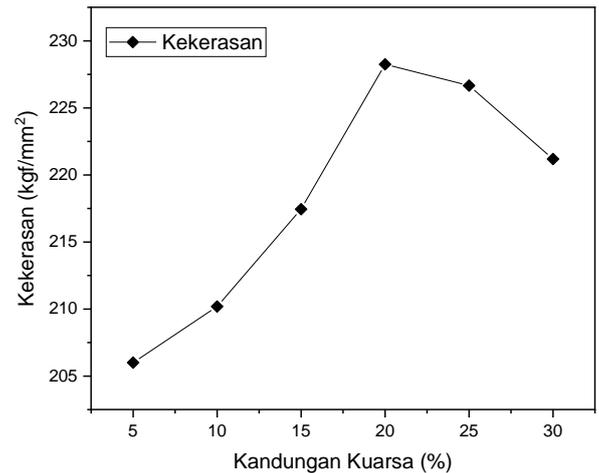


Gambar 5. Sampel d (30% silika)

Pengamatan morfologi menunjukkan bahwa meningkatnya komposisi pasir kuarsa dalam genteng keramik dapat mengurangi porositas dari genteng keramik tersebut. Pori-pori yang sebelumnya kosong dapat terisi oleh air hujan sehingga rawan ditumbuhi lumut. Dengan adanya penambahan pasir kuarsa, butiran pasir kuarsa akan mengisi pori-pori tersebut. Hal ini dikarenakan butiran pasir silika yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan ukuran butiran lempung, sehingga semakin banyak pula pori-pori yang terisi oleh butiran kuarsa tersebut [16]. Dari hasil pengukuran porositas diketahui bahwa kadar optimum penambahan silika adalah 30%, karena jika kadarnya dinaikkan lagi justru menyebabkan genteng keramik akan mudah retak dan patah.

#### d) Pengujian Kekerasan

Grafik berikut menunjukkan pengaruh komposisi pasir kuarsa terhadap nilai kekerasan genteng keramik disajikan pada gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

Hasil pengukuran nilai kekerasan genteng keramik menunjukkan bahwa nilai kekerasan maksimum terdapat pada sampel c yaitu sampel dengan komposisi 80% lempung serta 20% pasir kuarsa. Nilai kekerasan *Vickers* pada sample ini adalah sebesar 228 kgf/mm<sup>2</sup>. Pada umumnya, genteng keramik yang ada di pasaran ada di kisaran memiliki karakteristik sebagai berikut: nilai kekerasn *Vickers* antara 90 hingga 120 kgf/mm<sup>2</sup>, densitas sekitar 0,735 g/cm<sup>3</sup> dan porositas berkisar antara 20% hingga 30% (Sanjaya, 2008). Dalam penelitian ini, sampel genteng keramik yang dihasilkan memiliki tingkat kekerasan yang lebih baik. Hal tersebut diduga karena sampel dicetak dengan diberi penekanan beban sehingga sampel yang dihasilkan lebih *solid*.

Pengaruh kandungan pasir kuarsa terhadap tingkat kekerasan Gambar 6 menunjukkan bahwa peningkatan pasir kuarsa cenderung meningkatkan kekerasan genteng keramik. Penekanan disertai pembebanan mengakibatkan sampel mengalami konsolidasi. Kondisi tersebut dikarenakan butiran pasir kuarsa saling merapat sehingga pori-pori terisi yang berimplikasi pada kekuatan (kekerasan) sampel.

Karakteristik genteng keramik yang baik adalah genteng keramik dengan kekerasan tinggi, tetapi porositas dan densitasnya rendah. Dengan kekerasan yang tinggi, genteng keramik tidak akan mudah pecah. Berbeda halnya dengan porositas dan densitas, genteng keramik yang berkualitas justru memiliki porositas dan densitas rendah. Genteng keramik dengan porositas rendah menyebabkan genteng tidak banyak menyerap air pada saat terkena hujan. Hal ini dapat menambah ketahanan pada genteng keramik karena tidak mudah ditumbuhi lumut sehingga lebih awet. Genteng keramik dengan densitas rendah tidak memberi beban yang besar terhadap penyangga atap.

## 5. Simpulan

Fabrikasi genteng keramik telah berhasil dilakukan pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$  dengan bahan baku lempung dan pasir kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ). Penambahan pasir kuarsa menghasilkan sampel genteng keramik dengan kekerasan yang lebih tinggi, porositas yang lebih rendah daripada genteng keramik yang ada di pasaran.

Dengan mengutamakan nilai kekerasan, maka komposisi optimum dalam penelitian ini adalah sampel c, yaitu sampel dengan perbandingan massa lempung 80 % dan pasir kuarsa 20%. Pada komposisi tersebut, genteng keramik memiliki kekerasan  $228,04 \text{ kgf/mm}^2$  dengan nilai densitas dan porositas masing-masing  $1,27 \text{ g/cm}^3$  dan 12,41 %.

## 6. Referensi

1. B. Budiman and A. Dwi, "Sintesis Keramik Kalsium Silikat Menggunakan Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dan Silikon Dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dengan Teknik Reaksi Padatan pada Suhu Sintering  $1200^{\circ}\text{C}$ ," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 1, no. 1, 2013.
2. Taslimah, Wibisono, Sriyanti, and R. Hastuti, "Pengaruh Jenis Mineral Lempung terhadap Kualitas Genteng

- Keramik,” *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 5, no. 2, pp. 11–14, 2002.
3. A. Rasma and A. dan S. Setiati, “Identifikasi Kualitas Produk Genteng Keramik di Wilayah Aceh, Jawa dan Nusa Tenggara Barat Berbasis Standar Nasional Indonesia,” *Jurnal Standardisasi*, vol. 13, no. 2, pp. 98–110, 2011.
  4. R. Rosalia, D. Asmi, and E. G. Suka, “Preparasi dan Karakterisasi Keramik Silika ( $\text{SiO}_2$ ) Sekam Padi dengan Suhu Kalsinasi  $800^\circ\text{C}$ - $1000^\circ\text{C}$ ,” *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 4, no. 1, 2017.
  5. L. Lestari *et al.*, “Evolusi Mikrostruktur dari Keramik Paduan Silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),” *Jurnal Aplikasi Fisika*, vol. 13, pp. 1–6, 2017.
  6. D. Agustini and D. Asmi, “Sintesis Keramik Silika Daun Bambu Dengan Metode Sol-Gel Dan Karakterisasi Pada Suhu Kalsinasi  $800^\circ\text{C}$ - $1000^\circ\text{C}$ ,” *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 3, no. 1, 2015.
  7. H. Kiswanto, “Optimasi Sifat–sifat Mekanik Genteng Press dengan Bahan Adiktif Silika dan Dolomit,” *Skripsi Semarang. Universitas Negeri Semarang*, 2011.
  8. F. Alam, H. N. Das, and A. K. M. Hossain, *Effects of sintering temperature on the magnetic properties of Cr substituted Mn-Zn ferrite*. 2012. doi: 10.1109/ICECE.2012.6471582.
  9. J.S. Reed, *Introduction to the Principles of Ceramic Processing*. John Wiley & Son, 1995.
  10. H. Kiswanto, E. Suharyadi, T. Kato, and S. Iwata, “Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Magnetik  $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$  dengan Metode Kopresipitasi,” *Wahana Fisika*, vol. 5, no. 1, pp. 51–61, 2020.
  11. E. Damiyanti, S. Sembiring, and W. Simanjuntak, “Pengaruh Suhu Sintering terhadap Karakteristik Struktur dan Mikrostruktur Komposit  $\text{MgO-SiO}_2$  Berbasis Silika Sekam Padi,” *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 1, no. 1, 2013.
  12. Ramlan and A. A. Bama, “Pengaruh Suhu dan Waktu Sintering terhadap Sifat Bahan Porselen untuk Bahan Elektrolit Padat (Komponen Elektronik),” *Jurnal Penelitian Sains*, vol. 14, 2011.
  13. H. Kiswanto, *Fisika Dasar 1*. Syiah Kuala University Press, 2022.

14. H. Kiswanto, *Fisika Lingkungan: Memahami Alam dengan Fisika*. Syiah Kuala University Press, 2022.
15. A. Kurniawan, M. Nizar, M. Rijal, R. Bagas, and W. Setyarsih, “Studi pengaruh variasi suhu kalsinasi terhadap kekerasan bentuk morfologi, dan analisis porositas nanokomposit CaO/SiO<sub>2</sub> untuk aplikasi bahan biomaterial,” *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, vol. 4, no. 2, pp. 22–26, 2014.
16. Muljadi, P. Sebayang, Budiarto, and A. Arslan, “Pengamatan Mikrostruktur Keramik Alumina yang Didoping dengan SiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>,” in *Prosiding Seminar Nasional Mikroskopi dan Mikroanalisis*, 1999.