

## KARAKTERISTIK SIFAT TERMAL, SIFAT LISTRIK DAN STRUKTUR KRISTAL DARI KERAMIK SiC DENGAN ADITIF CLAY

Etty Marti Wigayati <sup>(1)</sup> dan Muljadi <sup>(1)</sup>

1. Pusat Penelitian Fisika – LIPI

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang

### ABSTRAK

**KARAKTERISTIK SIFAT TERMAL, SIFAT LISTRIK DAN STRUKTUR KRISTAL DARI KERAMIK SiC DENGAN ADITIF CLAY.** Telah dilakukan penelitian pembuatan keramik SiC dari bahan baku SiC teknis dan aditif *clay*. Komposisi *clay* adalah ( 0,1,3,4) % berat, dimana fungsi *clay* adalah sebagai perekat, dan tidak mempengaruhi sifat dari SiC. *Sintering* dilakukan pada temperatur 1300° C, 1400° C dan 1500° C. Struktur kristal yang terbentuk diamati dengan XRD, semua sampel yang di-*sintering* pada berbagai temperatur menunjukkan fasa dominan  $\alpha$ -SiC dengan struktur kristal *rhombohedral*. Koefisien muai termal diamati dengan dilatometer, yang memberikan hasil koefisien muai termal  $5.62 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ . Resistivitas terbesar pada aditif 4 % dan diukur pada rentang temperatur 75° C sampai 450° C adalah 1142  $\Omega \cdot \text{cm}$ . Dari hasil penelitian ini keramik SiC menunjukkan sifat stabil sehingga dapat digunakan untuk refraktori dan komponen pada industri nuklir.

**Kata kunci:** Sifat termal, sifat listrik, keramik SiC, bahan aditif, *clay* dan struktur kristal.

### ABSTRACT

**CHARACTERISTIC OF THERMAL PROPERTY, ELECTRICAL PROPERTY AND CRYSTAL STRUCTURE OF SiC CERAMIC WITH ADDITIF CLAY ADDITION.** Ceramic SiC has been made from raw materials SiC technics and clay as additive. Clay composition is 0, 1, 3, 4 % weight, where function of clay is as a binder and it can not influence properties of SiC. Sintering was done at temperatures 1300° C, 1400° C and 1500° C. The crystal structure was observed by using XRD, and all sintered samples have dominant phase  $\alpha$ -SiC with rhombohedral crystal structure. The coefficient of thermal expansion was measured by using Dilatometer, and value of coefficient of thermal expansion is  $5.62 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ . The highest resistivity value at 4 % additive and at temperature measurement between 75 – 450 C is 1142  $\Omega \cdot \text{cm}$ . And the result of research shows that ceramic SiC is stable materials and can be used for refractory and also as components in nuclear industrials.

**Key word:** Thermal property, electric property, SiC ceramic, additife matterial, clay, crystal structure.

### PENDAHULUAN

Keramik Silikon Karbida (SiC) adalah salah satu keramik yang memiliki sifat fisik dan mekanik yang baik antara lain : kestabilan bahan pada temperatur tinggi, daya hantar panas tinggi, koefisien ekspansi thermal

rendah, tahan korosi dan stabil. Berdasarkan sifat sifat tersebut keramik SiC banyak digunakan dalam industri permesinan, bahan refraktori berat, bahan abrasif dan material anti aus. Di dalam industri bahan bakar nuklir SiC dapat dipergunakan sebagai lapisan bahan

bakar HTR ( *High Temperature Reactor* ), bila dipadukan dengan Al, SiC-Al dapat dipakai sebagai bahan komponen reaktor dan dapat berupa pelat pendukung teras, pipa pendingin bahan bakar, juga dapat dipakai sebagai bahan pembuat *crusible* dalam proses kalsinasi, reduksi, rekristalisasi maupun proses *sintering* pada industri elemen bakar nuklir, karena *crusible* SiC selain tidak mempengaruhi impuritas pada bahan bakar nuklir juga tahan pada temperatur tinggi. Keramik SiC mempunyai sifat perpindahan panas yang baik sehingga dapat pula dipergunakan sebagai elemen pemanas pada tungku *annealing*. Karena aplikasinya begitu luas, maka perlu dikembangkan pembuatan keramik SiC dengan bahan baku yang banyak tersedia di pasaran.

Keramik SiC termasuk kategori keramik non oksida dapat disintesa melalui proses reduksi SiO<sub>2</sub> dengan karbon (C) atau karbonisasi pada logam Si. Keramik SiC tergolong *polymorphy material* yang mempunyai struktur kristal kubik (  $\beta$  ) dan *rhombohedral* (  $\alpha$  ), serta SiC memiliki kekerasan yang sangat tinggi ( 9.5 skala mosh) hampir mendekati kekerasan intan.

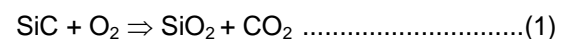
Silikon Karbida ( SiC ) memiliki ikatan kovalen dimana tiap atom Si dikelilingi oleh atom C secara tetragonal dengan dua *polymorphy*, yaitu:

- Memiliki struktur *rhombohedral* yang dikenal sebagai  $\alpha$ -SiC, stabil pada temperatur tinggi ( 2600° C ), warna abu abu kehitaman dan temperatur pembentukannya diatas 2000°C.
- Memiliki struktur kristal kubik yang dikenal sebagai  $\beta$  SiC, stabil pada temperatur 1500°C – 1600°C, warna hijau dan temperatur pembentukannya di bawah 2000°C.

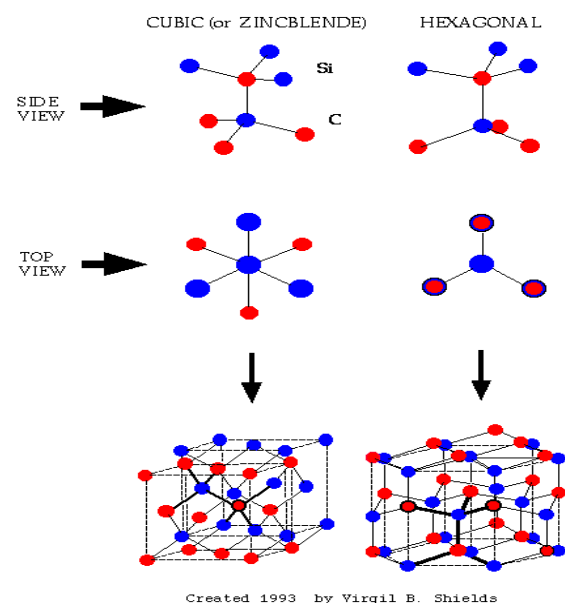
Pada Gambar 1 diperlihatkan bentuk dan struktur kristal dari SiC. Sifat fisik yang dimiliki SiC antara lain: stabil pada pemakaian temperatur tinggi antara ( 1700°C-2500°C ),

rapat massa 3.22 gr/cm<sup>3</sup> , *Compressive Strenght* yang cukup tinggi sekitar 350-450 MPa , koefisien ekspansi termal yang rendah ( 4.51-4.73 ) 10.<sup>-6.0</sup> C<sup>-1</sup> , dan resistivitas cukup baik yaitu 11.61 Ohm-cm pada temperatur ruang. Dari sifat sifat tersebut maka keramik SiC dipakai pada temperatur tinggi.

SiC mudah bereaksi dengan oksigen yang berada di udara menghasilkan silikon oksida, berdasarkan reaksi :



Sehingga hal tersebut harus diperhatikan dalam proses *sintering*, supaya proses *sintering* dapat berlangsung.



Gambar 1: struktur kristal dari SiC.

Tujuan penelitian pembuatan keramik SiC dengan penambahan bahan aditif *clay* adalah untuk menurunkan temperatur *sintering* keramik SiC. Penambahan bahan aditif ini prosentasenya rendah agar tidak mempengaruhi sifat sifat dari SiC. Selain untuk menurunkan temperatur *sintering*, bahan aditif berfungsi pula sebagai perekat partikel SiC.

Clay (lempung ) merupakan bahan keramik yang terdapat sangat banyak di alam, mengandung silikat aluminium hidrat dan komposisi kimia dari clay adalah :  $\text{SiO}_2 = 57,60 - 68,30 \%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13,10 - 18,60 \%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0 - 4,31 \%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} = 0,38 - 1,69 \%$ , dan  $\text{K}_2\text{O} = 0,42 - 1,42 \%$ . Clay mempunyai titik leleh di bawah  $1000^\circ\text{C}$ , mempunyai butiran sangat halus, dalam keadaan basah bersifat plastis dan apabila disinter akan menjadi keras. Pada saat proses *sintering* partikel clay akan mengisi ruangan di antara partikel SiC, sehingga membentuk keramik yang kompak dan padat.

Hal hal yang terkait dalam identifikasi sifat termal dan sifat listrik suatu bahan adalah: koefisien ekspansi termal dan resistivitas listrik bahan.

Koefisien ekspansi termal suatu bahan adalah berhubungan dengan daya tahan bahan tersebut terhadap perubahan temperatur secara mendadak. Semakin rendah koefisien ekspansi termal suatu bahan, maka semakin tinggi daya tahan bahan dalam menerima perubahan temperatur secara mendadak. Pada penelitian ini pengukuran ekspansi termal menggunakan *Dilatometer Analyzer* dari Harrop model TD- 712. Sampel diletakan sedemikian hingga menyentuh batang pendeteksi. Saat dilakukan pemanasan pertambahan panjang dari sampel akan ditransmisikan oleh batang pendeteksi ke *Linier Variable Difference Transformer* ( LVDT ). Pertambahan panjang  $\Delta L$  pada sampel akan memiliki perbandingan linier terhadap pertambahan temperatur  $\Delta T$ . Secara umum koefisien ekspansi termal  $\alpha$  adalah sebagai harga perubahan panjang dari sampel tiap satuan temperatur, yang dirumuskan :

$$A = \frac{\Delta L / L_0}{\Delta T} \dots\dots\dots(2)$$

dengan :

$\Delta L$  = Pertambahan panjang

$\Delta T$  = Pertambahan temperatur.

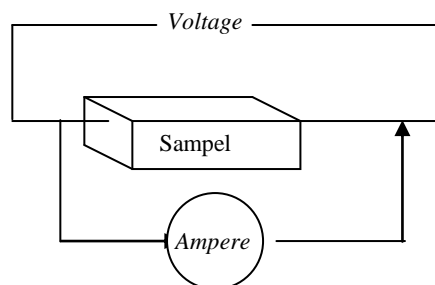
$L_0$  = Panjang sampel mula-mula

Pengukuran resistivitas: salah satu cara dilakukan dengan metoda 2 titik. Susunan rangkaian pengukuran resistivitas dapat dilihat pada Gambar 2. Resistivitas dihitung menggunakan rumus :

$$\rho = (AxR )/L \dots\dots\dots(3)$$

dengan :

- $\rho$  = resistivitas bahan
- A = luas penampang bahan
- R = resistansi yang diukur
- L = tebal sampel



Gambar 2 : Rangkaian percobaan pengukuran Resistivitas

**TATA KERJA**

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah serbuk SiC teknis, dan clay dari daerah Lodaya (Tulung Agung). Bahan bahan tersebut dihaluskan, kemudian diayak hingga lolos 400 mesh. Komposisi bahan aditif clay masing masing adalah 0, 1, 3 dan 4 % berat. Bahan bahan tersebut kemudian dicampur dalam media air dan diaduk hingga homogen, kemudian dikeringkan dalam oven, setelah itu dihaluskan lagi sampai lolos ayakan 400 mesh. Bahan campuran SiC dan clay kemudian dicetak menggunakan *hydraulic press* dengan tekanan 50.000 KPa, cetakan dipilih bentuk tablet dan batangan. Sampel kemudian dibakar di dalam tungku listrik. Temperatur *sintering* dibuat bervariasi yaitu  $1300^\circ\text{C}$ ,  $1400^\circ\text{C}$  dan  $1500^\circ\text{C}$  dengan penahanan pada masing-masing temperatur selama 1 jam. Selama proses pembakaran

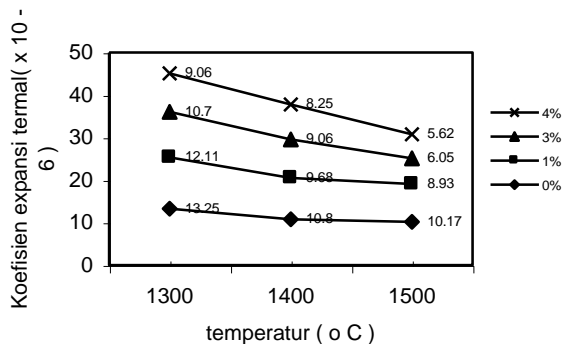
sampel harus dikapsulkan agar terlindungi terhadap udara ataupun oksigen.

Setelah proses *sintering* selesai kemudian dilakukan karakterisasi: struktur kristal dengan XRD, koefisien muai panjang dengan dilatometer, dan resistivitas dengan 2 titik.

Untuk analisa fasa yang terbentuk dilakukan dengan menggunakan alat *X Ray Diffractometer* ( XRD ) sehingga akan diketahui struktur kristalnya.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengukuran koefisien ekspansi termal ditunjukkan pada Gambar 3. Dari hasil pengukuran ekspansi termal terlihat bahwa dengan naiknya temperatur *sintering* dan bertambahnya komposisi *clay* maka koefisien ekspansi termal semakin rendah. Karena dengan komposisi *clay* yang lebih banyak pada pembakaran yang lebih tinggi, air hidrat (air kristal) pada struktur kristal *clay* akan terbakar saat *sintering*, dan meninggalkan jejak pori pori.

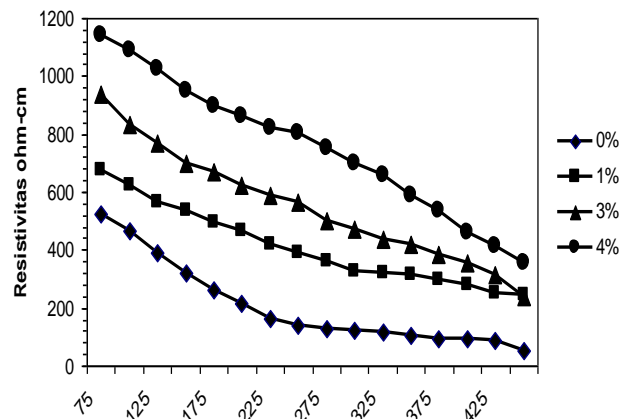


Gambar 3. Hasil pengukuran koefisien ekspansi termal terhadap temperatur pada sam (0,1,3dan 4) % aditif *clay*

Dengan pengukuran ekspansi termal ini akan terhindar pengaruh perubahan bahan terhadap pengaruh perubahan temperatur secara mendadak. Hal ini sangat bagus untuk

keramik dan akan membuat stabil pada temperatur tinggi, dimana sangat diperlukan penggunaannya pada temperatur tinggi.

Hasil pengukuran resistivitas dari temperatur 75<sup>o</sup>C sampai 450<sup>o</sup>C ditunjukkan pada Gambar 4.

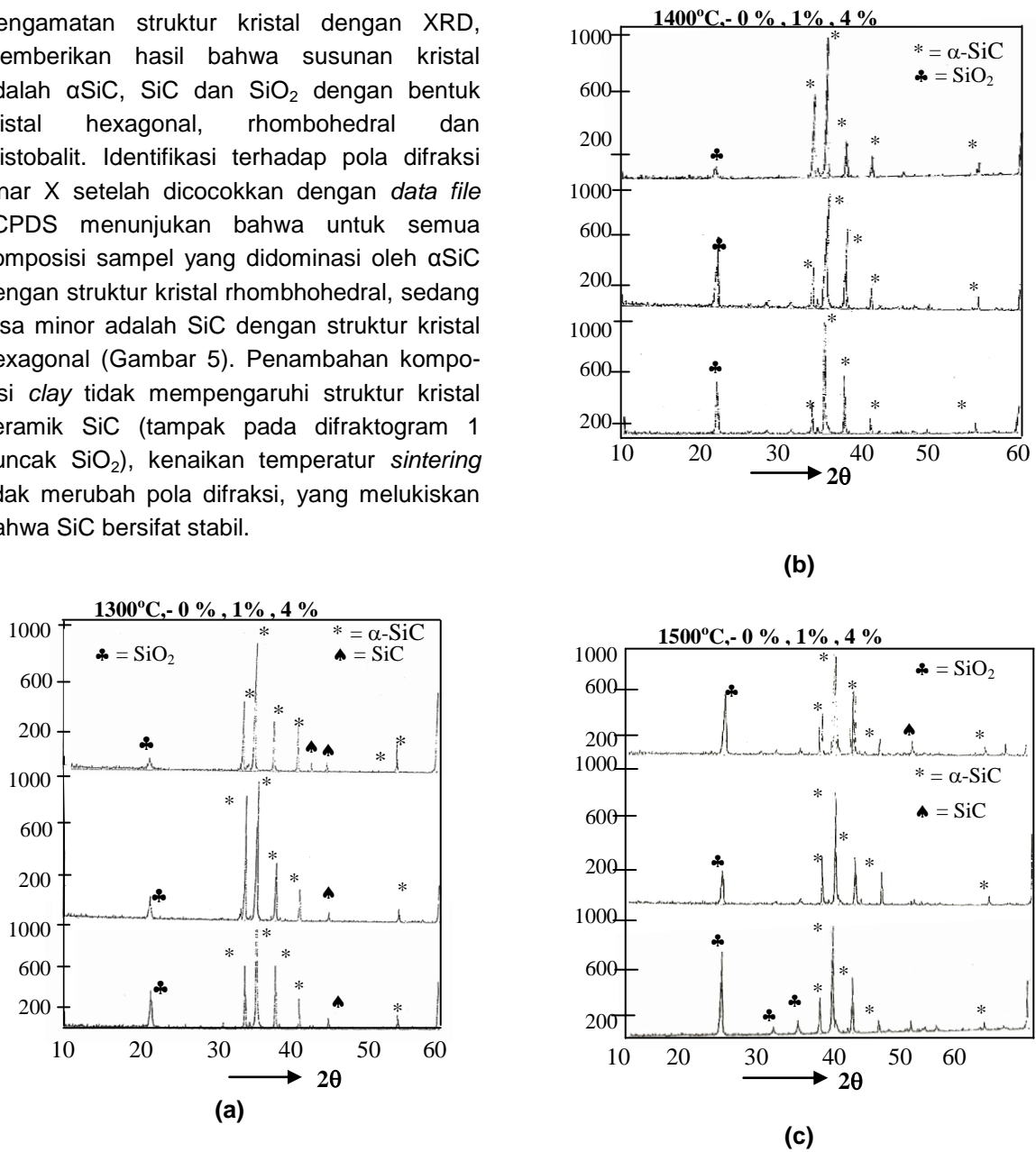


Gambar 4. Hasil pengukuran resistivitas Terhadap temperatur pada sampel (0,1,3dan 4) % aditif *clay*

Pada pengukuran sifat listrik, resistivitas yang diukur pada temperatur 75<sup>o</sup>C hingga 450<sup>o</sup>C pola yang dihasilkan menurun secara eksponensial (lihat gambar 4). Dari hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa penambahan *clay* akan memperbesar harga resistivitas sampel keramik SiC sehingga harga konduktivitasnya menurun. Hal ini disebabkan air hidrat (air kristal) dalam struktur kristal *clay* terlepas selama proses pembakaran dan meninggalkan ruang pori, yang menyebabkan hambatan pada sifat listriknya. Oleh karena itu, pada aplikasinya apabila keramik SiC digunakan sebagai *heating elemen* maka penambahan *clay* adalah sekecil mungkin, dimana fungsi *clay* hanya sebagai perekat, sedang untuk refraktori penambahan SiC dapat lebih besar karena fungsi *clay* untuk menambah kekuatan mekaniknya.

Pengamatan dari struktur kristal dapat dilihat difraktogram pada Gambar 5.

Pengamatan struktur kristal dengan XRD, memberikan hasil bahwa susunan kristal adalah  $\alpha$ SiC, SiC dan  $\text{SiO}_2$  dengan bentuk kristal hexagonal, rhombohedral dan kristobalit. Identifikasi terhadap pola difraksi sinar X setelah dicocokkan dengan *data file* JCPDS menunjukkan bahwa untuk semua komposisi sampel yang didominasi oleh  $\alpha$ SiC dengan struktur kristal rhombohedral, sedang fasa minor adalah SiC dengan struktur kristal hexagonal (Gambar 5). Penambahan komposisi *clay* tidak mempengaruhi struktur kristal keramik SiC (tampak pada difraktogram 1 puncak  $\text{SiO}_2$ ), kenaikan temperatur *sintering* tidak merubah pola difraksi, yang melukiskan bahwa SiC bersifat stabil.



Gambar 5. Pola difraksi dari masing masing sampel  
 a. disinter pada temperatur 1300°C  
 b. disinter pada temperatur 1400°C  
 c. disinter pada temperatur 1500°C

## SIMPULAN

Dari hasil pengamatan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut :

Penambahan *clay* dan temperatur *sintering* akan mempengaruhi sifat termal maupun sifat listrik dari keramik SiC.

Penambahan *clay* menyebabkan koefisien ekspansi termal semakin rendah, resistifitasnya semakin tinggi, dari XRD menginformasikan bahwa fasa didominasi oleh  $\alpha$ SiC dengan struktur kristal rhombohedral.

Dari penambahan *clay* terbesar (4%) diperoleh temperatur *sintering* optimal pada penelitian ini 1500°C yang memberikan harga koefisien ekspansi termal  $5.62 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ , resistivitas 1142  $\Omega \cdot \text{cm}$ . Penambahan bahan aditif tidak mempengaruhi sifat sifat dari keramik SiC sehingga keramik ini cocok digunakan sebagai bahan refraktori.

Keramik SiC yang dibuat dengan penambahan 4% *clay* dan disinter pada temperatur 1500°C, mempunyai sifat stabil, dengan koefisien ekspansi termal yang rendah sehingga dapat dipergunakan sebagai lapisan bahan bakar HTR (*High Temperature Reactor*), untuk bahan pembuat *crucible*, sebagai wadah dalam proses reduksi/kalsinasi bahan bakar uranium oksida.

## DAFTAR PUSTAKA

1. F.H. NORTON," *Fine Ceramics Technology and Applications*", Mc GrawHill, New-York, 1987.
2. JAMES S REEDD," *The Principles of Introduction to Ceramics Processing*", Alfred University, New- York, 1981.
3. C GANGULY, S.K. ROY," *Advance Cerami*", Proceedings ISAC, Trans Tech Publications, Switzerland, 1990.
4. MEL. SCHAWTZ," *Hand Book of Structure Ceramics* ", Mc. Graw-Hill, Inc, New York, 1992.
5. HANAWALT METHOD INORGANIC," *Powder Diffraction File, Search Manual* ", USA, 1990. *Material Science and Tecnology*, vol 2, New York, 1992.
6. R.W.CHAN, P HAASEN, E.J. KRAMER," *Material Science Monographs* ", Mc Graw-Hill. Inc, New York, 1992.
7. NOBORU ICHINOSE," *Introduction to Fine Ceramics Applications in Engineering* ", John Wiley & Sons LTD, Chichester.New York. Brisbane. Toronto. Singapore, 1987.
8. BUSH S.H," *Irradiation Effects in Cladding and Structural Materials* ", Rowman and Littlefield, Inc, New York.