

Efek Penambahan SiO_2 dan B_2O_3 terhadap Suhu Sintering, Sifat Fisis, Struktur Kristal dan Mikrostruktur pada Keramik SiC

Nadha Ananda Putri¹, Sudiati¹, dan Mulyadi^{2,*}

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara

²Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, Banten

E-mail: *dosen01545@unpam.ac.id

Masuk : 1 Februari 2020

Direvisi : 16 Februari 2020

Disetujui : 1 Maret 2020

Abstrak: Pada penelitian ini telah dibuat keramik SiC dengan penambahan SiO_2 dan B_2O_3 yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan persentase aditif SiO_2 dan B_2O_3 dan Suhu Sintering terhadap perubahan sifat Fisis, Struktur Kristal dan Mikrostruktur. Komposisi SiO_2 dan B_2O_3 divariasikan yaitu 5%, 10%, dan 20% berat. Masing-masing bahan baku dan bahan aditif ditimbang, dicampur menggunakan media air dan digiling menggunakan *High Energy Milling* selama 32 menit. Selanjutnya campuran tersebut dikeringkan didalam oven dengan suhu 80°C. Kemudian serbuk tersebut dicampurkan dengan perekat PVA sebanyak 5% berat dan dilanjutkan dengan cetak dengan gaya 12 ton untuk membentuk pellet. Kemudian pellet tersebut di sintering pada suhu 800°C dan 900°C. Hasil karakterisasi diperoleh kondisi yang optimum yaitu sampel dengan penambahan 5% SiO_2 dan 5% B_2O_3 dengan suhu 900°C memiliki densitas sebesar 2.91 g/cm³ dan 2.78 g/cm³ serta nilai porositas sampel sebesar 27,09 % dan 22,07%. Hasil analisa XRD yang optimum pada sampel 5% SiO_2 dan 5% B_2O_3 dengan suhu 900°C menghasilkan fasa dominan yaitu *moissanite* (SiC) untuk kedua bahan aditif dan fasa minor yaitu *cristobalite* (SiO_2) dan *boron* (B_2O_3). Pengujian mikrostruktur menunjukkan bentuk yang tidak beraturan dengan ukuran diameter butiran rata-rata 515.58 nm pada 5% SiO_2 dan 669.74 nm pada 5% B_2O_3 .

Kata kunci: Keramik SiC, Silikon Karbida, Silikon Dioksida, Boron Trioksida.

Abstract: In this research SiC ceramics have been made with the addition of SiO_2 and B_2O_3 which purpose to know the effect of adding the percentage of SiO_2 and B_2O_3 additives and Sintering Temperature to changes in physical properties, Crystal Structure and Microstructure. The composition of SiO_2 and B_2O_3 varied are 5%, 10%, and 20% by weight. Each raw material and additives were weighed, mixed using water media and ground using High Energy Milling for 32 minutes. Then the mixture is dried in an oven at 80 °C. Then the powder is mixed with PVA adhesive as much as 5% by weight and followed by printing with a 12 ton style to form a pellet. Then the pellets are sintered at 800 °C and 900 °C. The optimum characterization results obtained are the sample with the addition of 5% SiO_2 and 5% B_2O_3 with a temperature of 900 °C has a density of 2.91 g/cm³ and 2.78 g / cm³ and a sample porosity value of 27.09% and 22.07%. The optimum XRD analysis results in samples of 5% SiO_2 and 5% B_2O_3 at 900 °C produce a dominant phase that is *moissanite* (SiC) and minor phases is *cristobalite* (SiO_2) and *boron* (B_2O_3) and microstructure testing shows irregular shapes with size average grain diameter of 515.58 nm at 5% SiO_2 and 669.74 nm at 5% B_2O_3 .

Keywords: SiC ceramics, Silicon Carbide, Silicon Dioxide, Boron Trioxide.

PENDAHULUAN

Silicon carbide (SiC) adalah jenis material keramik dengan karakteristik yaitu ketahanan mekanik, kimia dan konduktivitas termal baik menjadikan banyak di aplikasikan di berbagai aplikasi. Silikon karbida (SiC) merupakan bahan yang menjanjikan untuk suhu tinggi di berbagai aplikasi karena menunjukkan stabilitas yang sangat baik terhadap bahan kimia dan abrasi, koefisien ekspansi termal rendah, kekuatan tinggi dan konduktivitas termal yang tinggi [1]. SiC juga mempunyai kekuatan lentur lebih baik dari keramik material

lainnya pada suhu tinggi. Karena SiC membentuk ikatan kovalen, silikon karbida tidak mudah disinter untuk kepadatan tinggi. Namun, keramik SiC *high-density* masih bisa dicapai dengan menggunakan *solid state* sintering dengan penambahan bahan aditif sintering. Suhu sintering SiC dapat dikurangi dengan menambahkan aditif seperti SiO₂ [2].

Menurut penelitian lainnya [3] menunjukkan bahwa keramik SiC bisa berhasil disinter pada suhu sintering rendah sekitar 1100°C dengan menambahkan kompleks kaca SiO₂. Karena SiC memiliki titik lebur hingga 2700°C, maka SiC dapat disintering suhu yang tinggi. Namun, silikon karbida tidak meleleh karena stabilitas termal yang tinggi.

Penelitian lainnya melakukan suhu sintering dukungan keramik silikon karbida berpori (PSCS) yang biasanya lebih tinggi dari 1500°C. Natrium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) digunakan sebagai aditif sintering untuk membuat PSCS dengan permeansi gas tinggi dan kekuatan lentur tinggi pada suhu sintering kurang dari 1200°C. Efek dari pemuatan SDBS pada porositas, kekuatan lentur, kinerja permeasi gas, dan struktur mikro PSCS diselidiki. Hasil menunjukkan bahwa tanpa SDBS, suhu sintering yang dibutuhkan setinggi 1.550°C dan menghasilkan tekukan kekuatan 6,5 MPa tetapi suhu sintering menurun menjadi 1150°C dengan 8% SDBS dan kekuatan lentur meningkat menjadi 16 MPa. Alasan utama adalah bahwa SDBS di dekomposisi menjadi Na₂O yang bereaksi dengan SiO₂ dan ZrO₂ untuk membentuk koneksi ikatan yang kuat [4].

Penelitian Ho-Yun Lee et al., 2019 [2] telah meningkatkan kepadatan sampel SiC, SiO₂ amorf diperkenalkan sebagai bantuan sintering. Jumlah yang berbeda dari SiO₂ amorf dari 1% berat hingga 5% berat kemudian ditambahkan ke dalam bubuk SiC dan di buat menjadi sampel pellet. Sampel-sampel ini di sinter pada suhu tinggi dari 1350°C hingga 1500°C. Penambahan SiO₂ dan suhu sintering mempengaruhi kepadatan, perubahan fase, mikrostruktur dan sifat mekanik dari SiC yang di modifikasi. Lapisan Y-ZrO₂ kemudian di lapi ke sampel SiC. Suhu sintering dapat di kurangi secara efisien dan ketidakcocokan antara pelapis ZrO₂ dan cakram SiC dapat terjadi berkurang ketika SiO₂ di tambahkan ke SiC. Di temukan bahwa bubuk SiC dengan penambahan 3% berat SiO₂ menunjukkan paling banyak hasil optimal dengan kepadatan lebih tinggi dan sifat mekanik yang lebih kuat.

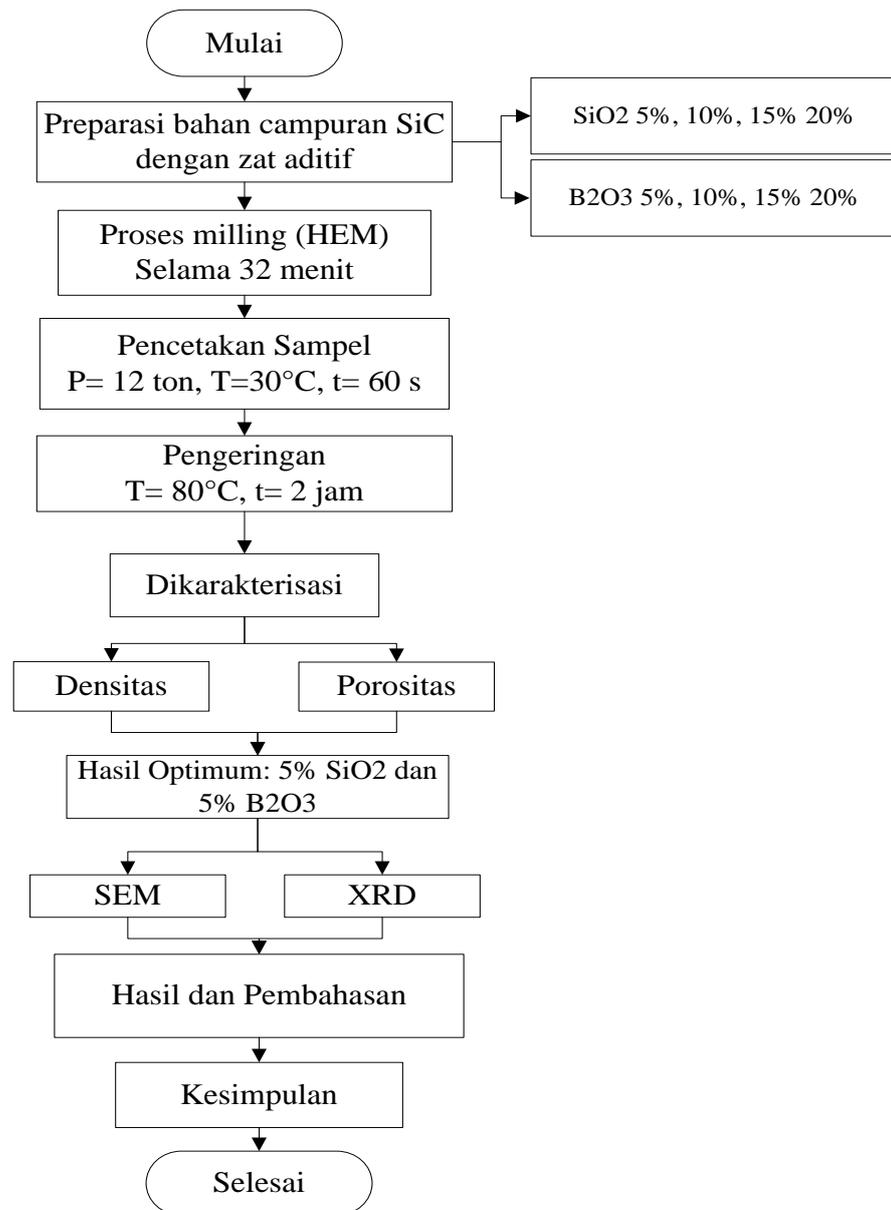
Berdasarkan data-data yang di peroleh pada penelitian sebelumnya maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Sehingga peneliti melakukan penelitian dengan judul “Efek Penambahan SiO₂ dan B₂O₃ terhadap Suhu Sintering, Sifat Fisis, Struktur Kristal dan Mikrostruktur pada Keramik SiC”. Penelitian ini fokus terhadap pengaruh persentase penambahan zat aditif SiO₂ dan B₂O₃ pada keramik SiC dengan suhu sintering yang rendah sehingga memiliki nilai densitas dan porositas yang sesuai spesifikasi. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi keramik dengan pengujian sifat fisis (densitas dan porositas), pengujian struktur kristal menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD), dan pengujian morfologi permukaan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

METODOLOGI

Preparasi bahan dilakukan dengan menyiapkan campuran material SiC : SiO₂ : B₂O₃ dengan komposisi SiO₂ sebanyak 5%, 10 %, 15%, 20% dan B₂O₃ sebanyak 5%, 10 %, 15%, 20% (wt). Kemudian setiap dilakukan proses milling menggunakan HEM selama 32 menit pada masing – masing campuran sampel tersebut. Lalu di lakukan pencetakan sampel dengan beban 12 ton, dengan suhu 30 °C selama 60 detik. Lalu sampel dikeringkan selama 2 dengan oven pada suhu 80 °C. Setelah proses pembuatan sampel dilakukan karakterisasi sampel dengan pengujian densitas, porositas, XRD dan SEM.

Diagram Alir Penelitian

Secara keseluruhan pelaksanaan penelitian diuraikan dalam diagram alir berikut ini:

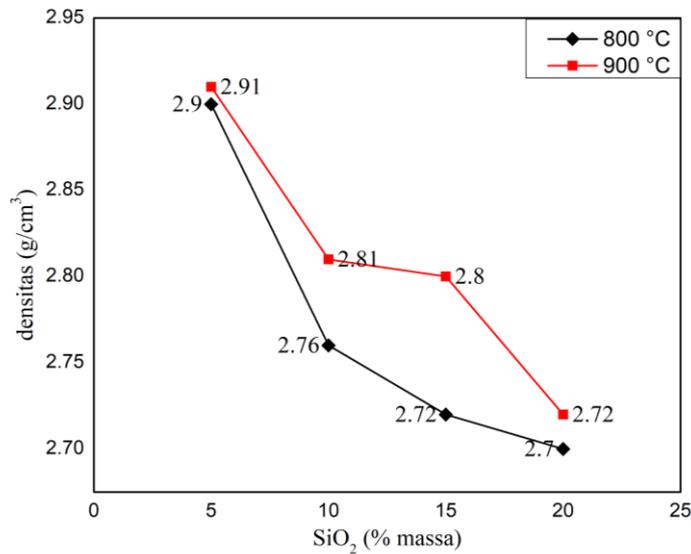


Gambar 1. Diagram Alir Pembuatan Keramik SiC.

HASIL DAN DISKUSI

Hasil densitas yang merupakan perbandingan massa dengan volume benda, setelah mengalami proses sintering terjadi penyusutan sehingga volume benda semakin berkurang, ini mengakibatkan nilai densitasnya akan cenderung naik. Pengaruh temperatur sintering terhadap densitas menunjukkan nilai densitas telah berbanding lurus dengan suhu sintering, karena selama sintering berlangsung terjadi proses difusi dan pepadatan.

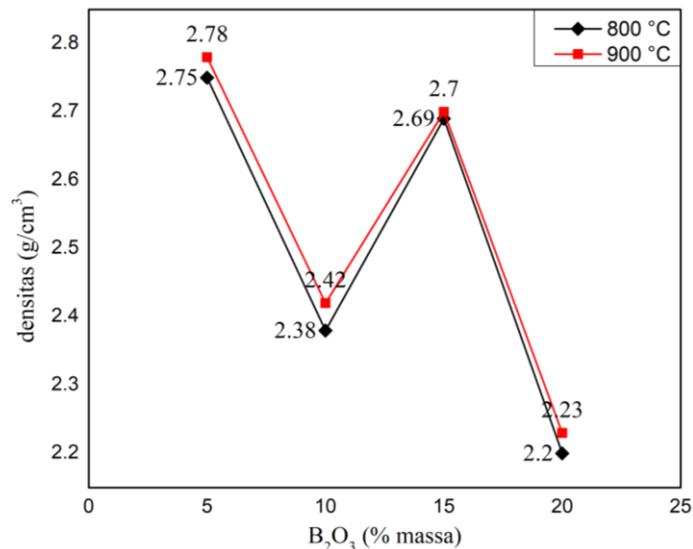
Adapun grafik perubahan pengujian densitas terhadap variasi komposisi bahan Aditif SiO₂ dan B₂O₃ sebanyak 5%, 10%, 15% dan 20% menggunakan variasi suhu sintering sebesar 800°C dan 900°C, pengujian densitas dilakukan terhadap ke empat variasi komposisi dengan menggunakan teori Archimedes diperlihatkan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Grafik Hubungan antara Densitas Terhadap Persentase SiO₂.

Berdasarkan Gambar 2 diperoleh hasil nilai densitas terbaik berada pada temperatur 900°C pada komposisi 5% sebesar 2,91 g/cm³, dan nilai terendah berada pada temperatur 800°C pada komposisi 20% sebesar 2,70 g/cm³. pengukuran densitas terhadap penambahan persentase SiO₂ menunjukkan nilai densitas yang menurun karna pada umumnya keramik mempunyai densitas yang sangat bervariasi dan sangat tergantung pada komposisi, ukuran butiran, metode preparasi dan lainnya. Penyebab rendahnya nilai densitas pada penambahan % wt berat SiO₂ diduga karena adanya udara yang terjebak di dalam material keramik. Ketika proses sintering berlangsung, SiO₂ akan mengalami pemuaihan yang lebih banyak dibandingkan dengan bahan keramik. Ketika dilakukan pendinginan, SiO₂ masih mengalami pemuaihan yang tinggi pada saat bahan keramik sudah stabil. Efeknya adalah terdapat udara yang terjebak di dalam material keramik sehingga dapat menurunkan nilai densitas material [5].

Berdasarkan Gambar 6 hasil Grafik XRD pada temperatur 900°C menunjukkan adanya 2 komposisi fasa pada SiO₂ (5%) yaitu *moissanite* dan *crystalite*. Pada suhu sintering 900°C telah terbentuk fasa *crystalite*, ini menunjukkan bahwa pada suhu dibawah 1000°C, fasa yang dihasilkan pada SiO₂ berbentuk *crystalite* [6].



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Densitas Terhadap Persentase B₂O₃.

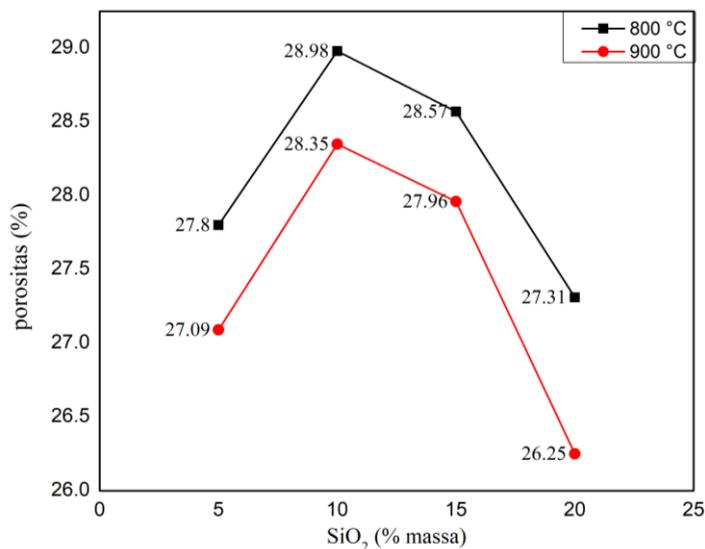
Gambar 3 memperlihatkan penambahan bahan aditif terhadap SiC telah menunjukkan hasil nilai densitas yang mengalami kenaikan dan penurunan, pada kedua suhu 800°C dan 900°C dengan persentase B₂O₃ 10% ke

15% menunjukkan kenaikan nilai densitas dan pada persentase 5% ke 10% dan 15% ke 20% mengalami penurunan densitas. Densitas tertinggi dimiliki pada suhu 900°C yaitu 2,78 g/cm³, dan densitas terendah dimiliki pada suhu 800°C yaitu 2,20 g/cm³.

Faktor ini terjadi karena di dalam SiC banyak mengandung senyawa-senyawa yang memiliki nilai densitas lebih tinggi daripada nilai densitas B₂O₃, semakin tinggi suhu pembakaran maka akan semakin banyak pori-pori yang terbuka sehingga luasnya bertambah, hal ini akan mengakibatkan banyak komponen zat-zat yang masih terserap akan keluar yang membuat berat B₂O₃ akan menyusut cukup banyak pada suhu 800°C dan 900°C, sehingga B₂O₃ belum sepenuhnya mengalami sintering antar butir sehingga desinfikasi belum sepenuhnya terjadi dengan nilai penyusutan yang kecil.

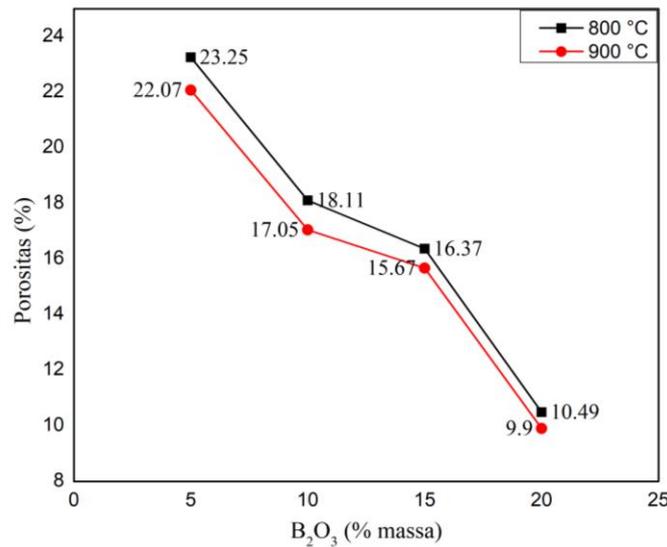
Hasil Pengujian Porositas

Nilai porositas diukur dan dihitung dengan menggunakan metode *Archimedes*, dan sebelum melakukan pengukuran sampel harus di rendam selama satu malam didalam wadah yang berisikan air. Hasil dari pengukuran densitas menunjukkan bahwa nilai porositas cenderung turun apabila suhu sintering semakin tinggi. Demikian pula halnya dengan penambahan bahan aditif diperbesar hingga 20% maka nilai porositasnya juga cenderung turun. Adapun grafik perubahan pengujian porositas terhadap variasi komposisi bahan Aditif SiO₂ dan B₂O₃ sebanyak 5%, 10%, 15% dan 20% menggunakan variasi suhu *sintering* sebesar 800°C dan 900°C, pengujian porositas dilakukan terhadap ke empat variasi komposisi dengan menggunakan teori Archimedes diperlihatkan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Porositas Terhadap Persentase SiO₂.

Grafik pada Gambar 4 menunjukkan nilai porositas mengalami kenaikan dan penurunan dengan bertambahnya SiO₂. Besarnya porositas yang terbentuk pada keramik sangat mempengaruhi sifat mekanis keramik tersebut. Pada grafik dapat dilihat dengan persentase SiO₂ 5% ke 10% menunjukkan kenaikan nilai porositas, tetapi mengalami penurunan pada persentase 10% ke 20%. Data diatas menunjukkan bahwa terjadinya penurunan porositas yang seiring dengan meningkatnya persentase SiO₂, walaupun terjadi kenaikan pada variasi 10%. Dari hasil penelitian didapati hasil nilai porositas terendah pada suhu 900°C dengan komposisi 20% sebesar 26,25%. Nilai tersebut masih termasuk persentase yang cukup tinggi, ini dikarenakan masih banyaknya pori-pori yang terdapat pada sampel keramik.



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Porositas Terhadap Persentase B₂O₃.

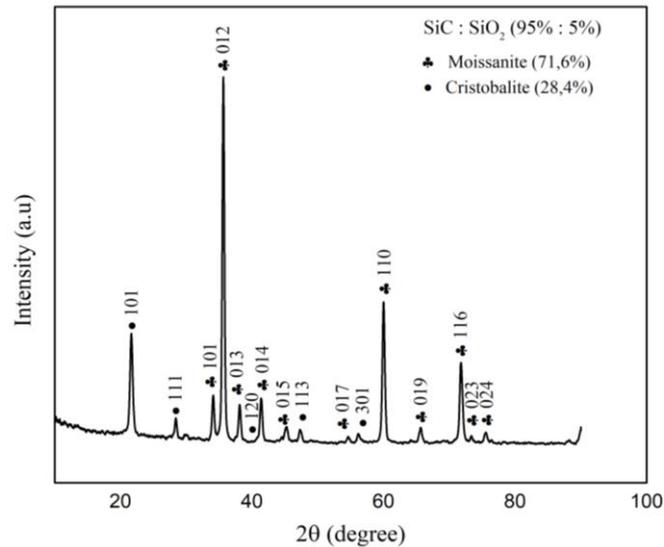
Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan semakin besar nilai penambahan komposisi bahan aditif B₂O₃, maka porositas akan semakin kecil. Adanya penurunan porositas terjadi karena proses pepadatan dimana partikel-partikel keramik akan saling berdekatan dan bentuk pori menjadi lebih steril dan ukurannya mengecil sehingga menyebabkan porositas menurun [7].

Dari hasil penelitian didapati nilai porositas terendah berada pada suhu 900°C dengan variasi komposisi 20% sebesar 9,90 %. Penurunan nilai porositas sangat terlihat jelas dari komposisi 15% ke 20% dengan selisih 5,88% pada suhu 800°C dan 5,77 pada suhu 900°C. Karena itu semakin kecil nilai porositas keramik yang didapat maka semakin baik pula kualitas keramik tersebut.

Hasil pengujian densitas dan porositas yang telah dilakukan pada penambahan aditif SiO₂ dan B₂O₃ pada keramik SiC dengan variasi komposisi 5%, 10%, 15%, dan 20% menunjukkan bahwa hasil yang paling optimum terjadi pada variasi persentase 5% SiO₂ dan 5% B₂O₃. Oleh karena itu, keramik 5% SiO₂ dan 5% B₂O₃ yang di pilih untuk dilanjutkan pengujian karakterisasi dengan *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

Hasil Uji X-Ray Diffraction (XRD)

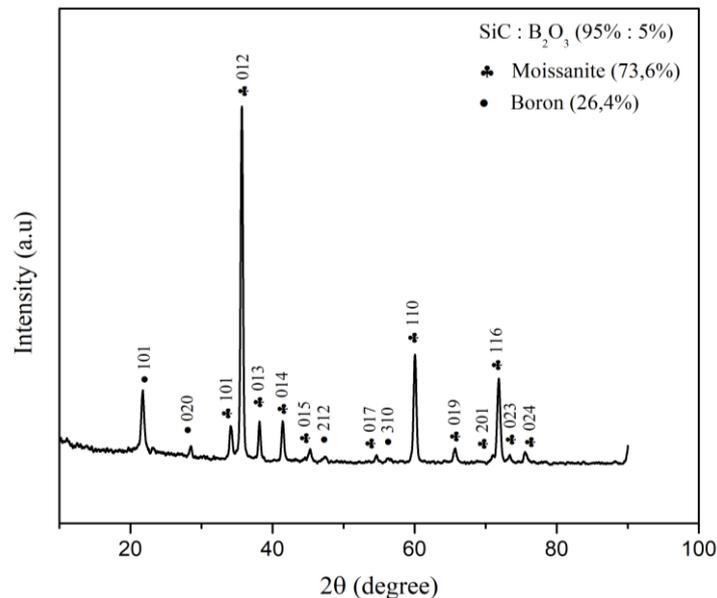
Analisa XRD dilakukan untuk mengetahui perubahan fasa struktur bahan dan mengetahui fasa-fasa apa saja yang terbentuk dalam selama proses pembuatan sampel uji. Sampel yang digunakan dalam analisa ini adalah sampel yang berkomposisi 5% pada SiO₂ dan komposisi 5% pada B₂O₃ yang disintering dengan suhu 900°C. Dari analisa difraksi sinar-X keramik dengan komposisi SiO₂ 5 % pada suhu sintering 900 °C untuk sudut 2θ mulai dari 0° sampai 90° terbentuk 16 *peak* pada sampel, dimana fasa yang dominan adalah *moissanite* dengan struktur *hexagonal* yang memiliki parameter kisi $a = 3.08100 \text{ \AA}$ dan $c = 15.12840 \text{ \AA}$. Hal ini dapat diidentifikasi dari besarnya intensitas dan banyaknya puncak-puncak utama dari fasa tersebut. Dimana *peak* ke-4 dengan hkl (012) merupakan fasa *moissanite* dengan *peak* yang paling tertinggi (utama) pada sudut 35.597° dengan ukuran kristal 12.65 nm.



Gambar 6. Grafik XRD 5% SiO₂ Pada Temperatur 900°C.

Terdapat 5 *peak* lainnya terdeteksi sebagai fasa *cristobalite* yang memiliki jenis kristal tetragonal dengan parameter kisi $a = 4.98600 \text{ \AA}$, $c = 6.97700 \text{ \AA}$. Dari hasil analisa XRD diatas melalui *peak* pada grafik telah menunjukkan bahwa keramik SiC terdiri dari 2 fasa yaitu *moissanite* dan *cristobalite*.

Dari analisa difraksi sinar-X keramik SiC yang didoping dengan komposisi 5% B₂O₃ pada suhu sintering 900°C menunjukkan adanya 2 fasa yaitu *moissanite* dan *boron* dengan jumlah 16 *peak* pada sampel.

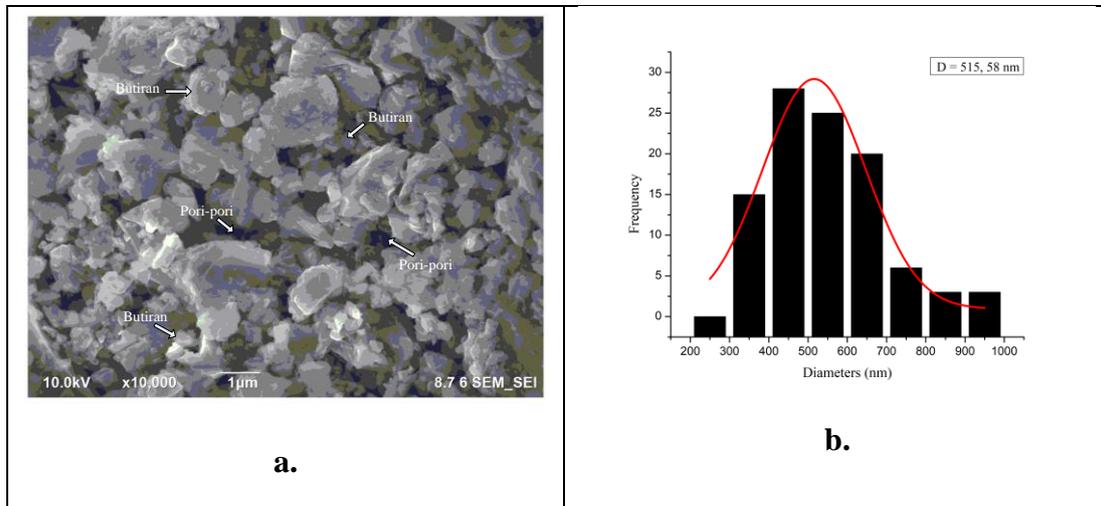


Gambar 7. Grafik XRD 5% B₂O₃ Pada Temperatur 900°C.

Dari Gambar 7 grafik XRD 5% B₂O₃ dapat diidentifikasi dari besarnya intensitas dan banyaknya puncak-puncak utama dari fasa tersebut fasa yang paling dominan adalah *moissanite* dengan jenis kristal *hexagonal* yang memiliki parameter kisi $a = 3.08100 \text{ \AA}$ dan $c = 15.12840 \text{ \AA}$. Dimana *peak* ke-4 dengan hkl (012) merupakan *peak* yang paling tertinggi pada sudut 35.648° dengan ukuran kristal 25.94 nm yang mempunyai fasa *moissanite*. Terdapat 11 *peak* lainnya yang juga memiliki fasa yang serupa pada sampel ini. Dan terdapat 4 *peak* lainnya yang terdeteksi sebagai fasa *boron* yang memiliki jenis kristal *orthorhombic* dengan parameter kisi $a = 5.05760 \text{ \AA}$, $b = 5.62450 \text{ \AA}$ dan $c = 6.98840 \text{ \AA}$.

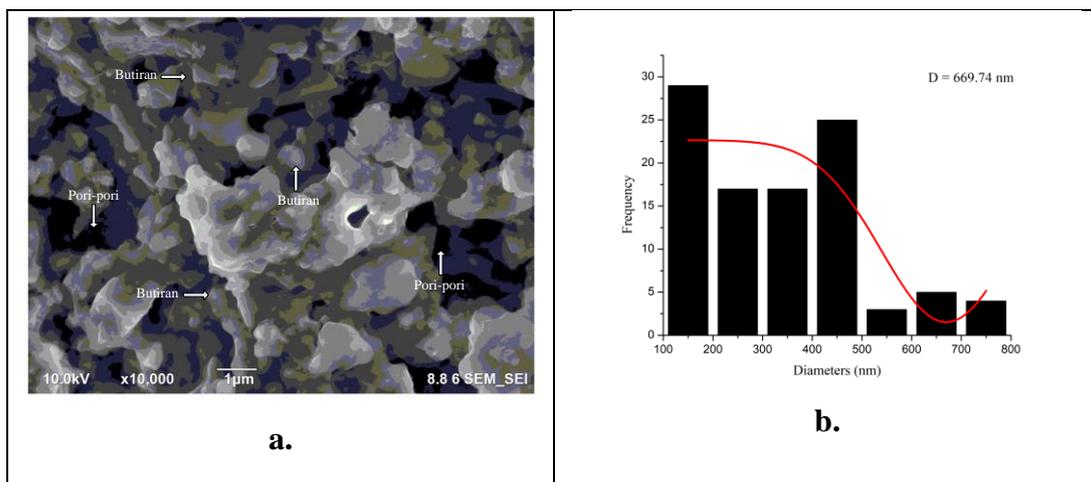
Hasil Karakterisasi Keramik SiC Menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Analisa *Scanning Electron Microscope (SEM)* bertujuan untuk mengamati struktur morfologi yang dilakukan untuk melihat perbesaran yang terjadi pada sampel keramik atau melihat perbesaran pori-pori yang terdapat pada permukaan sampel. Dengan melakukan pengamatan struktur morfologi ini bisa melihat langsung apakah campuran bahan yang ada pada sampel tersebut sudah terlihat merata atau belum sama sekali. Pengujian dilakukan pada sampel keramik yang berkomposisi 5% SiO₂ dan 5% B₂O₃ dengan suhu sintering pada suhu 900°C pada Gambar 8 dan Gambar 9 berikut.



Gambar 8. Keramik SiC + 5% SiO₂ Pada Temperatur 900°C a. Morfologi *Surface* b. Histogram Ukuran Butiran.

Gambar 8 merupakan bentuk topografi *surface area* dan histogram ukuran butiran dari keramik SiC + 5% SiO₂. Hasil SEM menunjukkan bentuk butiran yang tidak beraturan, butiran berwarna putih menunjukkan SiC sedangkan warna biru SiO₂. Dari foto tersebut terlihat dominan warna putih sedangkan warna biru berada diselilingnya, hal ini membuktikan SiO₂ mengikat butiran SiC. Warna hitam gelap adalah rongga-rongga pori. Dari data dalam Gambar 9 (b.) dapat juga dilihat bahwa ukuran butiran merata untuk keramik SiC + 5% SiO₂ memiliki ukuran sekitar 250 nm sampai 950 nm, ini dilihat dari kurva histogram yang distribusinya melebar dengan ukuran rata-rata sekitar 515,58 nm.



Gambar 9. Keramik SiC + 5% B₂O₃ Pada Temperatur 900°C a. Morfologi *Surface* b. Histogram Ukuran Butiran.

Gambar 9 merupakan bentuk topografi struktur mikro dan histogram ukuran butiran dari keramik SiC + 5% B₂O₃. Dilihat dari kurva histogram yang memiliki distribusi melebar, ukuran butiran terdistribusi dari yang terendah sampai tertinggi yaitu 150 nm sampai 750 nm dengan ukuran rata-rata sekitar 699.74 nm. Dalam foto mikro juga menunjukkan bentuk butiran yang tidak beraturan, yang ditandai dengan butiran kelabu dengan batas pinggir putih adalah SiC dengan pendoping B₂O₃. Sementara warna hitam gelap adalah rongga-rongga pori dari keramik.

Sehingga bila dibandingkan, struktur mikro keramik SiC + 5% SiO₂ memiliki penyebaran pori-pori lebih kecil. Pertumbuhan butirannya juga lebih baik sehingga mengakibatkan kontak antar butir menjadi baik dan juga saling mengikat dibandingkan dengan keramik SiC + 5% B₂O₃, dimana keduanya menggunakan suhu yang sama 900 °C.

KESIMPULAN

Karakteristik sifat fisis keramik SiC menunjukkan nilai densitas dan porositas semakin menurun dengan penambahan persentase aditif sedangkan semakin besar suhu sintering meningkatkan nilai densitas dan menurunkan porositas. Nilai densitas dan porositas optimum terdapat pada penambahan aditif 5% dengan suhu sintering 900°C. Nilai densitas pada 5% SiO₂ dan 5% B₂O₃ sebesar 2,91 g/cm³ dan 2,78 g/cm³, sementara nilai porositas 5% SiO₂ dan 5% B₂O₃ sebesar 27,09% dan 22,07%. Hasil analisa XRD yang optimum sama-sama menghasilkan fasa dominan yaitu fasa *moissanite* dengan struktur kristal *hexagonal* dengan fasa minor yaitu fasa *crystalite* (SiO₂) dan fasa *boron* (B₂O₃). Pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa batas butir semakin rapat pada kedua bahan sampel yang hampir tercampur merata dengan diameter ukuran rata-rata 515,58 nm (SiO₂) dan 699.74 nm (B₂O₃).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C.Soto, C.García-Rosales, dan J.Echeberria, 2019, *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 39, Issue 14, Pages 3949-3958.
- [2] Ho-Yun Lee, Fu-Chieh Tsui, dan Ying-Chieh Lee, 2019, *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 233, Pages 203-212.
- [3] Xiaolin Chen. 1998. Particle Packing, *Compaction and Sintering in Powder Metallurgy*. John Willey and Sons, Inc, New York.
- [4] Zheng Ren and Sammy Lap Ip Chan. 2000. *Mechanical Properties of Nanometric Particulate Reinforced Aluminium Composites*. School of Materials Science and Engineering, UNSW.
- [6] Worr'al. W. E. 1986. *Clays and Ceramics Raw*. London. Aplied Science Publisher. Vol. 4, No. 7, pp. 3-7. John Willey and Sons, Inc, New York.
- [7] Mawardani, Putri. 2014. Pengaruh Kemurnian Bahan Baku Alumina terhadap Temperatur Sintering dan Karakterisasi Keramik Alumina. Jakarta : Universitas Islam Negara.