

# PENINGKATAN DENSITAS DAN KEKUATAN MEKANIS SILIKON KARBIDA (SiC) DENGAN KOMBINASI SINTER DAN HIP

Kusnanto\*)

## INTISARI

Bahan struktur keramik silikon karbida telah dibuat dengan cara mencampur serbuk silikon karbida dengan perekat novolak. Untuk membuat sampel uji digunakan alat tekan arah tunggal dengan kekuatan tekan sebesar 80 kN. Ukuran sampel sebesar 5 x 4 x 50 mm. Sampel yang dibuat disinter pada temperatur 1960°C, yang kemudian diikuti dengan proses HIP (Hot Isostatic Press) untuk meningkatkan densitas dan kekuatan mekanisnya. Densitas SiC tertinggi yang dicapai dengan proses sinter dan HIP secara simultan adalah sebesar 99,7% dari densitas teorinya. Bending strength tertinggi bernilai sebesar 440 MPa. Bahan bantu sinter yang dipakai adalah boron dan aluminium masing-masing sebanyak 0,6%. Temperatur sinter dan HIP masing-masing 1960°C dan 2000°C.

## PENDAHULUAN

Tuntutan terhadap bahan yang memiliki stabilitas mekanis dan termis yang tinggi semakin menonjol, terutama di bidang teknologi energi. SiC adalah salah satu bahan keramik yang diunggulkan agar dapat digunakan antara lain untuk komponen-komponen mesin yang beroperasi pada suhu tinggi dalam rangka untuk meningkatkan efisiensinya (Sahabi, 1994). Hingga saat ini material ini telah dipakai untuk bahan struktur statis misalnya bahan bakar nuklir, yaitu sebagai bahan pelapis pada bahan bakar reaktor suhu tinggi. SiC agar dapat dipakai pada komponen mesin pembangkit energi yang lain, misalnya sudu-sudu turbin, isolator pada turbin gas, diperlukan stabilitas mekanis yang tinggi, karena kemungkinan adanya beban dinamis. Untuk mencapai stabilitas mekanis yang tinggi, dalam proses pembuatannya perlu optimasi variabel proses, mulai dari ukuran serbuk, komposisi campuran, kondisi penyinteran atau peningkatan densitas dan kekuatan mekanis.

Studi ini mencakup pengamatan variabel pemilihan bahan bantu sinter, temperatur sinter dan HIP (Hot Isostatic Press) dalam pengaruhnya terhadap kekuatan mekanis.

## PENELITIAN

Bahan penelitian yang digunakan untuk membuat sampel bahan struktur adalah serbuk SiC yang diproduksi oleh Fa. LONZA. Serbuk ini memiliki luas muka jenis sebesar 13 m<sup>2</sup>/gram. Komposisi kimia serbuk SiC tersebut dapat dilihat pada Daftar 1.

Daftar 1. Komposisi kimia serbuk SiC.

Jenis unsur	%-massa	Jenis unsur	%-massa
Si	69,3	Total C	29,5
C-bebas	0,34	O	0,95
Fe	0,12	Al	0,03
B	max. 0,01	Ca	max. 0,01

Untuk membuat campuran serbuk keramik yang dapat disinter perlu ditambahkan serbuk karbon. Dengan penambahan serbuk karbon ini diharapkan pertumbuhan ukuran butir yang berlebihan dapat ditekan. Serbuk carbon yang dipergunakan untuk eksperimen ini diperoleh dari dekomposisi termis serbuk Novolak. Serbuk Novolak selain dipergunakan sebagai sumber carbon, juga sebagai bahan perekat agar serbuk SiC dapat dibentuk menjadi sampel yang stabil. Kecuali itu penambahan carbon dimaksudkan juga sebagai bahan pembantu proses sinter (*sintering aids*). Bahan pembantu proses sinter yang lain adalah aluminium dan boron. Aluminium dapat dipakai dalam bentuk aluminium logam maupun dalam bentuk senyawa misalnya aluminium nitrit.

Serbuk Novolak yang dipergunakan setelah melalui beberapa optimasi, dipilih yang mempunyai *yield* sebesar 30%. Dekomposisi termis dilakukan dalam atmosfer gas argon pada temperatur 1000 derajat celsius. Waktu tinggal pada suhu tersebut selama 1 jam. Untuk melakukan proses ini telah dipakai tungku induksi yang dibuat oleh Fa. Nabertherm. Laju kenaikan temperatur dari suhu kamar hingga 1000 derajat celsius dan penurunannya hingga temperatur kamar kembali diatur tidak lebih dari 100 derajat celsius per jam.

Untuk membuat sampel bahan struktur SiC pertama-tama dibuat campuran homogen antara SiC, Novolak dan bahan bantu sinter. Agar diperoleh campuran homogen komponen-komponen tersebut dicampur dengan etanol. Kemudian campuran ini diaduk selama selang waktu tertentu hingga diperoleh campuran homogen. Campuran homogen yang terjadi dikeringkan, ditumbuk hingga menjadi ukuran butir maksimal dengan diameter 125 mikron. Serbuk ini kemudian dibentuk menjadi bentuk batang sebesar 5 x 4 x 50 mm dengan mempergunakan alat pres arah tunggal. Ukuran ini disesuaikan dengan ukuran standar untuk pengujian kekuatan mekanis. Setiap benda uji yang dibuat dikenakan gaya tekan yang sama, yaitu sebesar 80 kN. Harga ini diperoleh setelah melalui beberapa optimasi. Kekuatan mekanis yang diuji adalah besaran *bending strength*. Alat uji yang digunakan adalah alat uji *bending strength* dengan metode 4 titik.

\*) Dr.-Ing. Kusnanto, Dosen Jurusan Teknik Nuklir Fakultas Teknik UGM

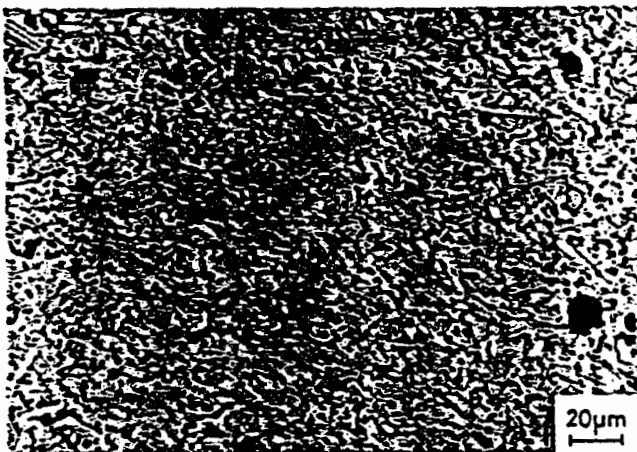
Pada percobaan dengan penambahan 1,0 dan 2 % massa karbon, yang berasal dari Novolak, dan disertai dengan penggunaan boron sebagai bahan bantu sinter telah diperoleh kesimpulan bahwa temperatur sinter dan HIP hampir tidak berpengaruh pada kekuatan mekanis. Kekuatan mekanis menurun dengan bertambahnya massa karbon. Kekuatan mekanis dan densitas juga berkurang dengan naiknya massa aluminium. Untuk selanjutnya dipilih campuran dengan kadar karbon sebanyak 1% untuk membandingkan pengaruh temperatur sinter dan HIP. Komposisi campuran yang digunakan dapat dilihat pada Daftar 2.

Daftar 2. Kadar bahan bantu sinter dalam campuran SiC dinyatakan dengan %-massa.

No. Campuran	Kadar C	Kadar B	Kadar Al
1	1,0	0,6	0
2	1,0	1,0	0
3	1,0	0,6	0,6
4	1,0	0,1	1,0
5	1,0	0,1	0
6	1,0	0	1,0

Pengamatan yang pertama dibatasi pada proses sinter, yaitu sinter pada temperatur 1900 derajat celsius. Untuk mendapatkan sampel yang dapat dikenakan proses HIP harus diperoleh densitas minimal 95% dari densitas teorinya (Watson dan Moore, 1981). Sehingga densitas minimal untuk SiC tidak boleh kurang dari 3,04 gram/cc agar selanjutnya dapat dilakukan peningkatan densitas dengan proses HIP. Temperatur sinter divariasikan mulai dari 1900 derajat celsius hingga 2100 derajat celsius dengan peningkatan sebesar 100 derajat celsius. Waktu tinggal pada suhu sinter selama 30 menit.

Tampak pada Daftar 3 bahwa, bila temperatur sinter dipilih 1900 derajat celsius, hanya terdapat dua (campuran no. 3 dan 5.) dari enam jenis campuran yang telah dibuat, yang setelah disinter menghasilkan densitas minimal yang memenuhi persyaratan untuk dilakukan proses HIP. Foto struktur mikro sampel yang dibuat dari campuran no. 4 yang disinter pada temperatur 2000 dan 2100 derajat celsius terlihat pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Struktur mikro sampel SiC campuran 4, disinter pada temperatur 2000°C



Gambar 2. Struktur mikro sampel SiC campuran 4, disinter pada temperatur 2100°C

Daftar 3. Densitas sampel setelah proses sinter pada untuk berbagai campuran pada berbagai temperatur sinter Ts (dengan 1%-massa C).

No. Camp.	Densitas Ts = 1900°C	Densitas Ts = 2000°C	Densitas Ts = 2100°C
1	2,98	3,10	3,12
2	2,96	3,08	3,10
3	3,04	3,11	3,13
4	3,02	3,09	3,11
5	3,04	3,12	3,13
6	3,01	3,09	3,11

Pada kedua gambar tersebut tampak bahwa proses sinter pada temperatur 2000 dan 2100 derajat celsius telah menyebabkan terjadinya pembesaran atau pertumbuhan ukuran butir. Gejala ini semakin tampak jelas pada temperatur sinter 2100 derajat celsius, sehingga kondisi ini mempersulit untuk dikenakan proses HIP. Untuk mempermudah proses HIP dipilih temperatur sinter antara 1900 dan 2000 derajat celsius. sehingga untuk eksperimen selanjutnya dipilih temperatur sinter sebesar 1960 derajat celsius. Pada temperatur ini diharapkan ukuran kecepatan ukuran butir dapat ditekan dan campuran no. 1, 2, 4 dan 6 diharapkan akan menghasilkan densitas yang memenuhi persyaratan untuk dikenakan proses HIP.

Untuk proses sinter dengan temperatur 1960 derajat celsius dibuat setiap kali proses sinter dimasukkan sebanyak 10 buah sampel dari masing masing campuran. Proses HIP yang dilakukan telah dioptimasi, yaitu dilakukan pada temperatur 2000 derajat celsius pada tekanan 2000 bar dan waktu tinggal selama 60 menit. Sampel yang diperoleh setelah proses HIP diukur densitasnya dan kemudian diuji kekuatan mekanisnya. Hasil pengujian yang telah dilakukan disajikan dalam Daftar 4.

Daftar 4. Densitas rerata (gram/cc) dan bending strength  $\sigma_b$  rerata (MPa).

No. Camp.	Sinter pada $T_s = 1960^\circ\text{C}$		HIP pada $2000^\circ\text{C}$	
	Densitas	$\sigma_b$	Densitas	$\sigma_b$
1	3,08	388	3,18	430
2	3,06	360	3,16	413
3	3,08	380	3,19	440
4	3,05	324	3,17	406
5	3,09	378	3,18	420
6	3,07	354	3,19	433

Foto struktur mikro dari campuran 3 dan 6 setelah proses sinter maupun setelah HIP disajikan pada gambar 3 hingga 6.



Gambar 3. Struktur mikro sampel SiC campuran 3, disinter pada temperatur  $1960^\circ\text{C}$



Gambar 4. Struktur mikro sampel SiC campuran 3, setelah HIP pada temperatur  $2000^\circ\text{C}$



Gambar 5. Struktur mikro sampel SiC campuran 6, disinter pada temperatur  $1960^\circ\text{C}$



Gambar 6. Struktur mikro sampel SiC campuran 6, setelah HIP pada temperatur  $2000^\circ\text{C}$

## KESIMPULAN

Densitas sampel dengan kombinasi proses sinter dan HIP dapat mencapai hingga sekitar 99,7% dari densitas teori SiC. Selain itu densitas yang diperoleh hampir tidak tergantung pada densitas yang diperoleh pada proses sinter maupun jenis bahan pembantu sinter, asalkan densitas sampel sebelum dikenakan proses HIP telah mencapai 95% dari densitas teorinya. Homogenitas struktur mikro sangat menentukan kekuatan mekanik SiC. Oleh karena itu untuk memperoleh kekuatan mekanik yang tinggi dibutuhkan bahan pembantu sinter yang tepat struktur mikro yang homogen.

## DAFTAR PUSTAKA

- Sahabi, B., 1994, *Herstellung von SiSiC-MoSi<sub>2</sub> Composite*, Forschungszentrum KFA, Juelich, Germany.
- Watson, G.K. and Moore, T.J., 1981, *Hot Isostatic Pressing of Structural Ceramics*, NASA, USA.