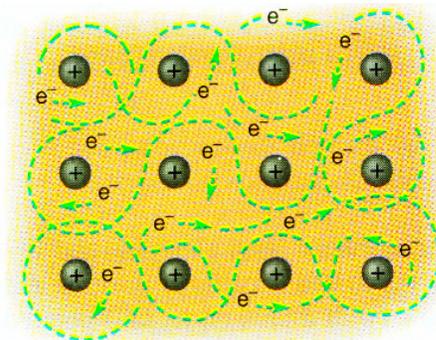


## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Material dan Ikatan Atomnya

Alam semesta terbentuk dari elemen-elemen yang terdiri atas *neutron*, *proton* dan *electron*. Elemen-elemen tersebut dapat diklasifikasikan sebagai *metallic*, *gaseous* atau *nonmetallic elemental solid* (NMESs). Namun hanya sedikit dari elemen-elemen tersebut yang digunakan dalam bentuk murni, biasanya mereka dicampur atau direaksikan dengan elemen yang lain untuk membentuk material-material teknik. Elemen - elemen yang dicampur atau direaksikan dengan elemen yang lain tersebut dapat diklasifikasikan sebagai logam, polimer, semikonduktor, atau keramik, yang tiap-tiap bagiannya memiliki sifat tersendiri yang menggambarkan perbedaan sifat ikatannya (Barsoum, 1997).

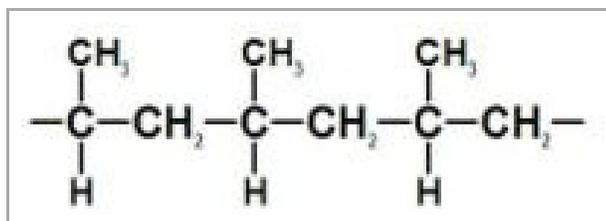
Logam, ikatannya sebagian besar adalah ikatan logam dimana elektron-elektronnya bergerak mengelilingi ion positif-nya sehingga ion positifnya tetap diam ditempat. Biasanya berbentuk padat dalam suhu ruangan, mengkilap, ulet, dan merupakan penghantar panas dan listrik yang baik. Contoh ikatan logam dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Ikatan logam. Ralph A. Burns, *Fundamentals of Chemistry* (2<sup>nd</sup> ed), New Jersey: Prentice Hall, 1995, p.202

Polimer, terdiri atas unsur C yang membentuk rantai yang panjang. Ikatan dalam rantainya kuat, terarah, dan kovalen. Sementara ikatan antara

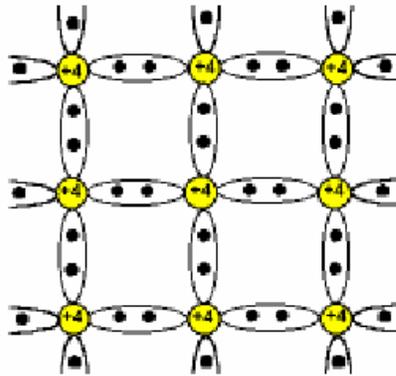
rantainya biasanya lemah. Sifat polimer bergantung pada ikatan terlemahnya sehingga polimer memiliki temperatur leleh yang rendah, koefisien ekspansi termal yang tinggi dan tingkat kekakuan yang rendah bila dibandingkan dengan logam atau keramik. Contoh dari polimer adalah *polypropylene* yang dapat dilihat dari gambar 2.2.



Gambar 2.2. *Polypropylene*. (Wikipedia, 13 November 2007).

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>

Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada di antara insulator dan konduktor. Sebuah semikonduktor bersifat sebagai insulator pada temperatur yang sangat rendah, namun pada temperatur ruangan bersifat sebagai konduktor. Ikatan kovalen menyebabkan elektron tidak dapat berpindah dari satu inti atom ke inti atom yang lain. Pada kondisi demikian, bahan semikonduktor bersifat isolator karena tidak ada elektron yang dapat berpindah untuk menghantarkan listrik. Pada suhu kamar, ada beberapa ikatan kovalen yang lepas sehingga memungkinkan elektron terlepas dari ikatannya. Namun hanya beberapa jumlah kecil yang dapat terlepas, sehingga tidak memungkinkan untuk menjadi konduktor yang baik. Semikonduktor sangat berguna dalam bidang elektronik karena konduktansinya yang dapat diubah-ubah dengan mendopping materi lain, biasanya disebut materi doping. Bahan semikonduksi yang sering digunakan adalah silikon, germanium, dan gallium arsenide. Gambar 2.3. menunjukkan struktur atom silikon secara dua dimensi. (Wikipedia, n.d.)



Gambar 2.3. Struktur dua dimensi Si. *Semikonduktor* (UNSRI, 13 November 2007). [www.ilkom.unsri.ac.id/dosen/fali/materi/semikonduktor.pdf](http://www.ilkom.unsri.ac.id/dosen/fali/materi/semikonduktor.pdf)

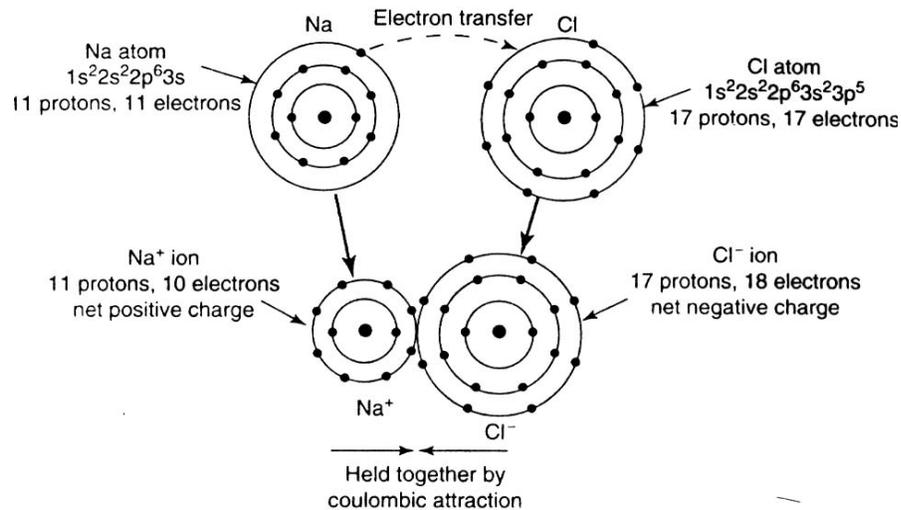
Keramik, berasal dari bahasa Yunani *κεραμικός* (*keramikos*), yang artinya membakar sesuatu sehingga pada jaman dahulu keramik sering diartikan sebagai hasil kerajinan tanah liat. Definisi keramik sebenarnya adalah komponen padat yang dibentuk dari penggunaan panas, dan kadang-kadang menggunakan panas dan tekanan, yang berisikan kombinasi dari logam dan sebuah NEMSS atau sebuah unsur non logam, dua buah NEMSSs, atau setidaknya dari dua buah NEMSSs dan sebuah unsur non logam. (Barsoum, 1997, p.2). Magnesia ( $MgO$ ) merupakan keramik karena terdiri dari unsur logam ( $Mg$ ) yang berikatan dengan non logam ( $O_2$ ).  $TiC$  dan  $ZrB_2$  merupakan keramik karena mereka adalah gabungan dari logam ( $Ti$ ,  $Zr$ ) dan NEMSSs ( $C$  dan  $B$ ).  $SiC$  adalah juga merupakan keramik karena terbentuk dari dua buah bahan NEMSSs, yaitu  $Si$  dan  $C$ .

Unsur-unsur pada tabel periodik memiliki kecenderungan untuk memiliki konfigurasi elektron yang stabil dengan jumlah elektron delapan pada kulit terluar sehingga unsur-unsur yang tidak memiliki jumlah elektron delapan pada kulit terluarnya akan berikatan dengan unsur-unsur lain agar jumlah elektron pada kulit terluarnya penuh atau stabil. Pada dasarnya terdapat tiga buah ikatan yang dapat terbentuk dari unsur-unsur yang bereaksi yaitu ikatan logam, ionik, dan kovalen (Richerson, 2006).

### 2.1.1. Ikatan Ion

Ikatan ion terjadi ketika suatu atom memberikan atau diberi satu atau lebih elektronnya dengan tujuan untuk memenuhi jumlah elektron pada kulit terluar mereka agar menjadi stabil.

Untuk menggambarkan terjadinya ikatan ion dapat diambil contoh natrium klorida (NaCl). Pada atom Na memiliki struktur  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ , jika atom Na dapat melepaskan elektron  $3s^1$  maka ia akan stabil. Sedangkan atom Cl memiliki struktur  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ , jika atom Cl dapat memperoleh tambahan satu elektron maka ia juga dapat memperoleh kestabilan. Pada saat mereka berikatan membentuk NaCl, satu elektron Na berpindah ke Cl membentuk ion  $\text{Na}^+$  dan ion  $\text{Cl}^-$  sehingga terjadi kestabilan pada saat mereka berikatan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.4.

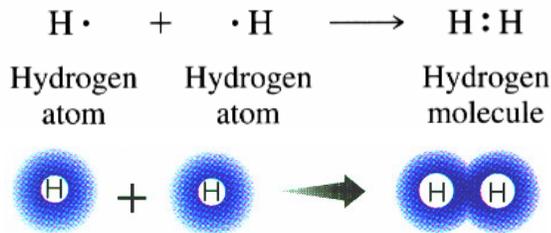


Gambar 2.4. Ikatan ion yang terjadi pada Na dan Cl. David W. Richerson, *Modern Ceramic Engineering* (3<sup>rd</sup> ed.), Boca Raton: Taylor & Francis, 2006, p.97

### 2.1.2. Ikatan Kovalen

Ikatan kovalen adalah ikatan antara dua atau lebih atom unsur yang sejenis atau berbeda didasarkan pada pemakaian elektron valensi bersama

sehingga setiap atom memiliki susunan elektron yang stabil. Contoh ikatan kovalen dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Ikatan kovalen pada atom hidrogen. Ralph A. Burns, *Fundamentals of Chemistry* (2<sup>nd</sup> ed), New Jersey: Prentice Hall, 1995, p.197

### 2.1.3. Ikatan Logam

Ikatan atom pada *solid metallic crystal* secara sederhana menunjuk pada ikatan logam. Ikatan logam berbeda dengan ikatan ionik atau ikatan kovalen yang sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Sebuah contoh ikatan logam dapat digambarkan sebagai susunan ion - ion positif tiga dimensi yang tetap diam pada crystal lattice sedangkan elektron valensinya dengan bebas bergerak keseluruh kristal seperti pada gambar 2.1. Gerakan elektron valensi yang menyerupai fluida tersebut membuat logam menjadi konduktor panas maupun listrik yang baik. Sedangkan logam yang berikatan ionik dan kovalen tidak memiliki sifat konduktor listrik sebaik pada ikatan metalik. Ikatan metalik merupakan konduktor listrik yang terbaik.

## 2.2. Silikon Karbida

SiC adalah jenis material yang jarang ditemukan di alam sehingga SiC yang dijual di pasaran adalah SiC sintetik. SiC sintetik ditemukan oleh Edward Goodrich Acheson pada tahun 1893 melalui percobaannya yang ditujukan untuk menciptakan intan. Pada saat pertama kali ditemukan SiC disebut *carborundum*. Setelah beberapa saat kemudian barulah diketahui bahwa *carborundum* sebenarnya adalah SiC (Lee and Rainforth, 1994).

Keunggulan SiC (*wikipedia*. SiC, 2007) adalah:

- a. Kekerasan yang hampir menyerupai intan yaitu 9,25 Mohs (kekerasan intan sebesar 10 Mohs).
- b. Spesifik gravitasi 3,2 g/cm<sup>3</sup>.
- c. Titik lebur kurang lebih 2700 °C.
- d. Tahan terhadap korosi.

### 2.3. Aplikasi Silikon Karbida

SiC yang termasuk dalam bahan keramik memiliki beberapa kelebihan yang dapat digunakan pada bidang industri dan otomotif. Pada kondisi tertentu SiC dapat lebih memenuhi kriteria yang diperlukan bila dibandingkan dengan logam, karena keunggulannya yang tahan korosi, gesekan, dan temperatur tinggi. Selanjutnya akan dijelaskan berbagai aplikasi silikon karbida sebagai bahan keramik.

#### 2.3.1. Furnace

Proses-proses industri kebanyakan selalu membutuhkan temperatur tinggi dan bahan yang tetap stabil pada temperatur dan kondisi lingkungan tertentu. Pada kasus pembentukan logam diperlukan suatu bahan yang mampu bertahan pada sifat kimia yang korosif, temperatur, dan tekanan tinggi. Satu-satunya bahan yang mampu memenuhi syarat-syarat diatas adalah bahan keramik seperti SiC. Dengan penggunaan SiC sebagai bahan dinding *furnace* maka temperatur, tekanan, dan sifat kimia yang korosif bukan masalah lagi. Pada gambar 2.6. menunjukkan *heat treatment furnace* di PT. Paragon yang menggunakan dinding *furnace* bagian dalam terbuat dari SiC.



Gambar 2.6. Dinding *furnace* yang menggunakan SiC

### 2.3.2. Elemen Pemanas

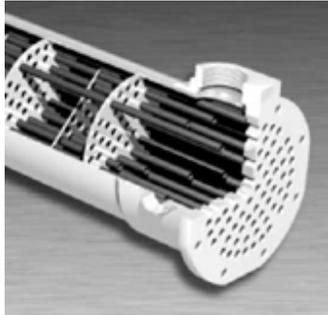
Beberapa bahan keramik memiliki suatu derajat tingkat hantaran elektrik terbatas dengan hambatan listrik tertentu. Pada saat listrik berusaha untuk melewatinya, panas akan dihasilkan. Begitulah cara kerja elemen pemanas yang terbuat dari bahan keramik. Contoh keramik yang dapat digunakan sebagai elemen pemanas adalah SiC. Bentuk dari elemen pemanas yang terbuat dari SiC dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. *Heating element*. (Alibaba Corp, 6 Agustus 2007).[http://wbsic.en.alibaba.com/product/Silicon\\_Carbide\\_Heating\\_Elements](http://wbsic.en.alibaba.com/product/Silicon_Carbide_Heating_Elements)

### 2.3.3. Alat Penukar Panas

Alat penukar panas atau *heat exchanger* memiliki tujuan untuk menggunakan kembali panas yang merupakan buangan untuk memanaskan udara yang akan digunakan untuk proses pembakaran. Dengan menggunakan bahan keramik dapat dihasilkan pengurangan bahan bakar yang digunakan sampai 50%. Gambar 2.8. menunjukkan alat penukar panas berbahan silikon karbida. Pada bagian dalam alat penukar panas biasanya dibuat bersirip dengan tujuan untuk memperbesar luas permukaan yang terkena panas sehingga jumlah panas yang dipindahkan juga bertambah banyak.

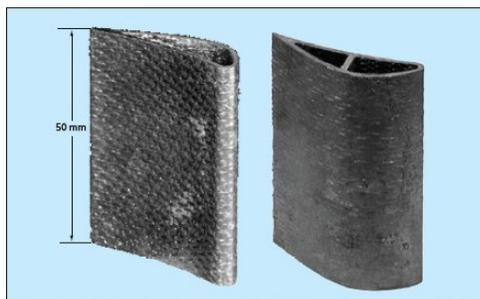


Gambar 2.8. *Heat exchanger*. (CARBO, 6 Agustus 2007).

<http://www.carbo.com/product-applications/heat-exchanger-tubing>

#### 2.3.4. Motor bakar

Salah satu contoh penggunaan SiC dalam motor bakar adalah *turbine inlet guide vanes*. Komponen *turbine inlet guide vanes* digunakan untuk menghasilkan aliran udara pendingin gas *turbine engine*. Pada penggunaan bahan keramik SiC yang lebih tahan terhadap temperatur tinggi dapat membuat sistem pendingin bekerja lebih baik bila dibandingkan dengan material lainnya. Apabila sistem pendingin pada *turbine engine* dapat bekerja dengan baik akan berdampak pada emisi gas buang NO<sub>x</sub> dan CO yang dihasilkan sebagai hasil dari pembakaran. Gambar 2.9. menunjukkan sebuah *composite turbine vane* yang terbuat dari bahan komposit SiC/SiC dengan dua bentuk konfigurasi berbeda yaitu, *webless* dan dengan *internal web*.



Gambar 2.9. SiC/SiC *composite turbine van*. (NASA techb briefs, 6 Agustus 2007). <http://www.techbriefs.com/content/view/1066/34>

### 2.3.5. Seal

Seal adalah suatu alat yang digunakan untuk mencegah kebocoran pada dua permukaan material yang saling bersinggungan. Pemakaian seal biasanya banyak digunakan pada mencegah oli pelumas pada mesin-mesin yang bertemperatur dan bertekanan tinggi. Oleh karena itu karakteristik material *seal* haruslah mampu bertahan baik pada temperatur dan tekanan tinggi untuk jangka waktu yang lama. Material pilihan yang dapat digunakan sebagai contoh bahan pembuat seal adalah bahan keramik. Keramik adalah bahan yang dapat berfungsi sempurna sebagai seal pada mesin-mesin bertemperatur tinggi seperti mesin jet bila dibandingkan dengan bahan logam. Gambar 2.10. menunjukkan *seal* yang terbuat dari bahan SiC.



Gambar 2.10. *Seal* berbahan SiC. (Manufacture97, 6 Agustus 2007).

<http://www.allproducts.com/manufacture97/hcelec/product5.html>

### 2.3.6. Ceramic Ball

Ceramic ball bisanya digunakan pada bearing, valve, dan sebagai *grinding ball*. Kegunaan *valve* hampir sama dengan seal, namun *valve* tidak bekerja secara kontinu. Ada banyak macam tipe *valve*, diantaranya adalah *rotary*, *gate*, *ball-and-seat*, *butterfly*, *concentric cylinder* dan lain-lain. Gambar 2.11. menunjukkan *ceramic ball* yang terbuat dari SiC dan digunakan pada *ball bearing*.

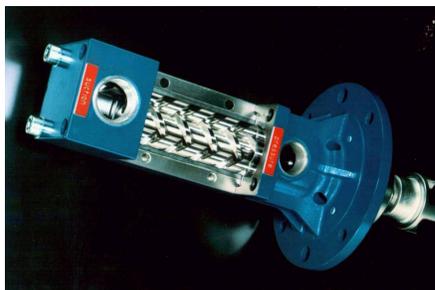


Gambar 2.11. *Ball bearing* dengan *ceramic ball* yang terbuat dari SiC.  
(VBX.com, 20 Oktober 2007).

<http://www.vxb.com/page/bearings/PROD/17mm/KIt7724>

### 2.3.7. Pompa

Pompa adalah peralatan yang digunakan untuk menaikkan tekanan. Didalam bagian pompa terdapat berbagai macam bagian seperti *seal*, *valve*, *bearing*, *plunger*, *rotor*, dan *liner*. Bagian-bagian pompa yang terbuat dari bahan keramik akan bertahan 10 kali lebih lama dibandingkan dengan material lainnya. Ini disebabkan oleh ketahanan bahan keramik terhadap gesekan, tekanan, temperatur, dan sifat kimia yang lebih unggul dibandingkan dengan bahan yang lain. Gambar 2.12. menunjukkan sebuah rumah pompa yang terbuat dari SiC.



Gambar 2.12. Rumah pompa. (The North West group, 6 Agustus 2007).

<http://news.thomasnet.com/images/large/461/461967.jpg>

### 2.3.8. Bahan Abrasif

SiC merupakan bahan keramik yang juga bersifat abrasif sehingga dapat digunakan untuk berbagai keperluan industri seperti mengikis, menghaluskan,

membuat kasar maupun memotong permukaan benda kerja. Pada gambar 2.13. menunjukkan berbagai macam aplikasi SiC sebagai bahan abrasif.



Gambar 2.13. Bahan-bahan abrasif. (Dramel 511 , 6 Agustus 2007).

<http://www.widgetsupply.com/page/WS/PROD/dremel-polish-abrasive/WC07>

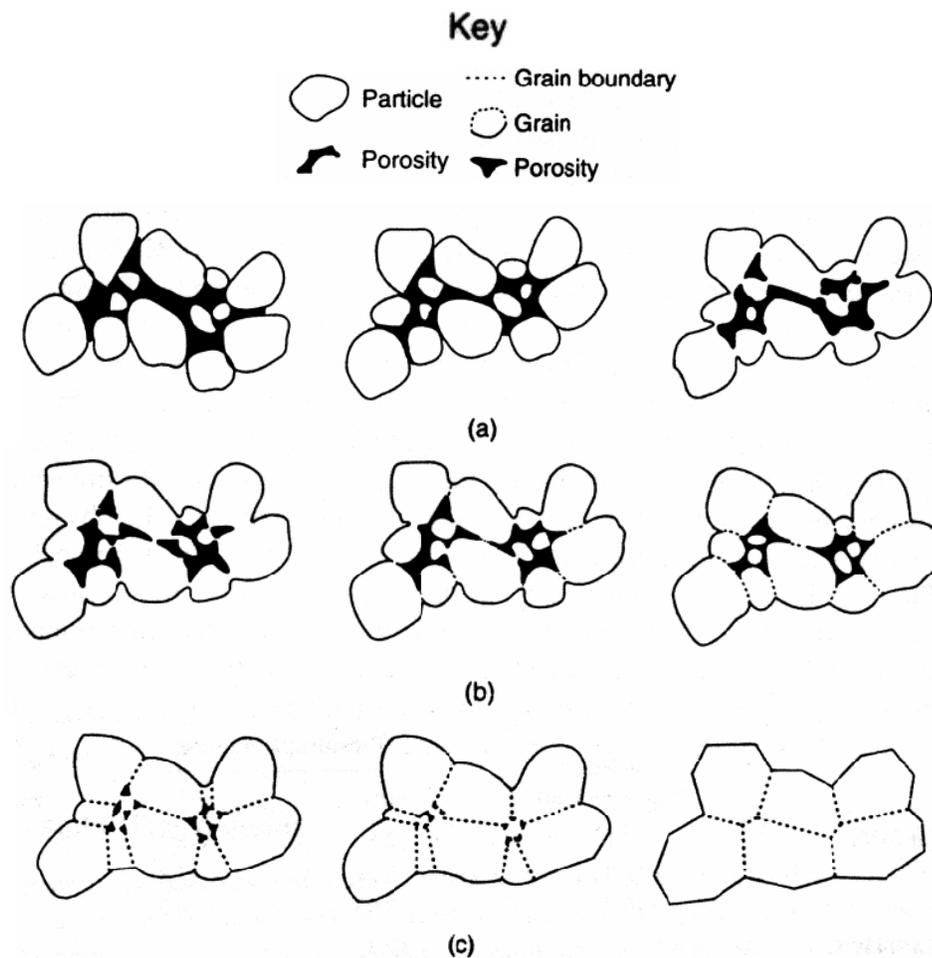
#### 2.4. Sintering

Sintering adalah proses penghilangan pori-pori pada partikel *green body* (disertai dengan penyusutan ukuran), pertumbuhan butir dan terjadinya ikatan yang kuat antara partikel yang berdekatan. Sintering biasanya melalui beberapa tahapan perubahan bentuk sebagai akibat berikatannya partikel-partikel dan hilangnya pori-pori. Tahapan sintering dibagi menjadi tiga bagian (Richerson, 2006).

Bagian pertama sintering disebut sebagai *initial stage*. Yang terjadi pada bagian ini adalah perubahan posisi partikel dan pembentukan ikatan antara partikel yang berdekatan. Tahap ini ditunjukkan oleh gambar 2.14. a

Bagian kedua disebut sebagai *intermediate stage*. Pada bagian ini terjadi pertumbuhan ikatan antara partikel yang berdekatan, sehingga pada tahap ini terjadi penyusutan ukuran dikarenakan berkurangnya pori-pori. *Intermediate stage* terus berlangsung selama pori-pori saling berhubungan dan berakhir ketika pori-pori mulai tertutup. Tahap ini ditunjukkan oleh gambar 2.14. b

Bagian ketiga disebut sebagai *final stage*. Pada tahap ini pori-pori yang ada akan mulai dihilangkan sebagai akibat pertumbuhan butir. Tahap ini ditunjukkan oleh gambar 2.14. c



Gambar 2.14. Proses *sintering*. (a) *Initial stage*, (b) *Intermediate stage*, (c) *Final stage*. David W. Richerson, *Modern Ceramic Engineering* (3<sup>rd</sup> ed), Boca Raton: Taylor & Francis, 2006, p.478

Dalam proses *sintering* terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan seperti komposisi *green body*, ukuran partikel, temperatur, dan waktu. Selain parameter - parameter diatas ada beberapa parameter lagi yang harus diperhatikan seperti keadaan atmosfer, siklus waktu dan temperatur, dan desain dapur (Richerson, 2006). Ketiga parameter ini akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

#### 2.4.1. Atmosfer

Keadaan atmosfer pada saat terjadinya proses *sintering* sangatlah berpengaruh terhadap hasil akhir proses tersebut. Kondisi atmosfer yang digunakan pada saat *sintering* adalah kondisi oksidatif dan reduktif.

Pada kondisi atmosfer oksidatif biasanya keadaan dapur yang digunakan tidak tertutup rapat sehingga udara sekitar dapur yang digunakan dapat masuk kedalam dapur. Keadaan ini biasanya digunakan untuk membuat keramik yang memiliki unsur oksigennya seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  dan lain - lain.

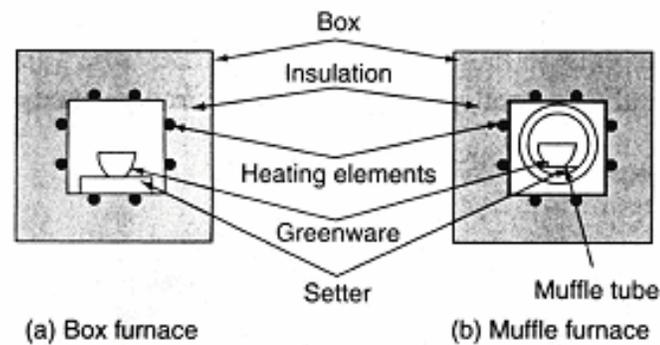
Sedangkan untuk atmosfer yang reduktif digunakan untuk proses *sintering* material - material keramik yang didalam komposisi kimianya tidak terdapat unsur oksigen seperti  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiC}$  dan lain - lain. Untuk mendapatkan keadaan atmosfer yang reduktif dapat digunakan golongan gas mulia seperti argon (Ar), Helium (He), Neon (Ne) dan lain - lain. Selain golongan gas mulia dapat juga digunakan gas yang dirasa ingin direaksikan dengan *green body*nya. Seperti pada  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , untuk mendapatkan material keramik tersebut dapat digunakan gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ).

#### 2.4.2. Siklus Waktu dan Temperatur

Siklus waktu dan temperatur mengacu pada laju pemanasan, temperatur puncak, lama waktu pada temperatur puncak dan laju pendinginan. Setiap parameter yang telah disebutkan diatas memiliki pengaruh terhadap hasil akhir proses *sintering*. Lama waktu temperatur puncak berpengaruh pada densifikasi total yang dapat terjadi dan kemampuan dalam pertumbuhan butir. Sedangkan laju pendinginan berpengaruh pada jumlah sisa *glass* dalam mikrostruktur yang dapat menentukan kekuatan dan kekerasan material tersebut, sehingga laju pendinginan maupun pemanasan dapat mempengaruhi sifat akhir material yang mengalami proses *sintering*. Pada laju pemanasan terlalu cepat dapat menghasilkan *crack* dikarenakan terlalu cepat terbakarnya *binder* atau aditif yang bersifat organik.

### 2.4.3. Desain Dapur

Desain dari dapur berhubungan erat dengan keadaan atmosfer yang diinginkan sewaktu proses *sintering* dilakukan. Pada saat atmosfer yang digunakan adalah reduktif maka desain dapur *box furnace* yang ditunjukkan pada gambar 2.15.a saja tidaklah cukup. Agar atmosfer di daerah sekitar *green body* adalah atmosfer yang reduktif maka didalam *box furnace* diberi tambahan sebuah kotak yang tertutup rapat. Kotak tersebut sebagai wadah pada saat *green body* mengalami *sintering*. Pilihan lain yang dapat digunakan adalah menggunakan *muffler furnace* atau *tube furnace* seperti pada gambar 2.15.b.



Gambar 2.15. Desain dapur (a) *box furnace* (b) *muffler* atau *tube furnace*. David W. Richerson, *Modern Ceramic Engineering* (3<sup>rd</sup> ed), Boca Raton: Taylor & Francis, 2006, p.492

### 2.5. Aditif

Aditif adalah material yang ditambahkan untuk beberapa alasan pada saat proses pembentukan keramik. Salah satu contoh bahan aditif adalah *binder*. *Binder* adalah material yang ditambahkan untuk memberikan kemudahan dalam pemindahan sampel yang belum melalui proses *ceramization* (*green body*). Kebanyakan *binder* terbuat dari bahan organik seperti yang terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Contoh *binder* yang digunakan dalam pembuatan keramik

<b>Organic</b>	<b>Inorganic</b>
Polyvinyl alcohol (PVA)	Clays
Waxes	Bentonites
Celluloses	Mg-Al silicates
Dextrines	Soluble silicates
Thermoplastic resins	Organic silicates
Thermosetting resins	Colloidal silica
Chlorinated hydrocarbons	Colloidal alumina
Alginates	Aluminates
Lignins	Phosphates
Rubbers	Borophosphates
Gums	
Starches	
Flours	
Casein	
Gelatins	
Albumins	
Proteins	
Bitumens	
Acrylics	

Sumber: David W. Richerson, *Modern Ceramic Engineering* (3<sup>rd</sup> ed.), Boca Raton: Taylor & Francis. 2006, p.396

*Binder* biasanya digunakan pada saat *green body* melalui proses kompaksi. Pada *binder* yang bersifat organik biasanya akan berubah menjadi gas pada saat melalui temperatur tinggi sedangkan pada *binder* yang non - organik tidak dapat berubah menjadi gas pada saat temperatur tinggi tetapi dia akan menjadi bagian dari keramik. Jumlah *binder* yang dibutuhkan pada saat kompaksi dan temperatur berubahnya *binder* menjadi uap dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. *Binder* yang digunakan dalam pembuatan SiC

Function	Options	Quantity, wt%	Characteristics
Thermoplastic resin	Acrylic Ethyl cellulose Hydroxypropyl cellulose Polyethylene Oxidized polyethylene Cellulose acetate Nylon Polystyrenes Polybutylene Polysulfone Polyethylene glycol	9-17	Volatilization temperature between 200-400°C (390-750°F)
Wax or high-temperature volatilizing oil	Paraffin Mineral oils Vegetable oils Waxes	2-3.5	Volatilization temperature between 150-190°C (300-375°F)
Thermosetting resin	Epoxy Polyphenylene Phenol formaldehyde		Source of carbon; char. in range 450-1000°C (840-1830°F)

Sumber: R. Ohnsorg , U.S. Patent 4,233,256. Nov. 11, 1980, dikutip oleh David W. Richerson, *Modern Ceramic Engineering* (3<sup>rd</sup> ed.), Boca Raton: Taylor & Francis.2006, p.458

## 2.6. Proses Pembuatan SiC

### 2.6.1. Metode Acheson

Metode Acheson adalah sebuah metode yang sederhana namun dapat menghemat biaya dalam menghasilkan  $\alpha$ -SiC. Dengan metode ini dapat dihasilkan SiC kualitas rendah yang digunakan untuk bahan abrasif dan kualitas tinggi digunakan untuk keperluan elektronik (Richerson, 2006).

Prinsip metode Acheson untuk menghasilkan SiC adalah dengan mencampur pasir SiO<sub>2</sub> dengan batu arang dan elektroda karbon dalam jumlah besar sehingga membentuk gundukan. Kemudian arus listrik dialirkan pada elektrodanya. Suhu batu arang di dalam gundukan dapat mencapai 2200 °C. Pada temperatur tersebut batu arang akan bereaksi secara eksotermis dengan SiO<sub>2</sub> menghasilkan SiC dan gas CO seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.1.

Pemanasan secara eksotermis akan terus berlangsung sampai reaksi di dalam gundukan telah selesai.



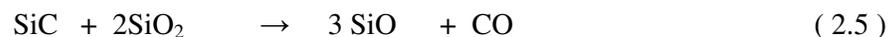
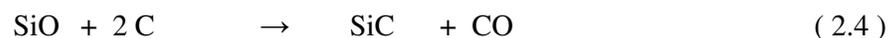
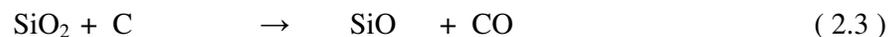
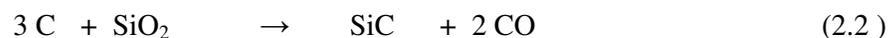
Setelah dingin, pada inti gundukan ditemukan SiC berkadar tinggi yang dapat digunakan untuk aplikasi elektronik. Di daerah sekitar inti gundukan terdapat SiC dengan kadar yang lebih rendah untuk digunakan sebagai bahan abrasif. Di lapisan paling luar gundukan terdapat campuran antara SiC, sisa SiO<sub>2</sub>, dan sisa C yang tidak bereaksi yang dapat digunakan untuk proses selanjutnya.

#### 2.6.2. Menggunakan Sekam Padi

Proses pembentukan SiC dapat juga menggunakan sekam padi sebagai bahan dasarnya tanpa menggunakan campuran bahan lain karena pada sekam padi sudah terkandung sejumlah SiO<sub>2</sub> dan C. Dalam proses perubahan sekam padi menjadi SiC, sekam padi dipanaskan dengan menggunakan *furnace* dalam atmosfer Ar sampai pada temperatur 1350 °C. Tingkat keberhasilan proses ini bergantung pada kadar SiO<sub>2</sub> didalam sekam padi, karena kadar SiO<sub>2</sub> pada tiap sekam padi tidak sama (Hikam, 2004).

#### 2.6.3. Menggunakan Kayu

Proses *ceramization* dalam pembentukan silikon karbida dapat dilakukan dengan mereaksikan antara unsur C hasil pirolisa kayu dengan silika sol (SiO<sub>2</sub>). Beberapa kemungkinan reaksi yang dapat terjadi pada saat proses *ceramization* ditunjukkan oleh persamaan (2.2) - (2.5) (Klingner, 2003) :



Langkah-langkah proses yang harus dilakukan untuk mendapatkan silikon karbida terbagi dalam tahapan (Klingner, 2003) :

#### 1. Proses Pirolisa

Proses pirolisa dilakukan dalam dua langkah, yaitu dengan menggunakan tungku temperatur rendah sampai temperatur 800 °C dan dengan menggunakan tungku temperatur tinggi sampai pada temperatur 1400 °C. Proses pirolisa dilakukan dalam atmosfer nitrogen dengan kadar nitrogen 99,995 % dengan laju aliran 57 NI/jam. Laju pemanasan yang digunakan adalah 1 °C/menit sampai dengan 500 °C dan 5 °C/menit sampai temperatur akhir antara 800 °C dan 1400 °C.

#### 2. Infiltrasi

Setelah proses pirolisa, C yang sudah terbentuk divakumkan di dalam desikator kemudian diinfiltrasi dengan silica sol ( $\text{SiO}_2$ ) selama 30 menit. Setelah proses infiltrasi sampel tersebut dikeringkan pada temperatur 103 °C selama 12 jam.

#### 3. *Ceramization*

Setelah melalui proses infiltrasi komposit karbon silica sol dilakukan proses *ceramization* pada temperatur 1575 °C selama 4 jam dengan laju pemanasan 10 °C/menit di bawah atmosfer argon 99,995% dengan laju aliran 70NI/jam. Siklus *infiltrasi* dan *ceramization* diulang sampai persentase berat silica sol ( $\text{SiO}_2$ ) yang diperlukan untuk menjadi SiC terpenuhi.

### 2.7. Diagram Ellingham

Sebuah diagram Ellingham menggambarkan *Gibbs free energy* sebagai fungsi temperatur. Selama perubahan entalpi dan entropi konstan terhadap temperatur kecuali adanya perubahan fase, *Gibbs free energy* sebagai fungsi temperatur dapat digambarkan menjadi garis lurus. Perubahan entropi pada garis akan berubah ketika adanya material yang mencair atau menguap.

Nilai *Gibbs free energy* untuk sebagian besar oksidasi logam adalah negatif sehingga diagram Ellingham yang digambarkan pada lampiran 9 nilai

perubahan *Gibbs free energy* dimulai dengan nilai 0 dan setiap nilai *Gibbs free energy* yang ditunjukkan adalah negatif.

Diagram Ellingham yang ditunjukkan pada lampiran 9 adalah untuk reaksi logam dengan oksigen dengan tekanan oksigen yang digunakan adalah 1 atm dan setiap reaksi menggunakan 1 mol oksigen.

Tiga fungsi utama diagram Ellingham adalah:

1. Untuk menentukan proses reduksi oksida logam menjadi logamnya  
Posisi garis yang berada dalam diagram Ellingham menunjukkan stabilitas oksida sebagai fungsi temperatur. Reaksi yang mendekati *Gibbs free energy* sama dengan nol adalah logam yang “mulia” (contohnya emas dan platinum) dan oksidanya tidak stabil dan dapat dengan mudah untuk direduksi. Untuk nilai *Gibbs free energy* yang lebih tinggi maka logam menjadi semakin reaktif dan oksida logam ini menjadi sulit untuk direduksi.
2. Untuk menentukan tekanan oksigen yang *equilibrium* dengan oksida logam  
Skala yang ditunjukkan pada sisi kanan diagram yang diberi simbol “ $P_{O_2}$ ” dapat digunakan untuk menentukan tekanan oksigen yang *equilibrium* dengan logam dan oksida logam pada suatu temperatur yang telah ditetapkan. Jika tekanan oksigen lebih tinggi daripada nilai *equilibrium*nya maka logam akan teroksidasi dan bila nilainya lebih rendah dari *equilibrium*nya maka oksida akan direduksi.
3. Untuk menentukan perbandingan karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dapat digunakan untuk mereduksi oksida dari logam  
Ketika kita menggunakan karbon sebagai faktor pereduksi oksida maka akan ada perbandingan minimum CO/ CO<sub>2</sub>. Semakin besar nilai *Gibbs free energy* maka semakin besar porsi CO yang diperlukan.

Dilihat dari diagram Ellingham serbuk Si dan serbuk C yang dilakukan proses *ceramization* dalam atmosfer yang oksidatif akan membentuk reaksi seperti pada persamaan 2.6 dan 2.7. Dilihat dari nilai *Gibbs free energy*nya persamaan 2.6. memiliki nilai yang jauh lebih rendah dari persamaan 2.7. sehingga Si lebih

mudah teroksidasi terlebih dahulu daripada C dan proses reduksi  $O_2$  dari  $SiO_2$  lebih sulit daripada proses reduksi O pada CO.

