

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Keramik**

Berdasarkan sudut pandang umum, pengertian keramik, biasanya dikaitkan dengan barang-barang kerajinan, akan tetapi jika ditinjau dari sisi teknik memiliki arti yang lain. Menurut sudut pandang teknik, keramik merupakan jenis bahan seperti bahan amplas, enamel porselen, isolator dielektrik, bahan magnetik dan batu tahan api.

Keramik memiliki karakteristik yang memungkinkan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi yang meliputi kapasitas panas yang baik, konduktivitas panas rendah, tahan korosi, keras, kuat namun agak rapuh. Disamping karakteristik tersebut, keramik juga memiliki sifat kelistrikan yang meliputi insulator, semikonduktor, konduktor bahkan superkonduktor, sifatnya dapat magnetik dan non magnetik.

#### **2.1.1. Perbedaan Keramik dengan Logam dan Polimer**

Bahan keramik memiliki karakteristik yaitu merupakan senyawa antara logam dan bukan logam. Senyawa keramik tersebut memiliki ikatan ionik dan ikatan kovalen sehingga sifatnya berbeda dengan logam dan polimer.

Senyawa MgO merupakan contoh bahan keramik sederhana dengan perbandingan 1 : 1 antara unsur logam dan unsur bukan logam. Senyawa MgO tersebut digolongkan dalam jenis keramik yang banyak digunakan sebagai bahan tahan api, karena pada suhu sangat tinggi (1500-2500°C) tidak terjadi penguraian atau pencairan. Apabila senyawa Mg berdiri sendiri, maka senyawa Mg tersebut digolongkan dalam jenis logam. Perbedaan antara senyawa Mg (logam) dengan senyawa MgO (keramik) jika ditinjau dari titik leburnya, maka senyawa MgO memiliki titik lebur yang jauh lebih tinggi daripada logam Mg. Hal ini membuktikan salah satu kelebihan keramik dibandingkan dengan logam adalah ketahanannya pada temperatur yang tinggi.

Bila ditinjau dari sifat mekanik keramik, keramik merupakan material yang kuat, keras, dan tahan korosi. Sifat mekanik keramik secara keseluruhan

tersebut tidak dimiliki oleh logam maupun polimer. Salah satu contoh sifat mekanik dapat dilihat dari keramik titanium karbida (TiC), dimana TiC memiliki kekerasan 4 kali dari kekerasan baja (Supomo, 1995).

#### 2.1.2. Perbandingan Fasa Keramik dan Bukan Keramik

Kebanyakan fasa keramik mempunyai struktur kristalin. Struktur pada keramik tidak banyak memiliki elektron bebas, hal tersebut berlainan dengan logam. Elektron-elektron pada keramik dibagi dengan dengan atom-atom yang berdekatan dalam ikatan kovalen. Elektron tersebut berpindah dari atom satu ke atom yang lainnya membentuk ikatan ion, sehingga atom terionisir dan bermuatan. Ikatan ionik menyebabkan bahan keramik mempunyai stabilitas yang relatif tinggi (Van Vlack, 1985).

Tidak banyaknya elektron bebas pada keramik, hal tersebut menyebabkan kebanyakan keramik tembus cahaya (bila tipis) dan penghantar panas yang buruk. Perbedaan lain yang terjadi antara keramik dengan logam, dimana keramik memiliki titik cair yang lebih tinggi dan tahan terhadap perubahan-perubahan kimia dibandingkan dengan logam.

#### 2.1.3. Proses Pembentukan Bahan Keramik

Pada umumnya keramik dibentuk mengikuti proses pembentukan sinter. Pembentukan keramik dengan proses sinter dilakukan hampir sama dengan proses pembuatan batu bata. Bahan keramik dapat dibentuk dengan menggunakan cetakan berpori. Bahan baku keramik yang telah dicampur dalam bentuk suspensi kemudian dituangkan ke dalam cetakan berpori yang telah dibentuk.

Adonan dituangkan pada cetakan berpori, cetakan tersebut akan menyerap air yang ada pada adonan. Setelah cetakan menyerap air kemudian adonan akan mengalami penyusutan pada bagian tepi sehingga adonan mudah untuk dikeluarkan dari cetakan. Setelah adonan dilepas dari cetakan kemudian dilakukan proses *sinter*.

Proses *sinter* memerlukan temperatur yang tinggi sesuai dengan karakteristik bahan baku yang digunakan (pada umumnya diatas 1500°C) (Lyckfeldt dan Ferreira, 1997).

#### 2.1.4. Aplikasi dan Keunggulan Keramik

Keramik dapat dipakai di berbagai bidang antara lain busi, *seal* pompa, bahan dasar elektronika, tekel tahan gores, perkakas potong, baju pelindung, amplas, enamel porselen, isolator dielektrik, bahan magnetik bukan logam, batu tahan api suhu tinggi, peralatan laboratorium serta bagian-bagian pada industri tekstil dan kertas.

### 2.2. Alumina

Alumina ( $Al_2O_3$ ) adalah keramik jenis oksida yang paling sering digunakan. Dalam aplikasinya, alumina berupa grafit (ketahanan temperatur tinggi) dapat digunakan untuk *flake* seperti pembentukan lubang tuang dan *sliding gate valves*. Berdasarkan presentase penggunaan alumina, alumina banyak dipakai sebagai bahan dasar tahan api (50%), *abrasif* (20%), *whitewares*, *spark plugs* (15%), dan keramik teknik (10%) (Lee dan Rainforth, 1994).

Alumina memiliki beberapa sifat penting yang meliputi tahan terhadap kekutan tekan yang tinggi, kekerasannya tinggi, tahan api, tidak bereaksi dengan bahan kimia, konduktivitas termal yang tinggi, tahan terhadap perubahan temperatur, kekuatan dielektrik yang tinggi, ketahanan listrik yang tinggi meskipun temperatur tinggi, dan bahan baku tersedia banyak serta harga yang relatif murah dibandingkan dengan jenis keramik yang lain. Alumina memiliki beberapa sifat fisis. Tabel 2.1 menunjukkan nilai sifat fisis alumina.

Tabel 2.1. Sifat Fisis Alumina

| Sifat Fisis Alumina                              |                  |
|--------------------------------------------------|------------------|
| <i>Molecular Weight</i> (g/mol.)                 | 101.94           |
| <i>Apparent Density</i> (g/cm <sup>3</sup> )     | 0.7- 0.9         |
| <i>Loose Bulk Density</i> (g/cm <sup>3</sup> )   | 0.83- 1.01       |
| <i>Boiling Point</i> (°C)                        | 2040             |
| <i>Specific Surface Area</i> (m <sup>2</sup> /g) | 0.5- 50          |
| <i>Mohs Hardness @20°C</i>                       | 9.0              |
| <i>pH</i>                                        | 7 -9             |
| <i>Specific Gravity</i>                          | 3.4- 4.0         |
| <i>Crystallography</i>                           | <i>Hexagonal</i> |

Sumber : Reade Advanced Materials. *Reade: Alumina Powder* (1997).  
<http://www.reade.com/Products/Oxides/alumina.html>

#### 2.2.1. Bahan Baku Alumina Powder

Alumina dapat terjadi secara alami, yang paling sering sebagai hidroksida dari unsur biji *bauxite*. *Bauxite* berasal dari campuran *gibbsite* yang tidak murni  $Al(OH)_3$  berasal dari gabungan dari  $\alpha - Al_2OH_3 \cdot 3H_2O$ , kemudian mengalami proses pemisahan menjadi rangkaian polimer berupa  $AlO(OH)$  berasal dari gabungan  $Al_2O_3, H_2O$  secara berurutan. Beberapa *bauxite* yang berasal dari China dan Guyana dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi secara langsung setelah melalui proses pemanasan yang sederhana pada temperatur tinggi. Selama proses pemanasan pada temperatur tinggi akan terbentuk mikrostruktur yang kompleks, dimana terdiri dari alumina, *mullite*, bentuk gelas *silicate* dan *aluminium titanate* dalam jumlah kecil sebagai tambahan.

Selain dari China dan Guyana, bahan baku alumina (*bauxite*) juga banyak ditambang di berbagai negara misalnya Australia, Jamaika, dan Afrika barat. Proses pengolahan *bauxite* yang dihasilkan dari Australia, Jamaika dan Afrika barat untuk diproses menjadi alumina harus dilakukan proses kalsinasi pada temperatur yang tinggi terlebih dahulu. Proses pembakaran pada umumnya dapat dilakukan dengan proses bayer. Pada proses pembakaran bayer terjadi pemisahan unsur pengotor antara lain  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  sehingga hanya terdapat

Alumina dalam jumlah 99,5% dan sedikit unsur pengotor dominan yang tersisa, yaitu  $\text{Na}_2\text{O}$ . Unsur pengotor yang terbentuk pada proses pembuatan alumina dapat dimanfaatkan dalam industri manufaktur pembuatan keramik berupa soda rendah, *tabular* dan *fused*.

### 2.2.2. Alumina Dari Hasil Kalsinasi Proses Bayer

Bahan baku Alumina berasal dari *bauxite*. Proses untuk mendapatkan alumina dapat dilakukan dengan melakukan pemurniaan *bauxite* dalam beberapa tahap. Setelah melakukan reduksi ukuran pada *bauxite*, dilakukan proses *hidrothermal*. Proses *hidrothermal* dilakukan dengan menambahkan larutan  $\text{NaOH}$  pada tekanan 0,5 Mpa dan temperatur 150-160°C. Proses *hidrothermal* dilakukan untuk mendapatkan ion-ion *aluminate* dalam larutan. Reaksi *hidrothermal* dalam membentuk ion *aluminate* sebagai berikut (Lee dan Rainforth, 1994). Proses *hidrothermal* tanpa mengalami proses pemisahan menjadi rangkaian polimer  $\text{AlO}(\text{OH})$ .



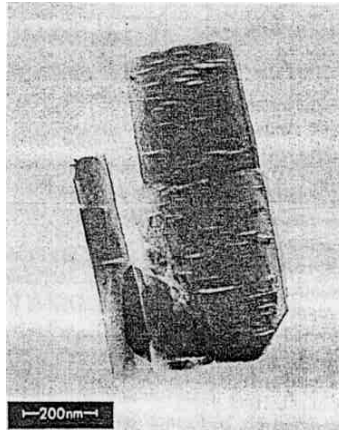
Proses *hidrothermal* yang mengalami proses pemisahan awal dari  $\text{Al}(\text{OH})_3$  menjadi rangkaian polimer berupa  $\text{AlO}(\text{OH})$ .



Setelah proses *hidrothermal*, unsur pengotor padat berupa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  tidak dapat larut dan masih terdapat dalam campuran tersebut. Proses pembersihan unsur pengotor dilakukan dengan proses penyaringan. Setelah dalam keadaan dingin *sodium aluminate* ( $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ ) ditaburi dengan *gibbsite* dan dilakukan pemanasan pada temperatur yang rendah agar inti *gibbsite* terjadi penyatuan, proses tersebut adalah proses *precipitation*. Pada proses *precipitation* dilakukan peniupan gas  $\text{CO}_2$  untuk mempercepat proses penyatuan dan pengeringan agar terbentuk gumpalan.

Setelah proses penyatuan *gibbsite* dengan *sodium aluminate* dilakukan kalsinasi. Pada proses pembakaran, air mulai hilang pada temperatur 180°C. Proses hilangnya air pada pembakaran dimulai dari permukaan, pori, dan terjadi perubahan transisi fase. *Dehidroksilasi* dari *gibbsite* mulai terjadi dengan

terbukanya *fissures* paralel menjadi (0001) pada *gibbsite* asli yang ditunjukkan dengan dengan gambar BF TEM (gambar 2.1)



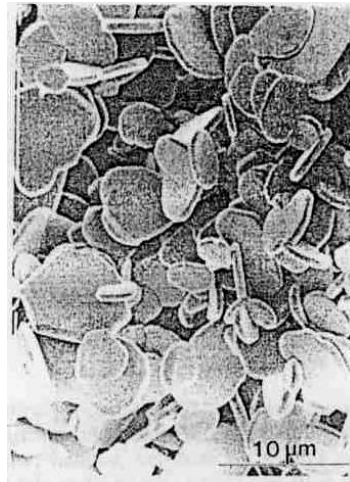
Gambar 2.1. Foto BF TEM yang menunjukkan retak panjang (*fissures*) dan keretakan terjadi sepanjang (0001) yang berbentuk paralel *gibbsite* selama proses *dehidroksilasi*, W. E. Lee dan W. E. Rainforth. *Structural Oxide 1, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Mullite in Ceramic Microstructure : Property Control by Processing* (1994), p. 258.

Pada temperatur 800°C terjadi pembelahan pada permukaan utama yang mengakibatkan terjadinya garis-garis dengan celah 1  $\mu$ m dan terjadi penurunan temperatur pada permukaan tiap 100 m<sup>2</sup>/g (Lee dan Rainforth, 1994).

Proses pembakaran dilakukan terus dengan menaikkan temperatur, pada temperatur 1150°C *gibbsite* mulai terbuka dan terbentuk Alumina  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dengan terbentuknya Alumina  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, keadaan struktur kristal alumina masih berkembang dengan skala kecil. Kemudian pembakaran terus dilanjutkan hingga pada temperatur 1300-1400°C akan terjadi tahap transisi alumina. Transisi alumina pada temperatur 1300-1400°C akan menghasilkan alumina  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sedangkan  $\gamma$  akan menguap bersama dengan air yang masih tersisa. Pada masa transisi alumina  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> struktur kristalnya mulai berkembang dan proses pembakaran akan dinaikkan temperaturnya kembali.

Proses pembakaran dinaikkan terus agar struktur kristal alumina berkembang sempurna hingga diatas temperatur 1600°C. Pada pemanasan ini

$\alpha - Al_2O_3$  akan menjadi stabil sehingga akan menjadi  $Al_2O_3$ . Gambar 2.2 adalah struktur kristal alumina yang terbentuk dari penambahan *flourine*.



Gambar 2.2. Struktur kristal alumina berbentuk *plate* yang terbentuk dari penambahan *flourine*, W. E. Lee dan W. E. Rainforth. *Structural Oxide 1,  $Al_2O_3$  and Mullite in Ceramic Microstructure : Property Control by Processing* (1994), p. 260.

### 2.2.3. Transisi Alumina

Banyak proses pembentukan alumina dan formasi dari  $\alpha$ -alumina dengan pemanasan *gibbsite* atau penumpukan uap jenuh *amorphous* alumina pada lapisan film yang tipis akan menunjukkan formasi dari metastabil bagian tengah fase alumina. Fase-fase transisi alumina ditulis dalam berbagai notasi antara lain  $\gamma$ ,  $\chi$ ,  $\eta$ ,  $\iota$ ,  $\varepsilon$ ,  $\delta$ ,  $\theta$ , dan  $k$ . Tahap fase transisi ini sangat berguna sebagai katalis maupun penyangga katalis dalam perkembangan penyatuan struktur kristal. Tiap tahap fase transisi yang dialami alumina berbeda. Hal tersebut bergantung dari bahan baku alumina. Keadaan awal material dan proses pembentukan alumina akan mempengaruhi perubahan fase transisi yang terjadi, misalnya bahan alumina yang digunakan adalah *boehmite*  $AlO(OH)$ , akan dibentuk menjadi *amorphous* alumina maka masa transisi yang akan dilewati adalah  $\gamma \rightarrow \delta \rightarrow \theta \rightarrow \alpha$  (*“Structural oxides I :  $Al_2O_3$  and mullite,”*1994). Hal tersebut akan berbeda dengan bahan baku yang digunakan adalah *gibbsite* ( $\alpha - Al(OH)_3$ ) maka fase

transisi yang akan dilewati adalah  $\chi \rightarrow \tau \rightarrow k \rightarrow \theta \rightarrow \alpha$  (Lee dan Rainforth, 1994). Perubahan tiap fase transisi alumina akan mempengaruhi bentuk struktur kristal. Tabel 2.2 menjabarkan fase transisi alumina beserta struktur kristal yang terbentuk.

Tabel 2.2. Data Struktur Kristal Tiap Fase Transisi Alumina

|                   | Gamma<br>( $\gamma$ ) | Eta<br>( $\eta$ ) | Chi<br>(%) | Delta<br>( $\delta$ ) | Theta<br>( $\phi$ ) | Kappa<br>( $\kappa$ ) | Lota<br>( $\iota$ ) | Epsilon<br>( $\epsilon$ ) |
|-------------------|-----------------------|-------------------|------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|
| Crystal system    | Cubic                 | Cubic             | Hexagonal  | Tetragonal            | Monoclinic          | Orthohombic           |                     | Hexagonal                 |
| Space Group       | Fd3m?                 |                   |            |                       | A2/m                |                       |                     | P63mc                     |
| Lattice parameter |                       |                   |            |                       |                     |                       |                     |                           |
| a                 | 7.9                   | 7.94              |            | 7.943                 | 5.62                |                       |                     | 5.544                     |
| b                 |                       |                   |            |                       | 2.906               |                       |                     |                           |
| c                 |                       |                   |            | 23.5                  | 11.79               |                       |                     | 9.024                     |
| $\alpha$          |                       |                   |            |                       |                     |                       |                     |                           |
| $\beta$           |                       |                   |            |                       | 103.74              |                       |                     |                           |
| $\gamma$          |                       |                   |            |                       |                     |                       |                     |                           |
| JCPDS*            |                       |                   |            |                       |                     |                       |                     |                           |
| Card no.          | 10-425                | 4-875             | 34-4930    | 16-394                | 37-1462             | 4-878                 | 12-539              | 26-31                     |

Sumber : W. E. Lee dan W. E. Rainforth. Structural Oxide 1,  $Al_2O_3$  and Mullite in *Ceramic Microstructure : Property Control by Processing*, (Chapman and Hall, London, 1994), p. 267

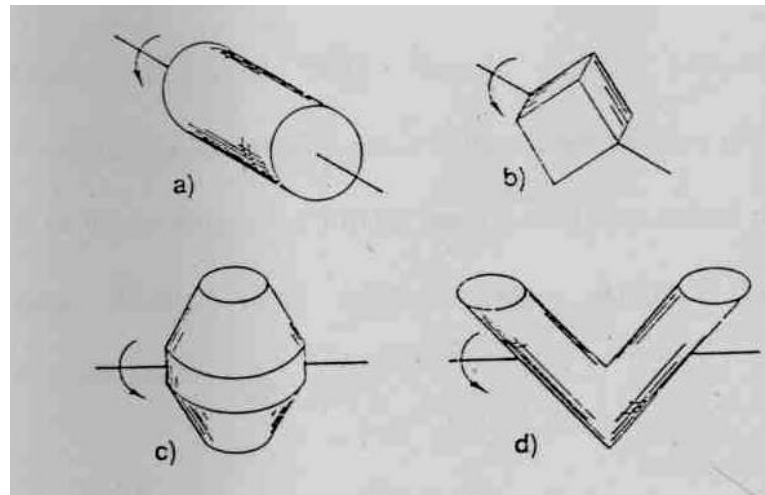
### 2.3. Proses Pencampuran Serbuk

Proses pencampuran serbuk dilakukan dengan tujuan antara lain untuk memperoleh distribusi ukuran partikel yang merata, mencampur material yang berbeda, untuk melapisi dan menambahkan partikel dengan pelumas. Pencampuran merupakan langkah awal dalam persiapan proses pembentukan dengan bahan baku serbuk. Dalam proses pencampuran serbuk, kualitas campuran

yang dihasilkan sangatlah penting sebab penyimpangan campuran tidak dapat dikoreksi dengan melakukan asumsi dengan proses penyetaraan.

Ada banyak masalah dalam pembuatan campuran yang homogen, khususnya pada tingkat mikroskopik. Ketidakhomogenan campuran terjadi dalam dua bentuk utama, yaitu pemisahan tingkat dari serbuk dan segregasi menurut ukuran partikel. Segregasi yang dominan adalah segregasi ukuran partikel yang mengarah pada ketidaksamaan ukuran partikel sehingga kepadatan akan menurun dan terjadi variasi kepadatan dari titik ke titik. Bentuk yang kecil atau tak beraturan memerlukan pencampuran yang lebih lama untuk mendapatkan homogenitas dan menghasilkan perlakuan khusus terhadap campuran. Campuran kecil akan tertimbun, karena itu peningkatan waktu dibutuhkan untuk membentuk campuran yang homogen. Dalam keadaan tertimbun, campuran seragam sulit dibentuk.

Serbuk untuk produk tertentu harus dipilih dengan teliti agar terjamin proses pembentukan yang ekonomis dan diperoleh sifat-sifat yang diinginkan dalam produk akhir. Bila hanya digunakan satu jenis serbuk dengan distribusi ukuran partikel yang tepat, biasanya tidak diperlukan pencampuran lagi sebelum pembentukan *slip*. Kadang-kadang berbagai ukuran partikel serbuk dicampurkan dengan tujuan mengubah beberapa karakteristik tertentu antara lain mampu alir dan berat jenis, tetapi umumnya serbuk yang ada mempunyai sebaran ukuran partikel yang memadai. Pencampuran sangat penting bila digunakan campuran serbuk atau bila ditambahkan serbuk bukan logam. Pencampuran serbuk harus dilakukan di lingkungan tertentu untuk mencegah terjadinya oksida atau terkontaminasi dengan udara sekitar. Gambar 2.3 menunjukkan bermacam-macam jenis bentuk *mixing* yang dapat digunakan dalam proses pencampuran serbuk.



Gambar 2.3. Macam-macam bentuk *mixing* (a) *rotating cylindrical*, (b) *rotating cube*, (c) *double cone*, (d) *twin shell*, R. M. German. *Powder Metallurgy Science*, 2<sup>nd</sup> ed (Metal Powder Industries Federation, 1994), p. 173

#### 2.4. Slip Casting

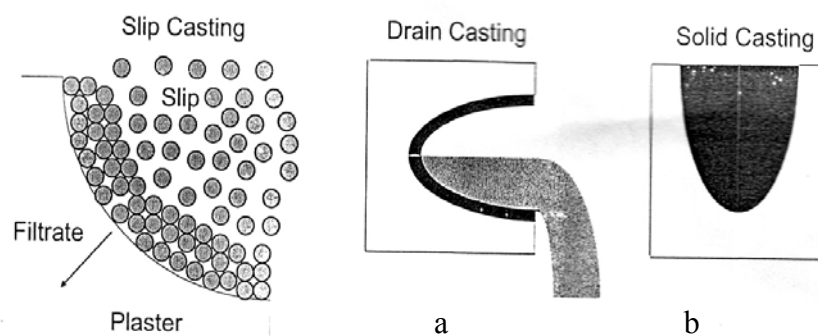
Pembuatan keramik dapat dilakukan dengan proses metalurgi serbuk atau proses *slip casting*. Pada umumnya pembuatan keramik dengan proses metalurgi serbuk atau proses *slip casting* memiliki tujuan yang sama. Kedua proses tersebut bertujuan membuat keramik dengan menyatukan serbuk alumina menjadi suatu padatan kemudian dilakukan proses sinter. Pada proses metalurgi penyatuan serbuk alumina dilakukan dengan menekan serbuk dalam satu cetakan dengan mesin tekan. Perbedaan yang terjadi antara proses metalurgi serbuk dengan proses *slip casting* terjadi pada teknik penyatuan serbuk alumina. Dalam pembuatan keramik, proses *slip casting* lebih sering digunakan daripada proses metalurgi serbuk.

*Slip casting* banyak digunakan dengan pertimbangan biaya operasional yang murah dibandingkan dengan proses lainnya. Disamping itu juga dapat dilakukan untuk pembuatan produk keramik yang kompleks. Proses *slip casting* dapat digunakan dalam industri keramik tradisional hingga industri keramik berskala besar, sehingga proses *slip casting* tidak pernah hilang dalam dunia manufaktur khususnya dalam pembuatan keramik.

*Slip casting* adalah suatu teknik pengecoran yang menggabungkan dua unsur yang berbeda menjadi satu untuk dituangkan dalam cetakan. Proses

pencampuran tersebut akan menghasilkan satu campuran yang disebut dengan *slip*. *Slip* yang terbentuk berasal dari serbuk koloid yang dicampur dengan media suspensi (umumnya air). Air hanya berfungsi sebagai suspensi dalam proses *slip casting*. Dalam proses *slip casting* juga dibutuhkan cetakan untuk membentuk *slip* menjadi produk yang dikehendaki. Cetakan yang digunakan terbuat dari bahan *gypsum*, karena cetakan *gypsum* mampu menyerap larutan suspensi secara kapiler melalui pori-porinya.

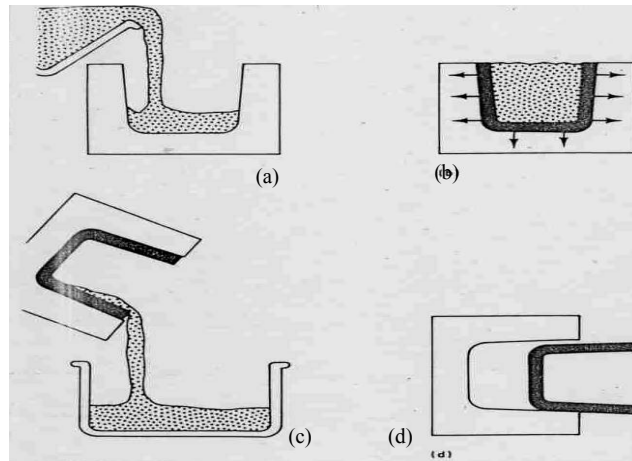
Ada dua variasi proses *slip casting*. Penggunaan variasi *slip casting* bergantung pada keperluan yang dibutuhkan. *Drain casting* (Gambar 2.4 a) merupakan variasi *slip casting* yang paling umum digunakan. *Drain casting* digunakan untuk pembuatan benda dengan ketebalan dan waktu yang terbatas, dengan proses pengeringan berdasarkan pada penyerapan larutan suspensi oleh cetakan. Gambar 2.4 b menunjukkan jenis yang kedua yaitu *solid casting*. *Solid casting* merupakan variasi *slip casting* yang hampir sama dengan *drain casting*. Hal yang membedakan dengan *drain casting* adalah pada penambahan *slip* dapat dilakukan secara kontinu sampai cetakan penuh. Penambahan *slip* secara terus menerus dapat menimbulkan tekanan pada *slip* yang dibawah sehingga membantu proses pengeluran larutan suspensi.



Gambar 2.4. Proses *slip casting* (a) *drain casting* (b) *solid casting*, O. Lyckfeldt dan Ferreira. *Slip Casting*, (Swedish Ceramic Institute, Mei 2003). <http://www.sci.se>

Pada proses *drain casting*, *slip* yang telah selesai dibuat kemudian dituangkan dalam cetakan *gips*. Pada saat *slip* berada dalam cetakan, air sebagai suspensi akan keluar. Air keluar melalui pori-pori *gips* sehingga pada waktu cetakan menyerap air, jumlah *slip* pada cetakan akan mengalami penyusutan. Setelah air keluar maka *slip* yang tertinggal akan menempel pada dinding cetakan. Jumlah *slip* yang diserap cetakan menentukan ketebalan *slip* yang dihasilkan.

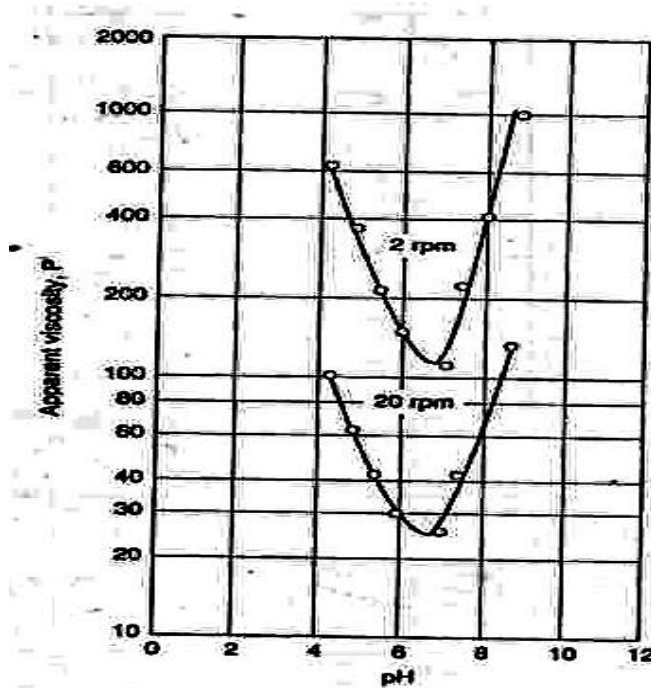
Ketebalan *slip* pada proses *drain casting* yang dibentuk dipengaruhi oleh waktu pembuangan *slip* dari cetakan. Bila *slip* dalam cetakan terlalu cepat dibuang maka ketebalan *slip* akan terlalu tipis sehingga mudah hancur. Apabila *slip* dibuang dari cetakan terlalu lama maka lapisan akan terlalu tebal dan tidak ekonomis. Setelah *slip* dibuang kemudian cetakan dibiarkan mengering. Dalam pengeringan cetakan tidak boleh terlalu lama dan terlalu singkat. Bila pengeringan cetakan dibiarkan terlalu lama maka *slip* akan retak dan jika terlalu singkat maka *slip* akan sulit lepas dari cetakan dan masih lunak. Dalam melepaskan cetakan hanya perlu ditarik secara perlahan-lahan. Bila *slip* memang benar-benar kering maka akan lepas dengan sendirinya dari cetakan. *Slip* yang baru keluar dari cetakan akan berwarna abu- abu tua, dan harus dibiarkan mengering sampai berwarna abu-abu muda sebelum dibakar (*sinter*). Gambar 2.5 proses *slip casting* jenis *drain casting* dari tahap penuangan sampai menjadi hasil produk.



Gambar 2.5. Proses *slip casting* dengan variasi *drain casting* (a) tahap penuangan, (b) tahap penyerapan air oleh *gypsum*, (c) tahap pembuangan slip, (d) proses pengeluaran hasil, C. H. Schilling. Slip Casting, (I. A. Aksay, Department of Materials Science and Engineering; Advanced Materials Technology Center, 1994), figure 5

#### 2.4.1. Kontrol *Slip* Pada Proses *Slip Casting*

Dalam pembentukan *slip* banyak faktor yang harus diperhatikan dan dikontrol selama proses. Faktor yang harus diperhatikan adalah perbandingan air sebagai suspensi dengan serbuk alumina, jenis, dan distribusi partikel serbuk alumina, viskositas dan pH *slip*, serta temperatur *slip*. Faktor-faktor tersebut akan memberikan dampak secara langsung terhadap kestabilan suspensi. Dalam mencegah terjadinya penggumpalan *slip* diperlukan dua hal pengontrolan yang penting, yaitu viskositas dan pH suspensi. Dalam hal ini, pH yang dikehendaki adalah 4,05, sedangkan viskositasnya antara 1000 sampai 1800 cp. Hubungan antara viskositas dengan pH dengan melakukan percobaan menggunakan serbuk *molybdenum* dalam suspensi dengan air 5% dengan penambahan *alkoholpolyvinyl* ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Hubungan pH dengan viskositas pada kesetabilan *slip*, H. A. Haber dan C. A. Paredes. *Slip Casting of Metals*, (*Ceramic Casting Technology Program, Rutgers University*, 2002), figure 8

Dalam menjaga kesetabilan pH zat aditif yang digunakan harus bersifat asam. Zat aditif yang digunakan dapat berupa *ammonium algionate* dan *alkoholpolyvinyl* (Haber dan Paredes, 2002).

#### 2.4.2. Kontrol Cetakan Pada Proses *Slip Casting*

*Slip casting* adalah suatu proses penyerapan air pada *slip* yang dilakukan oleh cetakan, dalam proses tersebut diperlukan cetakan yang mampu menyerap air dengan bagus. Bahan cetakan yang ideal pada proses *slip casting* harus memiliki kriteria antara lain tidak mahal, mudah dibentuk sesuai dengan yang aslinya, menjaga dimensi tetap akurat, dan mampu menyerap air dengan baik.

Bahan cetakan yang cocok dan mampu memenuhi kriteria pada proses *slip casting* adalah *gypsum*. *Gypsum* memiliki kriteria antara lain untuk dibentuk, memiliki kestabilan kimia dan fisik yang tinggi, memiliki kemampuan untuk menyerap air dengan baik, mudah untuk didapat, dan harganya murah (dua puluh tujuh ribu rupiah kemasan 20 kg). *Gypsum* terbuat dari kalsium sulfat

( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Proses pengeringan *gypsum* dibagi menjadi dua bentuk, yaitu *gypsum hemihydrate  $\alpha$*  dan  *$\beta$* . *Gypsum hemihydrate  $\alpha$*  memiliki kekuatan yang tinggi sedangkan *gypsum hemihydrate  $\beta$*  memiliki kemampuan untuk menyerap air dengan baik. Pada umumnya proses *slip casting* memerlukan penyerapan air yang cepat, jadi *gypsum hemihydrate  $\beta$*  lebih cocok untuk digunakan. Tabel 2.3 tentang jenis-jenis *gypsum* dan kriterianya.

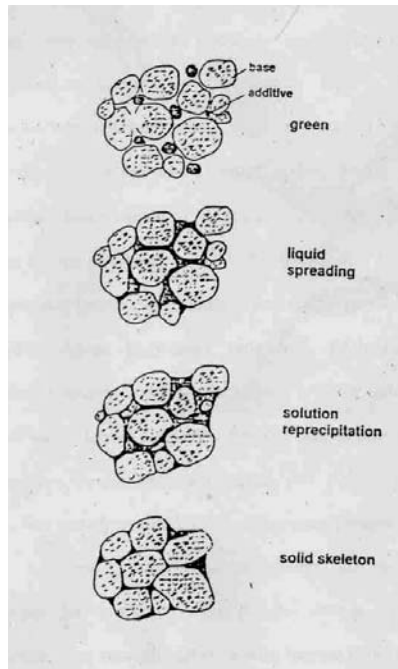
Tabel 2.3. Jenis-Jenis dan Kriteria *Gypsum*

| Material                         | Rumus Kimia                                 | Persiapan                            |
|----------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| Dihydrate                        | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   | Naturally occurring gypsum rock      |
| $\alpha$ -hemihydrate            | $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ | By dehydrating in saturated steam    |
| $\beta$ - hemihydrate            | $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ | By dehydrating in dry atmosphere     |
| $\alpha\beta$ -soluble anhydrate | $\text{CaSO}_4$                             | By dehydrating $\alpha$ -hemihydrate |
| $\beta$ - soluble anhydrate      | $\text{CaSO}_4$                             | By dehydrating $\beta$ -hemihydrate  |
| Insoluble anhydrate              | $\text{CaSO}_4$                             | By high-temperature processing       |

Sumber : H. A. Haber. dan C. A. Paredes. *Paredes, Ceramic Casting Technology Program, Rutgers University, Slip Casting of Metals*, 2002, p.423

## 2.5. Proses Sinter

Ada dua jenis proses *sinter*, yaitu *solid-state sinter* dan *liquid-phase sinter*. Dimana pada *solid-state sinter* terjadi pada temperatur dibawah temperatur cair sehingga transportasi atom terjadi dalam keadaan padat yang akan mengubah ikatan mekanis (*mechanical bonds*) pada hasil *slip* menjadi ikatan logam (*metallurgical bonds*). Sedangkan pada *liquid-phase sinter*, pembentukan terjadi pada fase *liquid* karena salah satu fase dalam *mixed powders* adalah fase yang memiliki temperatur cair rendah. Proses menjadi cepat karena cepatnya proses difusi dimana *liquid* yang terbentuk membasahi partikel. Selanjutnya fase *solid* larut ke dalam *liquid* dan lama kelamaan *liquid* menjadi jenuh. Dalam proses *sinter*, *liquid* yang terbentuk akan mengalir diantara partikel. Gambar 2.7 menunjukkan Jalur konseptual terhadap *sinter* fase *liquid* menggunakan campuran dua serbuk.



Gambar 2.7. Jalur konseptual terhadap *sinter* fase *liquid* menggunakan campuran dua serbuk, R. M. German. *Powder Metallurgy Science*, 2<sup>nd</sup> ed (Metal Powder Industries Federation, 1994), p. 275

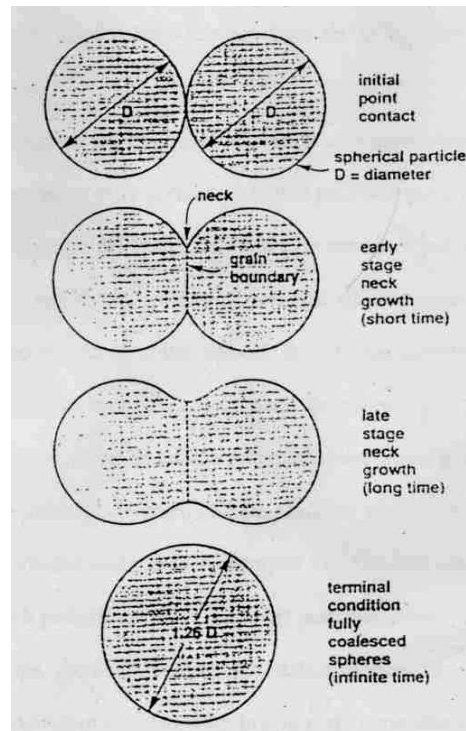
#### 2.5.1. Teori *Sinter*

*Sinter* adalah proses pemanasan kompak mentah (bakalan) sampai pada suhu tinggi dimana temperatur pemanasannya dibawah temperatur cair unsur utama.

Proses *sinter* dilakukan setelah serbuk menjadi benda padat. Proses *sinter* menyebabkan bersatunya partikel-partikel, sehingga akan menyebabkan kepadatan bertambah. Selama proses ini akan terbentuk batas-batas butir yang merupakan tahap permulaan rekristalisasi. Untuk proses *sinter* kompak umumnya digunakan dapur komersil. Suhu *sinter* untuk serbuk alumina adalah 1600°C dan lamanya waktu sinter dua jam (Lyckfeldt dan Ferreira, 1997). Lingkungan sangat berpengaruh karena benda mentah terdiri dari partikel yang kecil dan memiliki daerah permukaan yang luas. Oleh karena itu, dalam melakukan *sinter* benda mentah tersebut harus dijaga dari agar tidak terkontaminasi dengan lingkungan sekitar. Selama proses *sinter* terjadi perubahan dimensi baik berupa pemuaian

maupun penyusutan, bergantung pada bentuk dan distribusi ukuran partikel, komposisi serbuk dan prosedur *sinter*.

Gambar 2.8 menunjukkan proses *sinter* yang terjadi antara dua partikel yang terlibat selama proses *sinter*.



Gambar 2.8 Proses *sinter* yang terjadi antara dua partikel yang terlibat selama proses *sinter*, dimulai dari terjadinya titik kontak dilanjutkan dengan terbentuknya leher sampai menjadi satu partikel besar, R. M. German. *Powder Metallurgy Science*, 2<sup>nd</sup> ed (Metal Powder Industries Federation, 1994), p. 245

## 2.6. Keramik Berpori (Keramik Porous)

Dalam pembuatan keramik berpori dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode. Metode yang sering digunakan dalam menghasilkan pori-pori adalah menggunakan media *sponge* (metode *polymeric sponge*) atau dengan penambahan media tepung yang pernah dilakukan oleh peneliti dari Swedis Ceramic Institutte (Lyckfeldt dan Ferreira, 1997). Dalam penggunaan kedua media tersebut terdapat perbedaan dalam prosedur pembuatan keramik berpori.

Dengan metode *polymeric sponge*, tahap awal yang dilakukan adalah membuat *slip* dari serbuk alumina. Setelah *slip* terbentuk, kemudian menyiapkan media *sponge* dengan ukuran yang sesuai dengan kebutuhan. *Slip* yang telah siap dipenetrasi masuk ke dalam *sponge*. Setelah *slip* mengisi melalui pori-pori *sponge* kemudian ditunggu hingga kering. *Sponge* yang kering dilakukan proses pemanasan (pembakaran). Pada proses pemanasan, *sponge* akan terbakar dan meninggalkan pori-pori sesuai dengan karakteristik pori-pori media *sponge* yang digunakan. Pada metode ini media *sponge* menentukan bentuk dan jumlah distribusi pori-pori keramik yang dihasilkan.

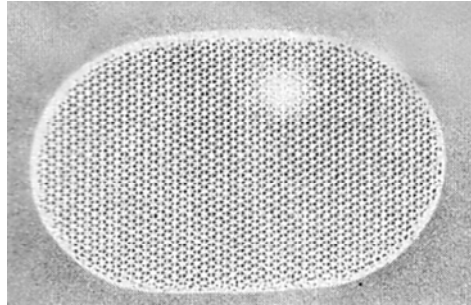
Pembuatan keramik berpori dengan media tepung (*starch*) merupakan metode yang banyak digunakan dalam menghasilkan keramik berpori. Pori-pori pada keramik dihasilkan karena penambahan *starch* dalam *slip*. *Starch* yang digunakan dapat berupa tepung jagung, tepung kentang, tepung beras, dan tepung tapioka (*cassava*) seperti yang pernah dilakukan oleh peneliti dari Swedish Ceramic Institute, yaitu Lindqvist dan Liden.

Proses pencampuran zat aditif sebagai *dispersive agent* digunakan agar *starch* dapat bercampur dengan serbuk alumina, disamping itu juga digunakan agar menjaga kestabilan alumina. Setelah penambahan *starch* pada *slip*, dilakukan proses penuangan ke dalam cetakan yang sudah disiapkan. Seperti pada metode yang lain proses pembentukan keramik berpori harus dilakukan pemanasan. Pada proses *sinter* sekitar temperatur yang tinggi 1000°C, *starch* tersebut akan terbakar dan meninggalkan pori-pori. Jadi pada metode *starch* (tepung jagung, tepung kentang, tepung beras, dan tepung tapioka) yang digunakan akan menghasilkan porositas pada keramik. Porositas yang terbentuk bergantung pada distribusi ukuran tepung yang digunakan.

#### 2.6.1. Aplikasi Keramik Berpori

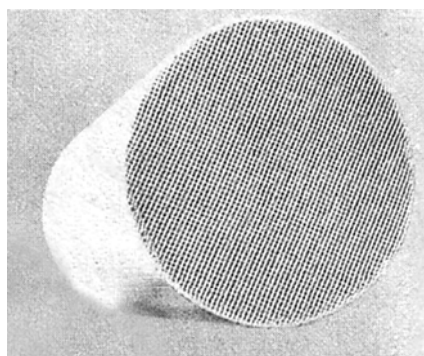
Pembuatan keramik berpori dapat dimanfaatkan sebagai *filter* dalam penuangan logam cair, sebagai katalisator yang ditempatkan dalam sistem gas buang kendaraan bermotor, dan *membran* (Van Vlack, 1985). Penggunaan keramik alumina berpori sebagai filter penuangan logam cair, karena titik lebur keramik sangat tinggi (2040°C), tidak mudah berdeformasi pada suhu yang tinggi,

dan tidak mudah terjadi kontaminasi dengan unsur lainnya. Gambar 2.9 menunjukkan pemanfaatan keramik berpori untuk filter logam cair.



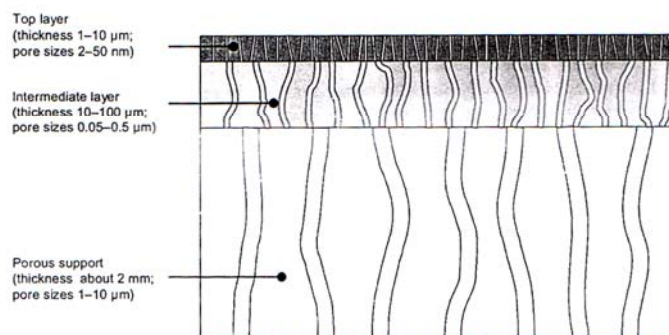
Gambar 2.9. Filter logam cair dari keramik berpori, Lawrence H, Van Vlack. Trans. Sriati Djaprie. *Ilmu dan Teknologi Bahan*, ed. Ke 5 (1985), p. 306

Keramik berpori dapat dimanfaatkan juga dalam dunia otomotif sebagai katalisator gas buang pada kendaraan bermotor. Katalisator yang berbentuk seperti sarang lebah ini mampu mengikat hidrokarbon sisa proses pembakaran. Keramik berpori dipilih sebagai katalisator dalam saluran gas buang kendaraan bermotor karena tahan terhadap suhu tinggi, mampu menahan getaran selama pemakaian, dan yang utama mampu mengikat hidrokarbon. Katalisator keramik berpori ditunjukkan oleh gambar 2.10.



Gambar 2.10. Katalisator dari keramik berpori, Lawrence H, Van Vlack. Trans. Sriati Djaprie. *Ilmu dan Teknologi Bahan*, ed. Ke 5 (1985), p. 306

Pemanfaatan keramik berpori untuk digunakan sebagai membran dan hasilnya memiliki pembagian susunan celah pori-pori dalam satu produk. Pembagian susunan membran terdiri dari membran bagian atas (ketebalan 1-10  $\mu\text{m}$ ) dengan ukuran pori sebesar 2-50 nm. Pada bagian tengah (ketebalan 10-100  $\mu\text{m}$ ) memiliki pori-pori berukuran 0,05-0,5  $\mu\text{m}$ , sedangkan pada bagian dasar (ketebalan 2 mm) memiliki pori-pori berukuran 1-10  $\mu\text{m}$ . Gambar 2.11 menunjukkan susunan sebuah membran.



Gambar 2.11. Susunan membran dari keramik berpori, Karin Lindqvist dan Eva liden. Porous Ceramics. *Swedish Ceramic Institute* (2000)

Membran memiliki bermacam macam jenis dan aplikasinya antara lain membran filter, *monolithic filter*, dan *fine bubble diffuser*. *Membrane filter* dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi antara lain *catalyst recovery*, filter untuk larutan korosif, dan filter gas panas. Membran filter ditunjukkan oleh gambar 2.12.



Gambar 2.12. *Membrane filter*, Porous Ceramics, (Advanced Porous Ceramics, 2003). <http://www.refraction.com/display/default.aspx?CategoryID=22>

*Monolithic filter* dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi antara yang sama dengan membran filter tetapi memiliki bentuk yang berbeda. Gambar 2.13 menunjukkan *monolithic filter*.



Gambar 2.13. *Monolithic filter, Porous Ceramics*, (Advanced Porous Ceramics, 2003). <http://www.refraction.com/display/default.aspx?CategoryID=22>

*Fine bubble diffuser* (gambar 2.14) banyak dijumpai dalam penggunaan diffuser spesial gas untuk elektronik. *Fine bubble diffuser* dapat menghasilkan gelembung udara dengan jumlah yang sangat banyak. Pori-pori yang dimiliki pada *fine bubble diffuser* sangat halus dibandingkan dengan jenis lainnya.



Gambar 2.14. *Fine bubble diffuser, Porous Ceramics*, (Advanced Porous Ceramics, 2003). <http://www.refraction.com/display/default.aspx?CategoryID=22>