

# DENSITAS DAN KEKUATAN *BENDING* PADA MATERIAL KOMPOSIT *FLY ASH*-MGO

---

Rahmat Doni Widodo, Rusiyanto

Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, Email: [rahmat\\_doni@yahoo.com](mailto:rahmat_doni@yahoo.com)

## ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu *sinter* terhadap densitas komposit keramik *fly ash*/MgO, mendapatkan suhu *sinter* terbaik pada komposit keramik *fly ash*/MgO, mengetahui pengaruh penambahan komposisi MgO sebesar 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % berat terhadap kekuatan *bending* pada komposit keramik *fly ash*/MgO. Penelitian ini menggunakan bahan dasar *fly ash* dan MgO (teknis) dengan variasi penambahan MgO sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% berat. Pencetakan dilakukan dengan beban kompaksi sebesar 3000 kgf atau sama dengan tekanan kompaksi 166,42 MPa untuk spesimen silinder ( $d = 15$  mm dan  $t = 8$  mm) dan 58,84 MPa untuk spesimen balok ( $B = 10$ mm,  $W = 8$  mm, dan  $L = 50$ mm). Dilanjutkan proses *sintering* pada suhu 1100, 1150 dan 1200 °C yang kemudian diambil suhu *sinter* terbaik. Pengujian meliputi uji komposisi *fly ash* dan MgO, uji densitas dengan metode *Archimedes*, dan uji kekuatan *bending* dengan *four point bending test*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa densitas komposit keramik *fly ash*/MgO meningkat pada suhu *sinter* 1100-1150 °C dan turun kembali pada suhu *sinter* 1150-1200 °C. Suhu *sinter* optimum komposit keramik *fly ash*/MgO adalah 1150 °C. Kekuatan komposit keramik *fly ash*/MgO paling tinggi yaitu pada komposisi 95% *fly ash* dan 5% MgO sebesar 29,58 Mpa.

**Kata kunci :** *fly ash*, MgO, densitas, dan kekuatan *bending*.

## PENDAHULUAN

Batu bara merupakan bahan bakar padat yang banyak digunakan pada industri-industri *power plant* dan berbagai industri lainnya. Batu bara tersebut di dalam proses pembakarannya akan menghasilkan abu layang (*fly ash*). Menurut penelitian yang dilakukan Budhyantoro (2005) disebutkan bahwa saat ini jumlah limbah abu layang batu bara di dunia yang dihasilkan di PLTU sangatlah besar, termasuk di Indonesia. Untuk PLTU Paiton dan Suralaya pada tahun 1996 menghasilkan limbah ini sebesar hampir 1 juta ton per tahun.

Abu layang mengandung oksida-oksida logam termasuk logam-logam berat dalam jumlah kecil. Oksida utama dari abu layang batu bara adalah silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Apabila *fly ash* tersebut dibiarkan terbang di udara, maka akan menyebabkan pencemaran udara. Namun pada saat ini banyak industri *power plant* dan industri lainnya yang telah mengantisipasinya dengan menyaring *fly ash* tersebut pada cerobong asap dapur

pembakaran batu bara. Akan tetapi *fly ash* yang telah disaring, sebagian besar hanya dibuang begitu saja tanpa pemanfaatan lebih lanjut. *Fly ash* merupakan material yang terdiri dari paduan unsur yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran seperti semen, batu bata bangunan, aspal serta keramik.

Keramik adalah bahan padat organik bukan logam, yang pada saat ini telah dikembangkan dalam bidang bahan teknik. Secara umum keramik memiliki sifat keras, tahan aus dan stabil pada temperatur tinggi. Namun keramik juga memiliki kelemahan yang bersifat getas dan ketangguhan retaknya rendah (Surdia dan Saito, 1992). Untuk menanggulangi kelemahan tersebut, maka dibuat suatu bahan komposit keramik dengan menambahkan material lainnya yang dimaksudkan agar dihasilkan suatu material baru yang memiliki sifat lebih baik.

Dalam penelitian ini diharapkan agar material *fly ash* yang banyak terbuang sebagai limbah, dapat dimanfaatkan lagi sebagai bahan utama keramik. Supaya material keramik dari bahan *fly ash* dapat memiliki sifat fisik dan mekanik yang lebih baik, maka ditambahkan MgO sebesar 3-20% dari berat bahan keramik tersebut (Kingery dkk, 1976). Dalam hal ini penambahan komposisi MgO dimaksudkan untuk memperoleh sifat densitas, dan kekuatan *bending* yang lebih baik dari bahan utama *fly ash*. Keramik dengan bahan dasar *fly ash* dan MgO ini diharapkan dapat diaplikasikan pada pembuatan *furnace lining*, *crucible* dan bahan isolator listrik.

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk memberikan solusi terhadap melimpahnya limbah *fly ash* yang masih kurang pemanfaatannya. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data dan informasi tentang pengaruh penambahan MgO sebesar 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % berat terhadap densitas, dan kekuatan *bending* material komposit keramik *fly ash*, sehingga dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk pengembangan industri komposit keramik.

Bahan keramik adalah bahan padat organik yang bukan logam dan mempunyai karakteristik yaitu merupakan senyawa logam dan bukan logam. Senyawa ini memiliki ikatan ionik dan atau ikatan kovalen sehingga sifatnya berbeda dengan logam (Van Vlack, 1985). Ikatan ion disebabkan oleh gaya tarik-menarik elektrostatis yang terjadi antara ion positif dan ion negatif sebagai akibat dari hilangnya atau bertambahnya elektron dalam atom. Ikatan ini menyebabkan bahan keramik mempunyai stabilitas yang cukup tinggi. Sedangkan ikatan kovalen adalah ikatan atom yang menggunakan elektron bersama. Ikatan kovalen ini bersifat sangat kuat sehingga kristal bersifat keras dan mempunyai titik cair yang tinggi (Surdia dan Saito, 1992).

Pada umumnya keramik mempunyai sifat-sifat yang baik yaitu: keras, kuat, dan stabil pada suhu yang tinggi, tetapi keramik bersifat getas dan mudah patah seperti halnya pada porselen, keramik Cina ataupun gelas. Keramik juga memiliki sifat yang lain yaitu temperatur leleh tinggi,

tahan terhadap korosi, dan merupakan tahanan panas yang baik, serta dapat digunakan sebagai isolator terhadap arus listrik.

Secara umum, keramik digolongkan dalam dua kelompok penggunaan, yaitu keramik tradisional dan keramik modern. Keramik modern menggunakan bahan-bahan dasar berupa senyawa, antara lain: oksida keramik, nitride, karbida, dan borida. Bahan-bahan keramik modern yang umum digunakan antara lain alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), silikon karbida ( $\text{SiC}$ ), zirkonia ( $\text{ZrO}_2$ ), dan silikon nitride ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ). Penggunaan dari keramik modern antara lain terdapat pada komponen elektronika, komponen otomotif dan industri permesinan.

Pada saat ini pengembangan keramik modern banyak diarahkan pada pembuatan komposit matrik keramik (*Ceramics Matrix Composites*), salah satu contohnya adalah *fly ash* sebagai matrik dipadukan dengan unsur lain seperti MgO untuk mendapatkan suatu produk yang memiliki karakteristik lebih baik. Dengan paduan tersebut maka *fly ash* yang memiliki kandungan utama  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ditambahkan MgO akan dapat membentuk komposit keramik dengan sistem MgO- $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$ . Kekuatan mekaniknya yang tinggi ini ditimbulkan karena munculnya kristal  $\beta$ -*cordierite* ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ) pada saat kristalisasi material (Strnad, 1986).

*Fly ash* adalah abu ringan hasil pembakaran batu bara yang dipisahkan dari gas yang keluar pada batu bara yang terbakar di pembangkit listrik menggunakan *electrostatic* atau *mechanical precipitators*. Selama pembakaran batu bara di ruang pembakaran, kandungan airnya menguap dan sebagian besar karbonnya terbakar. Kandungan batubara seperti tanah liat, *quartz*, dan *feldspar* terurai menjadi bentuk yang berbeda. Kerak dan karbon yang tidak terbakar terkumpul menjadi *bottom ash*, *fly ash* atau *economizer ash*. *Flue Gas Desulphurization* (FGD) yang berupa serbuk batu kapur digunakan untuk menangkap Sox dari gas keluaran. Berikut adalah skema diagram alir terbentuknya *fly ash*, *bottom ash*, *boiler slag* dan *economizer ash* (Gikunoo, 2004).

Menurut Benavidez dkk (2003) menyatakan bahwa hasil pembakaran batu bara yang berupa abu dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yakni *fly ash* (FA) dan *bottom ash* (BA) dengan perbandingan jumlah 80% adalah *fly ash* sedangkan 20% adalah *bottom ash*.

## METODE

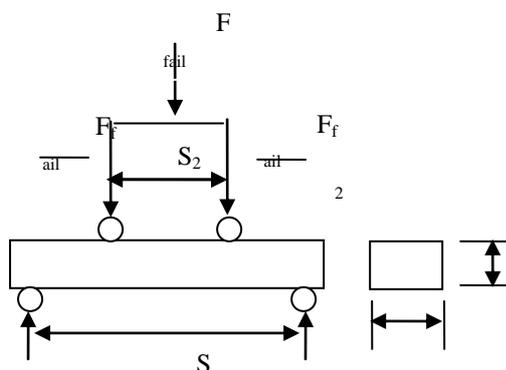
Penelitian ini bahan yang digunakan untuk pembuatan spesimen terdiri dari: *Fly ash* sebagai matrik atau bahan dasar gelas keramik yang diperoleh dari PT. Pura Barutama Kudus dan serbuk MgO (teknis) diperoleh dari Brataco Chemika. Kalsinasi atau pemanasan awal terhadap *fly ash* sampai suhu  $900\text{ }^\circ\text{C}$  di dalam tungku pemanas (*furnace*) selama 3 jam agar semua komponen-komponen yang menguap di bawah  $900\text{ }^\circ\text{C}$  dapat hilang. Menghaluskan butiran *fly ash* dengan menggunakan *blender*. Penyaringan terhadap *fly ash* dengan ayakan 100 mesh, sehingga

diperoleh ukuran butiran yang homogen. Menimbang material *fly ash* dan serbuk MgO dengan perbandingan komposisi: *Fly ash* 100%, Campuran *fly ash* 95% dan MgO 5% ,Campuran *fly ash* 90% dan MgO 10%, Campuran *fly ash* 85% dan MgO 15%, Campuran *fly ash* 80% dan MgO 20% dalam perosentase berat. Mencampur kedua material dengan penambahan alkohol 400 ml tiap 400 g (*fly ash* + MgO) pada tiap item, kemudian dimixing selama 5 jam dengan bola kelereng. Dikeringkan di udara terbuka sampai kering kemudian dimixing kembali selama 3 jam. Serbuk campuran (*fly ash* + MgO) ditimbang berdasarkan kebutuhan tiap spesimen, dan ditambahkan tetes tebu sebanyak 20% dari berat campuran serbuk untuk memperoleh *wet powder* kemudian dimasukkan ke dalam cetakan. Pada proses ini dilakukan *compaction (pressing)* dengan *uniaxial pressing single action* pada produk untuk mendapatkan ikatan awal antar partikel walaupun masih lemah (*green body*). Pencetakan ini dilakukan dengan pencetakan basah dengan beban kompaksi 3000 Kgf atau sama dengan tekanan kompaksi 166,42 MPa untuk spesimen silinder dan 58,84 MPa untuk spesimen balok. Ukuran spesimen silindris dia.15 mm, tebal 8 mm, dan spesimen balok 10 x 8 x 50 mm. Kemudian disinter dengan variasi temperatur sinter 1100, 1150, dan 1200° C. Setelah itu dilakukan uji densitas. Densitas komposit ditentukan berdasarkan pada teori *Archimedes* (Barsoum, 1997).

$$\rho_{bulk} = \frac{W_{udara}}{W_{udara} - W_{fluida}} \quad (1)$$

Dimana:

- $\rho_{bulk}$  = densitas *actual* (g/cm<sup>3</sup>)
- $W_{udara}$  = berat spesimen di udara (g)
- $\rho_{fluida}$  = berat jenis fluida (g/cm<sup>3</sup>)
- $W_{fluida}$  = berat spesimen di dalam fluida (g)



**Gambar 1.1** pengujian *four point bending*

Dari uji densitas didapatkan temperatur sinter terbaik, untuk kemudian spesimen balok disinter dengan temperatur sinter terbaik tersebut. Setelah disinter, spesimen balok dilakukan uji

bending. Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui *flextural strength* atau *modulus of rapture* dengan menggunakan metode *four point bending*.

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *four point bending* yang mengacu standard JIS R 1601 (Somiya, 1989), dengan persamaan sebagai berikut:

$$M = \frac{(S_1 - S_2) \cdot F_{fail}}{2 \cdot 2} \quad (2)$$

$$I = \frac{B \cdot W^3}{12} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (4)$$

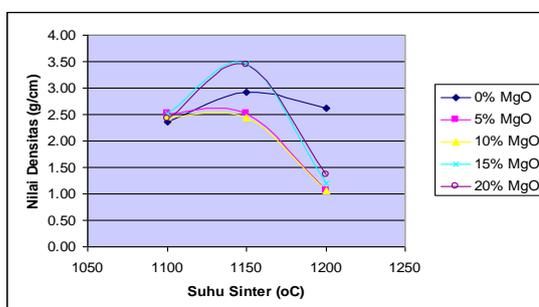
$$\sigma = \frac{3(S_1 - S_2) \cdot F_{fail}}{2 \cdot B \cdot W^2} \quad (5)$$

Dimana :

- $\sigma$  = kekuatan *bending* (MPa)
- $F_{fail}$  = gaya tekan (N)
- $S_1$  = jarak antara kedua tumpuan (mm)
- $S_2$  = jarak antara kedua gaya (mm)
- $B$  = lebar spesimen (mm)
- $W$  = tinggi spesimen (mm)
- $y$  =  $\frac{W}{2}$  (mm)
- $M$  = momen (N.mm)
- $I$  = momen inersia (mm<sup>4</sup>)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

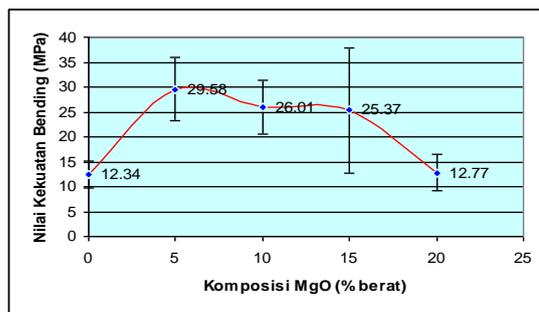
Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan teori Archimedes pada spesimen silinder dengan temperatur *sinter* 1100, 1150 dan 1200 °C persamaan (1) yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar. 2.



**Gambar 2. Pengaruh suhu *sinter* terhadap densitas**

Dari Gambar .2 pada suhu *sinter* 1150 °C, dengan penambahan komposisi 20% MgO nilai densitasnya adalah yang paling tinggi hal ini dikarenakan MgO memiliki nilai densitas tinggi yaitu 3,58 gram/cm<sup>3</sup>.

Pengujian kekuatan *bending* dilakukan dengan metode *four point bending* pada spesimen balok dengan suhu *sinter* terbaik (1150 °C). Hasil pengujian kekuatan *bending* ditampilkan pada Gambar .3.



**Gambar 3. Pengaruh penambahan MgO terhadap nilai kekuatan *bending*.**

Dari Gambar .3 dengan penambahan komposisi 5% berat MgO nilai kekuatan *bending* rata-rata mengalami kenaikan yang signifikan sebesar 29,55 Mpa terhadap nilai kekuatan bending pada komposisi material komposit 0% berat MgO (12,34 MPa).

## Pembahasan

Densitas meningkat pada suhu *sinter* 1100-1150 °C kemudian menurun pada suhu *sinter* 1150-1200 °C seperti yang ditampilkan pada Gambar.2. Rendahnya nilai densitas pada suhu *sinter* 1100 °C dikarenakan silika sebagai komponen utama dalam komposit keramik *fly ash*/MgO belum seluruhnya mengalami fase ke gelas dan mengikat unsur-unsur lain yang terkandung dalam badan keramik. Meningkatnya nilai densitas pada suhu *sinter* 1150 °C dikarenakan pada suhu tersebut silika telah mengalami fase ke gelas dan mengikat unsur-unsur lain yang terkandung dalam badan keramik serta terjadi ikatan antar partikel secara difusi.

Berdasarkan unsur-unsur yang terkandung dalam komposit keramik *fly ash*/MgO, pada suhu *sinter* 1150°C dapat terjadi pemisahan fasa-fasa kristal lain seperti *spinel* (MgO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), *sapphirine* (4MgO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>), *enstatite* (MgO.SiO<sub>2</sub>), atau *mullite* (3SiO<sub>2</sub>.2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Pada proses pemisahan fasa-fasa kristal ini gelas keramik sistem MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> dapat terbentuk dan memiliki densitas yang tinggi (Strnad, 1986).

Penurunan nilai densitas pada suhu *sinter* 1200 °C dikarenakan adanya unsur-unsur di dalam material penyusun komposit keramik yang mengalami penguapan dan berubah menjadi gas yang mengakibatkan terbentuknya pori-pori di dalam komposit keramik tersebut.

Kekuatan bending pada komposit keramik tersebut dipengaruhi oleh komposisi yang terkandung di dalam material penyusunnya. Pada spesimen dengan penambahan komposisi 5% MgO nilai kekuatannya paling tinggi yaitu 29,58 MPa, hal ini disebabkan oleh pembentukan fase kristal  $\beta$ -cordierite ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ) pada komposisi tersebut (Strnad, 1986). Namun pada spesimen dengan penambahan komposisi 10-20% nilai kekuatannya menurun, hal ini dikarenakan silika yang berfungsi sebagai fase ke gelas badan komposit keramik menjadi berkurang. Fase ke gelas ini memberikan sifat sbagai perekat dan mengikat unsur-unsur lain pada badan keramik yang berpengaruh untuk meningkatkan kekuatan dari komposit keramik *fly ash*/MgO. Selain itu alumina yang sangat berpengaruh untuk meningkatkan kekuatan komposit keramik juga berkurang.

## **SIMPULAN DAN SARAN**

### **Simpulan**

Dari hasil penelitian dapat diambil beberapa simpulan antara lain: Densitas komposit keramik *fly ash*/MgO meningkat pada suhu sinter 1100-1150 °C dan turun kembali pada suhu *sinter* 1150-1200 °C, dan suhu *sinter* optimum yang dapat dicapai pada komposit keramik *fly ash*/MgO adalah 1150 °C, ini dikarenakan pada suhu tersebut silika telah mengalami fase ke gelas dan mengikat unsur-unsur lain yang terkandung dalam badan keramik serta terjadi ikatan antar partikel secara difusi dan porositas menurun.

Kekuatan komposit keramik *fly ash*/MgO meningkat pada penambahan komposisi 0%-5% MgO dan turun kembali pada penambahan komposisi 10%-20% MgO. Kekuatan komposit keramik *fly ash*/MgO paling tinggi yaitu pada komposisi 95% *fly ash* dan 5% MgO sebesar 29,58 Mpa, ini disebabkan oleh pembentukan fase kristal  $\beta$ -cordierite ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ) pada komposisi tersebut.

### **Saran**

Penelitian ini akan lebih baik lagi bila pada:

Penelitian komposit keramik *fly ash*-MgO yang berikutnya perlu diadakan pengujian sifat mekanik yang lain seperti kekeraan, *thermal shock resistance* dan uji keausan serta pengamatan terhadap fasa yang terjadi di dalam badan keramik dengan XRD, dan SEM.

Berdasarkan data dari hasil pengujian karakteristik komposit keramik, dapat dilakukan penelitian lagi untuk aplikasi produk jadi.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Barsoum, M. 1997. *Fundamentals of Ceramic*. New York: Mc Graw-Hill Companies.

Kingery W. D, H. K. Bowen. 1976. *Introduction to Ceramics*. 2<sup>nd</sup> Edition. New York: John Willey and Son.

Strnad, Zdenek. 1986. *Glass-Ceramic Materials*. New York: Elsevier.

Somiya, S. 1989. *Advanced Technical Ceramics*. Tokyo: Acedemic Press Inc.

Surdia Tata, Saito Shinroku. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Edisi kelima. Jakarta: PT Pradnya Paramitha.

Van Vlack dan Sرياتie, D. 1992. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Edisi kelima, Jakarta: Erlangga.