

# PENGARUH TEKANAN KOMPAKSI DAN SUHU SINTERING TERHADAP KEKUATAN *BENDING* DAN KETANGGUHAN RETAK *GLASS CERAMICS* DARI *FLY ASH*

Nurzal

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, ITP

## **Abstract**

*This research aims to investigate the effect of compacting pressure and sintering temperature on bending strength and fracture toughness of fly ash glass-ceramics. The fly ash is obtained from waste material produced from coal burning thermal power plant in Suralaya. The growing production of fly ash has long caused negative environmental impact, so that one of the solutions to overcome that negative impact is utilizing fly ash to produce glass-ceramics. Specimens were made by mixing 70 wt.% fly ash and 30 wt.% aluminum silicate. Green compacts were produced in the forms rectangular bar (length,  $L = 50$  mm, width,  $B = 7$  mm, thickness,  $W = 8$  mm) and rectangular bar (length,  $L = 50$  mm, width,  $B = 7$  mm, thickness,  $W = 8$  mm) with a V-notch (SENB). Those green compacts were prepared by using uni-axial pressing with various pressures of 100, 110 and 120 MPa. The green compacts were then sintered at 1050, 1100 and 1150 °C with a heating rate of 5 °C/min. The results show that the optimal condition of physical and mechanical properties occurs on specimens with compacting pressure of 120 MPa and sintering temperature of 1100 °C, bending strength of 36.98 MPa and fracture toughness of  $1.06 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$ . The increase of fracture toughness occurs with the mechanism of crack deflection.*

**Key words:** fly ash, aluminum silicate, glass-ceramics, sintering, mechanical properties.

## **1. PENDAHULUAN**

*Fly ash* dihasilkan dari sisa pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap. Produksi *fly ash* menyebabkan polusi lingkungan berupa pencemaran udara dan air tanah, karena pemanfaatannya baru sedikit yaitu kurang lebih 20 sampai 30 %. Oleh karena itu perlu dicari suatu solusi untuk mengatasi masalah tersebut dengan cara memanfaatkan *fly ash* sebagai *raw material* untuk membentuk matrik *glass* pada fabrikasi material komposit.

Dalam pengembangan di bidang teknik *glass ceramics* dari *fly ash* mempunyai prospek yang sangat cerah karena mempunyai sifat *superior* diantaranya: kekerasan, kekuatan yang tinggi, *thermal shock resistance* dan mampu kerja yang baik sehingga dapat diaplikasikan pada bidang konstruksi, mekanik dan industri kimia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan kompaksi dan suhu *sintering* terhadap kekuatan *bending* dan ketangguhan retak *glass-ceramics* dari *fly ash*.

Park dan Heo (2002) meneliti tentang konversi *glass* ke *glass-ceramics* dari MSWA (*municipal solid waste ash*) dengan komposisi 75 wt% *fly ash*, 20 wt%  $\text{SiO}_2$ , 5 wt%  $\text{MgO}$  dan 2 wt%  $\text{TiO}_2$  (*nucleat agents*). Hasil penelitian menghasilkan peningkatan *fracture toughness* dari 0,92 menjadi 1,86  $\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$ , kekuatan *bending* dari 78 MPa menjadi 127 MPa.

Cheng, dkk (2002) melakukan penelitian tentang *glass-ceramics* dari *fly ash*. Proses *sintering* dilakukan pada suhu yang bervariasi (850, 900, 950, 1000 dan 1050 °C). Hasil pengujian XRD menunjukkan fase *crystalline* dan senyawa mayoritas yang terkandung pada *glass-ceramics* adalah *gehlenite* ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ). Kekuatan *bending* meningkat pada suhu *sinter* 850 - 900 °C dari 19,96 menjadi 22,57 MPa.

Park, dkk (2003) dalam penelitiannya tentang fase *crystalline* pada *glass-ceramics* dengan komposisi 90 % berat *fly ash* dan 10 % berat  $\text{CaO}$ , menghasilkan kekuatan *bending* juga

meningkat dari 70 MPa pada glass menjadi 92 MPa pada *glass-ceramics*.

Cheng dan Chen (2004) meneliti karakterisasi *glass-ceramics* dari *fly ash* Proses *sintering* dilakukan pada 850, 900, 1000 dan 1050 °C selama 2 jam. Hasil pengujian XRD menunjukkan fase *crystalline* dan senyawa mayoritas yang terkandung pada *glass-ceramics* adalah *gehlenite* ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ).

Spesimen yang di-*sinter* pada suhu 850-1000 °C porositasnya meningkat dari  $\pm 28$  menjadi 48 % sehingga menyebabkan densitasnya turun dari  $\pm 1,75$  menjadi  $1,42 \text{ gr/cm}^3$  dan pada suhu diatas 1000 °C, porositas menurun secara tajam, menyebabkan densitas naik menjadi  $\pm 1,70 \text{ gr/cm}^3$ . Kekuatan *bending* meningkat pada suhu *sinter* 850-950 °C dari 11 menjadi 17 MPa.

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1 Bahan Penelitian

*Fly ash* digunakan sebagai matrik diperoleh dari PLTU Suralaya, berwarna abu-abu, berbentuk serbuk dengan ukuran partikel 74 - 53  $\mu\text{m}$ .

Aluminium silikat sebagai penguat diperoleh dari Multi Kimia Raya Nusantara Semarang, berbentuk serbuk berwarna putih dengan ukuran partikel kecil dari 53  $\mu\text{m}$ .

### 2.2 Cara Penelitian

*Fly ash* ditimbang dengan komposisi 70 % berat dan 30 % berat aluminium silikat. kemudian di-*mixing* selama 5 jam. Spesimen dicetak dengan *uniaxial pressing* dalam bentuk balok dengan tekanan yang bervariasi 100, 110 dan 120 MPa. Spesimen di-*sinter* pada suhu 1050, 1100 dan 1150 °C. Setelah itu dilakukan pengujian kekuatan *bending* dan ketangguhan retak.

### 2.3 Pengujian Spesimen

Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui *flexural strength* material dengan Metode *four point bending* dan menggunakan standar pengujian JIS R

1601. Hasil pengujian dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$M = \frac{1}{2}(S_1 - S_2) \frac{F_{\text{fail}}}{2} \dots\dots\dots(1)$$

$$I = \frac{1}{12}BW^3 \dots\dots\dots(2)$$

$$\sigma_{\text{MOR}} = \frac{My}{I} = \frac{3(S_1 - S_2)F_{\text{fail}}}{2BW^2} \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

- $F_{\text{fail}}$  = beban pada saat spesimen patah (N)
- $S_1$  = jarak *roller* bawah (mm)
- $S_2$  = jarak *roller* atas (mm)
- $y$  =  $W/2$  (mm)
- $B$  = lebar spesimen (mm)
- $W$  = tinggi spesimen (mm)
- $M$  = momen (N.mm)
- $I$  = momen inersia ( $\text{mm}^4$ )
- $\sigma_{\text{MOR}}$  = *modulus of rupture* (MPa)

Pengujian ketangguhan retak dilakukan dengan membebani benda uji sampai patah (*failure*). Besarnya ketangguhan retak ( $K_{\text{IC}}$ ) dihitung dengan persamaan (Barsoum, 1997):

$$K_{\text{IC}} = \frac{3\sqrt{c}(S_1 - S_2)\xi F_{\text{fail}}}{2BW^2} \dots\dots\dots(4)$$

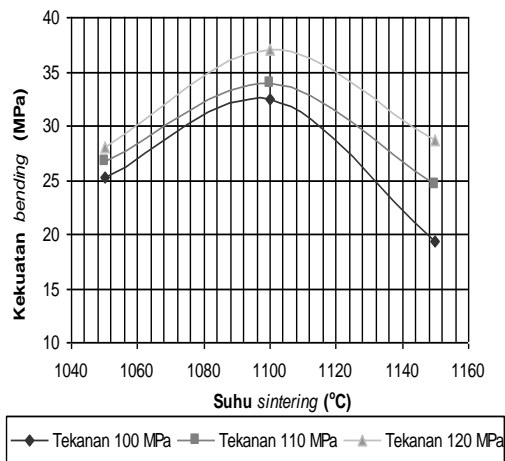
dimana:

- $K_{\text{IC}}$  = *fracture toughness* ( $\text{MPa.m}^{1/2}$ )
- $\xi$  = faktor kalibrasi = 1
- $c$  = panjang retak awal (m)

## 3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

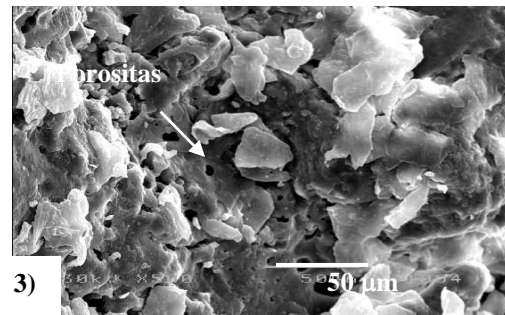
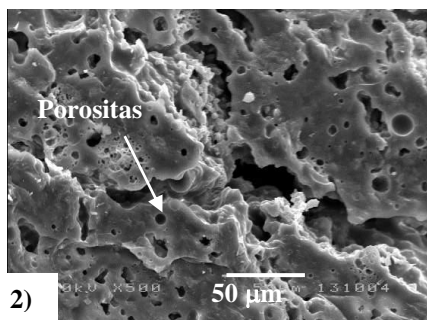
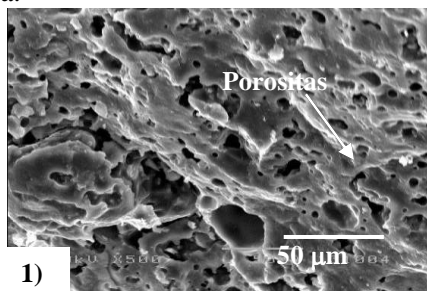
### 3.1 Pengujian *Bending*

Pengujian dilakukan dengan *Torsees Universal Testing Machine* yang bertujuan untuk mengetahui *Fracture Strength* maksimum ( $\sigma_{\text{MOR}}$ ). Hasil pengujian *bending* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara kekuatan *bending* dengan suhu *sintering*

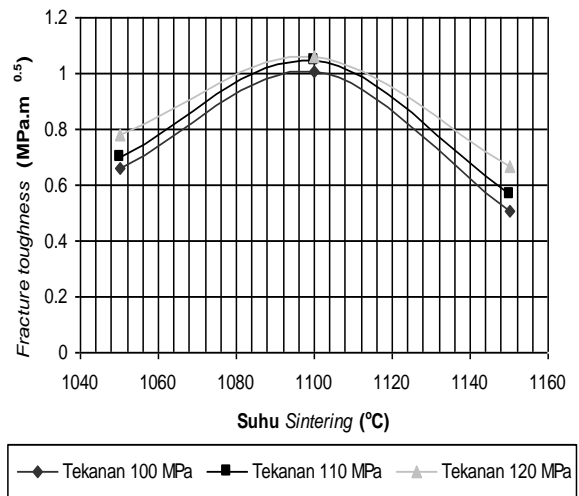
Pada komposisi 70 % berat *fly ash* kekuatan *bending* akan meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan kompaksi karena celah antar partikel/porositas semakin kecil sehingga spesimen semakin padat dan kekuatannya menjadi bertambah besar. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1, dimana kondisi optimal terjadi pada tekanan kompaksi 120 MPa. Pada suhu *sinter* 1100 °C menghasilkan kekuatan *bending* sebesar 32,5 MPa pada tekanan 100 MPa; 33,89 MPa pada tekanan 110 MPa dan 36,98 MPa pada tekanan 120 MPa.



Gambar 2. SEM Struktur mikro Uji *bending*  
1) Tekanan 100MPa, 2) Tekanan 110MPa, 3) Tekanan 120MPa

### 3.2 Pengujian Ketangguhan Retak

Pengujian *fracture toughness* dilakukan dengan membuat spesimen uji berbentuk balok yang beri retak awal berupa takikan 45°. Pengujian dilakukan dengan metode *Single-Edge Notched Beam (SENB)* menggunakan *Torsee's Universal Testing Machine*, dengan laju simpangan 0,5 mm/menit. Hasil pengujian  $K_{IC}$  dapat dilihat pada Gambar 3.



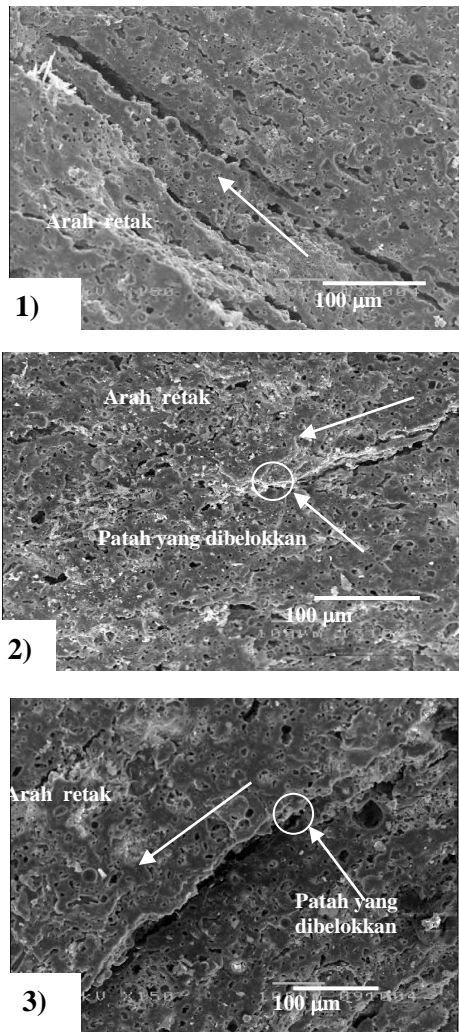
Gambar 3. Hubungan antara *fracture toughness* - suhu *sintering*

Pada komposisi 70 % berat *fly ash*  $K_{IC}$  tertinggi terjadi pada tekanan 120 MPa dan suhu *sinter* 1100 °C karena memiliki densitas lebih tinggi dan porositasnya relatif lebih kecil jika dibandingkan pada tekanan 100 dan 110 MPa. Penurunan porositas tersebut akibat pengaruh tekanan kompaksi yang mengakibatkan ketangguhan retak meningkat.

Hasil foto SEM terlihat kondisi tidak sempurna (*imperfect*) pada tekanan 100 MPa dan suhu *sinter* 1100 °C, karena adanya rongga-

rongga (*void*) yang saling berhubungan sehingga menurunkan kekuatan dan ketangguhan retak pada spesimen uji sebesar 4,95%.

Pada tekanan 110 dan 120 MPa terlihat mekanisme pembelokan retak akibat penambahan 30% berat aluminium silikat sehingga mengakibatkan ketangguhan retak menjadi meningkat.



Gambar 4. SEM Mekanisme Perambatan Retak

1) Tekanan 100MPa, 2) Tekanan 110MPa, 3) Tekanan 120MPa

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Fly ash* murni sebelum disinter mempunyai fase *crystalline* dan sesudah di-sinter berubah menjadi fase

*amorphous (glass)*. Pada komposisi 70 % berat *fly ash* dan 30 % berat aluminium silikat fasenya *amorphous*.

2. Spesimen yang dikompaksi 120 MPa memiliki kekuatan *bending* dan *fracture toughness* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan tekanan kompaksi 100 dan 110 MPa.
3. Harga kekuatan *bending* dan *fracture toughness* tertinggi terjadi pada spesimen yang di-sinter pada suhu optimum 1100 °C, sedang pada temperatur sinter 1150 °C harga densitas, kekerasan, kekuatan *bending* dan *fracture toughness* turun.
4. Ketangguhan retak meningkat karena adanya mekanisme *crack deflection*.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Benavides, E., Grasselli, C., Quaranta, N., 2003, *Densification of Ash from a Thermal Power Plant*, Journal Ceramics International, 29, 61-68.
- Boccacini, A.R., Kopf, M., and Stumpfe, W., 1995, *Glass-Ceramics from Filter Dust From Waste Incinerators*, Journal Ceramics International, 21, 231-235.
- Barsoum, M.W., 1997, *Fundamentals of Ceramics*, Mc Graw-Hill Companies, New York.
- Chawla, K. K., 1993, *Ceramic Matrix Composites*, University Press, Cambridge, Great Britain.
- Cheng, T. W., and Chen, Y. S., 2003, *On Formation of CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> Glass-Ceramics by Vitrification of Incinerator Fly Ash*, Journal Chemosphere, 51, 817-824.
- Cheng, T. W., and Chen, Y. S., 2004, *Characterization of Glass-Ceramics made from Incinerators Fly Ash*, Journal Ceramics International, 30, 343-349.
- Cheng, T.W., Ueng, T. H., Chen, Y.S., and Chiu, J. P., 2002, *Production of Glass-Ceramics from Incinerators Fly Ash*, Journal Ceramics International, 28, 779-783.
- Erol, M., Genc, A., Overcoglu, M. L., Yucelen, E., Kucukbayrak, S., and Taptik, Y., 2000, *Characterization of Glass-Ceramic Produced from Thermal Power Plant Fly Ashes*, Journal of the European Ceramic Society, 20, 2209-2214.
- Erol, M., Demirler, U., Kucukbayrak, S., Mericboyu, A. E., and Overcoglu, M.

- L., 2003, *Characterization Investigation of Glass-Ceramics Developed from Seyitomer Thermal Power Plant Fly Ashes*, Journal of the European Ceramic Society, 23, 757-763.
- Ferreira, C., Ribeiro, A., and Ottosen, L., 2003, *Possible Application for Municipal Solid Waste Fly Ash*, Journal of Hazardous Material, B96, 201-216.
- Francis, A. A., Rawlings, R.D., Sweeney, R, dan Boccacini, A.R., 2004, *Crystalization Kinetic of Glass Particles Prepared from a Mixture of Coal Ash and Soda-lime Cullet Glass*, Journal of Non-Crystalline solid, 333, 187-193.
- German, R. M., 2002, *Sintering : A Critical Step*, IMM-Nov., Pensilvania Univ.
- German, R. M., 1994, *Powder Metallurgy*, MPIF, New Jersey.
- Groover, M. P., 1996, *Fundamental of Modern Manufacturing Materials, Processes and systems.*, Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- Park, Y. J., and Heo, J., 2002, *Conversion to Glass-Ceramics from Glasses Made by MSW Incinerators Fly Ash for recycling*, Ceramics International, 28, 689-694.
- Sukanto, H., 2004, *Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Suhu Sintering terhadap Densitas dan Sifat Mekanik Aluminium*, Tesis S-2 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.