

# ANALISIS HARGA *FRACTURE TOUGHNESS* DENGAN METODE INDENTASI KEKERASAN VICKERS PADA KERAMIK KAOLIN

Muh Amin<sup>\*)</sup>

## Abstrak

Pengujian *Fracture Toughness* ( $K_{1C}$ ) bertujuan untuk mengetahui ketangguhan terhadap retak pada specimen. Metode yang sering dipergunakan adalah *Single-Edge Notched Beam* (SENB). Pada material yang getas (brittle) seperti halnya keramik dapat dicari harga *fracture toughness* dengan cara pintas yaitu dengan memanfaatkan bekas injakan Vickers pada saat pengujian kekerasan material tersebut. Karena prinsip dasar dari penghitungan harga *fracture toughness* ini dengan jalan pengamatan panjang retak yang terjadi pada ujung-ujung bekas *Vickers Hardness* akibat material getas diinjak dengan indenter Vickers. Dari hasil pengukuran panjang retak tersebut lalu disesuaikan dengan bentuk crack yang terjadi setelah dipolis dan dengan rumus empiris tertentu dapat dihitung harga *fracture toughness*nya.

Hasil dari penghitungan harga *fracture* tersebut adalah hanya pendekatan saja untuk setiap material getas yang perlu diperbandingkan harganya dengan pengujian yang sesungguhnya yaitu dengan Metode *Single-Edge Notched Beam* (SENB) untuk mengetahui seberapa jauh keakuratan metode tersebut apabila diaplikasikan pada material tertentu dalam hal ini keramik kaolin.

Pengujian *fracture toughness* pada spesimen dengan tekanan kompaksi 25 MPa dan suhu sinter 1500°C dengan menggunakan Metode Indentasi Kekerasan *Vickers* diperoleh harga *fracture toughness* sebesar 3,12 MPa.m<sup>0.5</sup>. Sedangkan dengan menggunakan metode *Single-Edge Notched Beam* (SENB) untuk spesimen yang sama diperoleh harga *fracture toughness* sebesar (0,32± 0,004) MPa.m<sup>0.5</sup>.

Kata kunci: Kekerasan Vickers, metode indentasi kekerasan Vickers, *fracture toughness*.

## PENDAHULUAN

Bahan tahan api (refraktori) telah dikenal orang sejak tahun 2000 sebelum Masehi ketika orang mulai membutuhkan temperatur tinggi untuk keperluan melebur gelas, logam dan lain-lain. Sedangkan perkembangan penggunaan bahan tahan api seiring dengan perkembangan industri pemakainya. Dengan perkembangan teknologi industri pemakai bahan tahan api, diperlukan kualitas bahan tahan api yang meningkat. Satu dari jenis bahan tahan api ini adalah keramik yang telah dikenal sejak 2000 sebelum Masehi (Hartono, 1988).

Kaolin ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) merupakan salah satu bahan keramik yang banyak dipakai sebagai bahan porcelain, *chinaware*, *furnace lining*, *crucible*, batu tahan api dan *abrasive* (Triswan dkk, 1999). Kaolin di Indonesia masih belum dioptimalkan penggunaannya dibidang teknik ini dapat dilihat masih sedikitnya penelitian yang dilakukan dibidang keramik maju (*advanced ceramic*) yang berbahan dasar kaolin.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan kompaksi dan suhu sintering terhadap densitas, kekerasan, kekuatan bending dan *fracture toughness* dari kaolin

## TINJAUAN PUSTAKA

Lee (1994) menerangkan bahwa pada proses sintering pada kaolin sebenarnya sudah banyak yang melakukan penelitian, yang pertama kali adalah Le Chatelier(1887) yang dilanjutkan oleh Brindley dan Nahahira (1959). Dan selanjutnya oleh Brown (1985) dan Mac Kenzie (1985) telah berhasil mengkarakterisasi reaksi sintering kaolin secara detail. Hasil dari pengujiannya menunjukkan bahwa kaolin yang disinter pada suhu lebih dari 1125°C akan berubah fase menjadi mulit dan cristobalit.

---

\*) Dosen Jurusan S-1 Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)

Kaolin merupakan salah satu bahan refraktori yang telah banyak dipakai pada industri-industri pemakai bahan refraktori seperti industri peleburan logam, peleburan gelas, pembangkit energi, dan lain-lain (Hartono, 1988) disamping itu kaolin merupakan material penting pada industri kertas dan keramik (Azom, 2000). Sehingga material ini perlu dilakukan penelitian untuk memperoleh kualitas material yang optimal. Pedro (2000) meneliti pengaruh *dry grinding* menggunakan *ball-milling* pada serbuk kaolin dari Georgia. Dari hasil penelitiannya diperoleh bahwa hasil dari *grinding* akan mengakibatkan perubahan struktur kristal pada kaolin menjadi *amorphous* karena terjadi kerusakan pada *c axis* pada kaolin.

Chen dan Tuan (2000) meneliti komposit kaolin-alumina dengan variasi suhu sinter dari 1200°C – 1600°C ditahan selama 1 jam dengan *heating rate* 5°C/menit. Dalam pembuatan *green body*-nya dilakukan dengan menggunakan penekanan dengan tekanan kompaksi sebesar 27 MPa. Hasil yang diperoleh dari pengujian Chen dan Tuan (2000) ini adalah bahwa harga densitas yang dihitung dengan persamaan Archimedes naik dengan naiknya suhu sintering. Densitas lebih dari 90% diperoleh pada suhu sinter 1600 °C untuk komposisi (30-100)% berat alumina. Sedangkan untuk kaolin murni pada suhu sinter 1500 °C sudah mencapai harga maksimal yaitu sebesar 2,60 gr/cm<sup>3</sup>, tetapi pada suhu sinter 1600°C densitasnya mengalami penurunan. Pengujian *fracture toughness* dilakukan dengan metode *four point bending* untuk kaolin murni pada suhu sinter 1500°C sebesar 125 MPa sebesar 1,6 MPa.m<sup>0.5</sup> dengan menggunakan metode SENB.

Sedangkan harga *fracture toughness* dari kaolin dapat ditingkatkan jika dalam mempersiapkan kaolin sebelum dikompaksi pada pembuatan *green body* dilakukan pencampuran dengan alkohol terlebih dahulu seperti yang telah dilakukan oleh Chen dan Tuan (2001) yaitu dengan cara mempersiapkan serbuk kaolin (AKIMA 35, Malaysia) untuk proses kering (*dry processing*). Dalam persiapan penelitiannya dilakukan dua metode pembuatan spesimen yaitu antara kaolin yang dicampur dengan alkohol 20% berat dengan kaolin yang dicampur dengan air 60% berat yang di-*milling* selama 1 jam yang selanjutnya keduanya dikeringkan di udara bebas sebelum dilakukan pembuatan *green body* dengan tekanan kompaksi 25 MPa. *Green body* tersebut disinter pada suhu (1000, 1100, 1200, 1300, 1400)°C dan diperoleh densitas terbaik pada suhu sinter 1400 °C, yaitu 2,60 gr/cm<sup>3</sup> untuk penambahan 60% berat air dan 2,68 gr/cm<sup>3</sup> untuk penambahan 20% berat alkohol. Pengujian *fracture toughness* dilakukan dengan metode *four point bending*, untuk spesimen dengan penambahan alkohol 20% berat dengan menggunakan metode SENB menunjukkan harga *fracture toughness* tertinggi yaitu sebesar 2,2 MPa.m<sup>0.5</sup> yang dicapai pada suhu sinter 1400°C.

Dari peneliti lain, misalnya Yu dkk (2001) menjelaskan bahwa dengan penambahan tekanan kompaksi dalam pembuatan *green body* dapat meningkatkan densitas dari Alumina-Zirconia-Graphite Refractories.

Hasil pengujian kekerasan Vickers dan pengamatan panjang retak yang terjadi pada ujung-ujung bekas *Vickers Hardness* dapat dipakai untuk mencari harga  $K_{IC}$  spesimen (Barsoum, 1997) yang dicari dengan menggunakan persamaan *Shetty* untuk *crack* jenis *palmqvist* (Roger, 1987)

$$K_{IC} = 0,0889 \left( \frac{Hv.P}{4xl} \right)^{0,5} \quad (1)$$

dimana: Hv = Harga kekerasan Vickers (MPa)

P = Gaya pembebanan pada pengujian Vickers (N)

l = Panjang *crack* (mm)

## METODOLOGI PENELITIAN

### a. Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan serbuk kaolin yang diperoleh dari Brataco Chemica Yogyakarta dengan ukuran partikel 325 mesh.

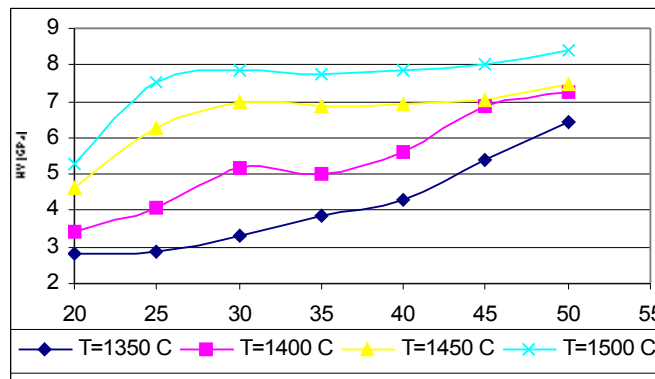
b. Cara Penelitian

Mempersiapkan serbuk kaolin yang dicetak dengan metode *uniaxial pressing* dengan variasi tekanan kompaksi (20, 25, 30, 35, 40, 45 dan 50) MPa. Pembuatan spesimen berbentuk silindris dengan ukuran diameter 15 mm dan tebal 5 mm dan di-sinter pada temperatur (1400, 1450 dan 1500) °C yang selanjutnya dilakukan pengujian dan pengamatan.

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

A. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan beban 153, 2 N menggunakan mesin uji kekerasan makro. Kedua diagonal injakan indenter *Vickers* diamati dengan menggunakan mikroskop optik. Harga kekerasan *Vickers* dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 1.

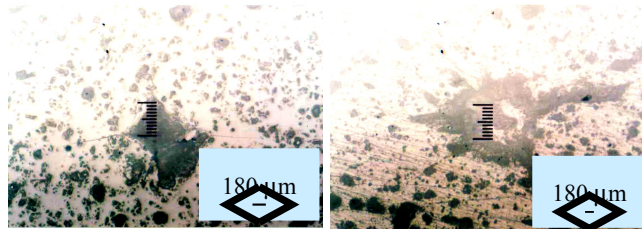


Gambar 1. Hasil pengujian kekerasan Vickers

Dari Gambar 1 terlihat bahwa peningkatan tekanan kompaksi akan mengakibatkan peningkatan kekerasan kaolin. Karena dengan peningkatan tekanan kompaksi mengakibatkan porositas dari *green body* akan menurun, demikian juga setelah disinter. Dengan meningkatnya suhu sintering akan mengakibatkan kekerasan semakin tinggi karena akan terjadi ikatan yang kuat antar partikel-partikel tersebut (Djaprie, 1998). Kekerasan tertinggi diperoleh pada tekanan kompaksi 50 MPa dengan suhu sinter 1500°C yaitu sebesar (8,37±0,00) GPa.

C. Pengujian *Fracture Toughness* dengan Metode Indentasi *Vickers*

Pengujian kekerasan spesimen yang dilakukan dengan menggunakan *Vickers hardness* dapat dimanfaatkan untuk mengestimasi *fracture toughness* dari bahan getas. Bahan getas yang diindentasi dengan *Vickers* akan menghasilkan suatu bekas injakan *Vickers* dengan *crack* yang terjadi pada ujung-ujung bekas injakan. Data mengenai *crack* dapat digunakan untuk menghitung harga  $K_{IC}$ . Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa jenis *crack* yang terjadi adalah jenis *Palmqvist Crack* seperti pada Gambar 2.



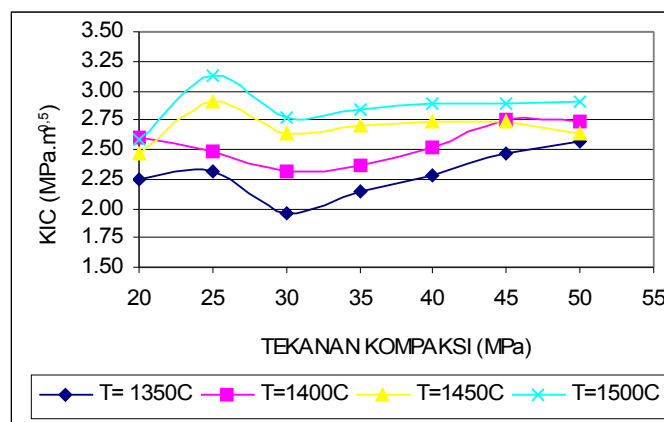
Sebelum dipolis                      Setelah dipolis

Gambar 2. Bentuk *Palmqvist crack*

Harga *fracture toughness* dengan metode indentasi kekerasan *Vickers* dapat dicari dengan persamaan (1) untuk *Palmqvist Crack* dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 6. Dari Gambar 3 terlihat bahwa pada tekanan kompaksi 25 MPa dengan suhu sinter 1500°C

diperoleh harga *fracture toughness* yang tertinggi yaitu sebesar 3,12 MPa.m<sup>0.5</sup>. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya fase kristalin pada kaolin untuk tekanan kompaksi 25 MPa lebih dominan dari pada tekanan kompaksi yang lebih tinggi dari 25 MPa, sedangkan pada tekanan kompaksi 50 MPa kaolin sudah berfase *noncrystalline*. Tetapi hasil dari metode ini kurang akurat, ada kesalahan sekitar 20% jika dibandingkan dengan harga *fracture toughness* yang sebenarnya (Roger, 1987). Hal ini disebabkan adanya pengukuran panjang retak yang terjadi akibat pembebanan uji *Vickers* tidak tepat (kesulitan dalam pengamatan).

Jika dibandingkan dengan peneliti lain (Chen dan Tuan, 2000) harga *fracture toughness* dari kaolin yang disinter pada suhu 1500°C dengan tekanan kompaksi 27 MPa adalah 1,5 MPa.m<sup>0.5</sup>. Sedangkan dari (Chen dan Tuan, 2001) harga *fracture toughness* dari kaolin yang disinter pada 1400°C dengan tekanan kompaksi 25 MPa diperoleh harga sebesar 2,2 MPa.m<sup>0.5</sup>. Perbedaan harga *fracture toughness* pada kaolin ini kemungkinan disebabkan adanya perbedaan metode yang digunakan. Salah satu kesulitan dalam pengukuran *fracture toughness* dengan metode indentasi kekerasan *Vickers* adalah mengukur panjang retak secara akurat, karena kadang-kadang ujung retak tidak begitu jelas. Hal ini menyebabkan hasil yang diperoleh kurang akurat atau ada kesalahan (Roger, 1987).

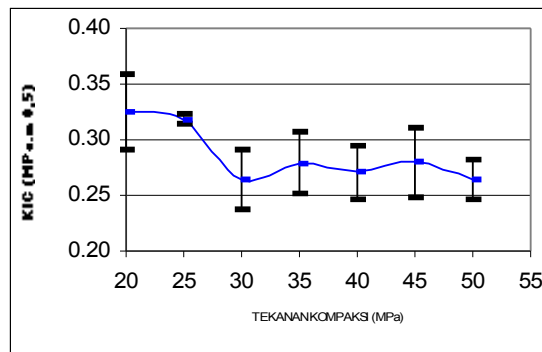


Gambar 3. Hasil pengujian K<sub>IC</sub> dengan metode indentasi kekerasan *Vickers*

#### Pengujian *Fracture Toughness* dengan Metode SENB

Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *Single-Edge Notched Beam* (SENB) dengan mesin Torsee's *Universal Testing Machine*. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Gambar 4. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa kaolin yang disinter pada suhu sinter 1500°C harga *fracture toughness* tertinggi diperoleh pada tekanan kompaksi 20 MPa dan 25 MPa sebesar (0,32±0,004) MPa.m<sup>0.5</sup>. Sedangkan dengan bertambahnya tekanan kompaksi pada kaolin yang disinter pada suhu sinter 1500°C, harga *fracture toughness*-nya akan terjadi penurunan.

Hal ini kemungkinan disebabkan proses pembuatan spesimen yang berbeda dari peneliti sebelumnya terutama pada proses pembuatan *crack* pada spesimen untuk uji *fracture toughness* yang dibuat bersamaan dengan pencetakan serbuk kaolin dalam pembuatan *green body* (sebelum dilakukan proses sintering). Sedangkan dari (Chen dan Tuan, 2001) pembuatan *crack* pada spesimen untuk uji *fracture toughness* dibuat setelah spesimen dilakukan proses sintering. Sehingga kelemahan dari cara ini adalah kemungkinan adanya retak setelah dilakukan proses sintering. Cara ini dilakukan karena keterbatasan alat potong yang dapat dipakai untuk memotong bahan ini.



Gambar 4. Hasil pengujian  $K_{IC}$  dengan metode SENB pada spesimen yang disinter pada suhu 1500°C

Rendahnya harga *fracture toughness* dalam penelitian ini kemungkinan disebabkan adanya awal *crack* yang terjadi pada spesimen yang belum dilakukan pengujian. Terjadinya awal *crack* ini disebabkan adanya cacat pada ujung *crack* yang dibuat pada spesimen (*green body*). Disamping itu dalam proses pembuatan *crack* pada spesimen untuk uji *fracture toughness* yang dibuat bersamaan saat pencetakan spesimen. Sehingga spesimen setelah disinter akan mengakibatkan adanya konsentrasi tegangan pada spesimen tersebut.

### KESIMPULAN

1. Peningkatan tekanan kompaksi dan suhu sinter menyebabkan kenaikan harga kekerasan dari kaolin yang dibuat dengan proses *pressureless sintering* karena harga porositasnya akan turun. Tetapi harga kekuatan bending dan *fracture toughness* maksimum terjadi pada tekanan kompaksi 25 MPa.
2. Harga kekerasan *Vickers* tertinggi pada spesimen dengan tekanan kompaksi 50 MPa dengan suhu sinter 1500°C adalah  $(8,37 \pm 0,00)$  GPa
3. Dari pengujian *fracture toughness* dengan Metode Indentasi *Vickers* diperoleh harga *fracture toughness* sebesar  $3,12 \text{ MPa.m}^{0.5}$  pada tekanan 25 MPa dengan suhu sinter 1500°C. Sedangkan dengan menggunakan Metode Single-Edge Notched Beam (SENB) diperoleh harga sebesar  $(0,32 \pm 0,004) \text{ MPa.m}^{0.5}$  pada tekanan kompaksi dan suhu sinter yang sama. Rendahnya harga *fracture toughness* kaolin dengan menggunakan metode SENB dimungkinkan karena adanya retak awal yang dibuat sebelum sintering sehingga dimungkinkan adanya penambahan panjang retak dibagian dalam specimen yang tidak teridentifikasi dari permukaan luar specimen.

### DAFTAR PUSTAKA

- Azom T.M, 2000, *Kaolin-Production and Consumption in Asia*, Azom TM. com.
- Barsoum.M.,1997, *Fundamentals of Ceramics*, Mc Graw-Hill Companies, New York.
- Chen C.Y, Lan G.S, Tuan W.H., 2000, *Preparation of Mullite by the Reaction of Sintering Kaolinite and Alumina*, Journal of the European Ceramic Society 20 (2000) 2519-2525.
- Chen C.Y dan W.H. Tuan, 2001, *The Processing of Kaolin Powder Compact*, Ceramic International 27 (2001) 795-800.
- Djaprie S, 1987, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Erlangga, Jakarta.
- German R.M., 1994, *Powder Metallurgy Science*, The Pennsylvania State University, USA.
- German R.M., 1991, *Fundamentals of Sintering*, dalam buku: Engineered Materials Handbook Ceramics and Glasses, ASM International, USA.
- Gordan L, 1991, *Application for Traditional Ceramic*, dalam buku: Engineered Materials Handbook Ceramics and Glasses, ASM International, USA.

- Hartono, Y.M.V., 1988, *Bahan Mentah Tahan Api di Indonesia*, Informasi Teknologi Keramik dan Gelas, No.38 Tahun X, pp.27-40.
- Lee, W.E., Rainforth, W.M., 1994, *Ceramic Microstructures Property Control by Processing*, Chapman and Hall, London UK.
- McEntire B. J. dan Norton, 1991, Powder Compaction Processes-Dry Pressing, Engineered Materials Handbook Ceramics and Glasses, ASM International, USA.
- Pedro J, 2000, Effect of Dry Grinding on the Structural Changes of Kaolinite Powders, *Journal of the American Ceramic Society*-Vol. 83, No. 7.
- Roger L. K, 1987, *Evaluation of Fracture Toughness Determination Methods as Applied to Ceria-Stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystal*, *Journal American Ceramic Society*, 70[12] C-366-C-368.
- Somiya S., 1989, *Advanced Technical Ceramics*, Academic Press inc, Tokyo.
- Surdia T, 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Streicher R. M., Insley G., Jones E., 2001, *New Generation Ceramics for Hip Joint Prostheses*, Society for Biomaterials.
- Triswan S., Adang S., Mujib, 1999, *Studi Pemanfaatan Kaolin Kecamatan Jailolo Kabupaten Maluku Utara Propinsi Maluku*, Makalah Teknik, Puslitbang Teknologi Mineral, Bandung.
- Vlack V, 1980, *Elements of Materials Science and Engunering*, Addison-Wesley Publishing Company, USA.
- Yu S.P., Yang K.H., Wang M.C., 2001, *Effect of Process Parameter on the Properties of Alumina-Zirconia-Graphit Refractories (Part 1)*, *Journal of the Ceramic Society of Japan* 109[7] 596-601.