

# MENGHITUNG NILAI KEKERASAN DAN KEKUATAN PATAH KERAMIK CORDIERITE SECARA SIMULASI MATHEMATICA 5.1

Juliandi Siregar

Dosen Kopertis Wilayah I  
dpk FKIP UMN Al Washliyah

## Abstrak

Telah dilakukan penelitian Menghitung Nilai Kekerasan dan Kekuatan Patah keramik berpori cordierite ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ) secara simulasi dengan program mathematica 5.1. Permasalahan utama adalah terfokus pada bagaimana cara merancang simulasi komputasi dengan program mathematica 5.1 yang akan memperlihatkan karakter keramik cordierite yang dihasilkan berpori, tetap kuat, stabil bila terkena pemanasan sampai suhu sekitar  $1000^\circ\text{C}$ . Variabel penelitian simulasi ini adalah suhu sintering 1200, 1250, 1300 dan  $1350^\circ\text{C}$  selanjutnya dicampur dengan serbuk kayu sebesar 10, 15, 20, 25 dan 30 % berat. Parameter penelitian ini adalah kekerasan dan kekuatan patah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan komposisi 20% serbuk kayu dan suhu sintering  $1300^\circ\text{C}$  menghasilkan nilai kekerasan 0,94 GPa dan kekuatan patah 1,22 MPa merupakan kondisi terbaik yang mendekati nilai literatur. Dari perbandingan hasil simulasi dan eksperimen dapat disimpulkan bahwa melalui analisis simulasi untuk kekerasan dan kekuatan patah dapat diperoleh perubahan yang konstan akibat kenaikan suhu sintering yang konstan dan dapat juga dianalisis dengan interval kenaikan suhu yang lebih kecil.

**Kata Kunci** : Keramik Cordierite, Serbuk Kayu, Simulasi Kekerasan, Kekuatan Patah

## Abstract

This present thesis applies an study analytical research about correlation sintering temperature with the characteristic of cordierite ceramic mechanic by simulation with mathematica 5.1 programs. The main problem is focused on how to design the simulation computing with mathematica 5.1 program that will show the character of ceramic cordierite produce porous, strong and stable when exposed to heating a temperature of  $1000^\circ\text{C}$ . The simulation research variables are the sintering temperature 1200, 1250, 1300 and  $1350^\circ\text{C}$  the next step was mixed with 10,15, 20,25 and 30 % (weight) of wood powder. The research parameter is the Vickers hardness and bending strength. The result of then simulation shows that with the 20% (weight) of wood powder composition and sintering temperature  $1300^\circ\text{C}$  produce the Vickers hardness value of 0,94 GPa and the breakable strength of 1,22 MPa. From the comparisons of the simulation and experiment it is concluded that the analysis through simulations of vicker hardness and bending strength yield the constant changes as the effect of the rise in the constant sintering temperature and it can be analyzed by applying the less rising temperature interval.

**Keyword**: Cordirite Ceramic, Wood Powder, Simulation, Vickers Hardness, Bending Strength

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Teori-teori baru mengenai material pada skala atomik mempermudah peneliti untuk memprediksi perilaku material pada skala makroskopik dan

memberikan kemampuan untuk merancang material-material baru dengan sifat-sifat tertentu yang diinginkan. Salah satu eksperimen komputer yang dapat dilakukan adalah menganalisa tentang hubungan suhu

sintering terhadap sifat mekanis keramik berpori cordierite ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ). Cordierite merupakan salah satu jenis keramik oksida dengan formula :  $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ . sifat-sifat keramik ini antara lain : material ini cukup stabil dan tahan suhu tinggi sampai suhu  $1300^\circ\text{C}$ , memiliki kekuatan mekanik yang lebih tinggi dibandingkan keramik porselin, koefisien termal ekspansi rendah  $(2 - 3) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , sehingga dapat tahan terhadap kejutan suhu, dan tahan korosi/abrasi. Dilihat dari sifat-sifatnya tersebut maka keramik cordierite dapat dipergunakan sebagai bahan refraktori, dan sebagai bahan filter gas buang. Cordierite tidak terdapat di alam, tetapi dapat disintesa dari reaksi padatan oksida-oksida :  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{SiO}_2$ . Sumber bahan oksida-oksida pembentuk cordierite banyak dijumpai pada bahan-bahan alam di Indonesia, seperti misalnya: sumber  $\text{MgO}$  dapat diperoleh dari bahan magnesit  $\text{MgCO}_3$  atau dolomite, sumber  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat diperoleh dari alumina/bauksit atau kaolinit, sedangkan  $\text{SiO}_2$  dapat diperoleh dari pasir silika. Deposit dari bahan-bahan alam tersebut cukup banyak tersedia di bumi Indonesia, dan belum dimanfaatkan secara optimal. Dari penelitian akan memperlihatkan karakter keramik *cordierite* yang dihasilkan berpori, tetap kuat, stabil bila terkena pemanasan sampai suhu sekitar  $1000^\circ\text{C}$ , porositasnya berkisar antara (30 – 60) % dan ringan bila digunakan sebagai filter gas buang dengan analisa metode komputasi. Juga akan memperlihatkan karakter keramik *cordierite* yang dibuat dengan menambahkan bahan organik dalam bentuk serbuk kayu 20% berat yang akan terurai menjadi gas pada rentang suhu sekitar : ( 400 – 500)  $^\circ\text{C}$  maka pada bodi keramik *cordierite* akan menghasilkan pori, dengan suhu

sintering adalah 1200, 1250, 1300 dan  $1350^\circ\text{C}$  yang mengacu pada diagram fasa sistem  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ .

Mathematica adalah salah satu bahasa pemrograman komputer generasi ke - 4 yang ditulis oleh Wolfram Inc. Hal-hal yang diperkenalkan adalah penyelesaian matematika dengan mathematica yang meliputi pemrograman, pembuatan fungsi, pembuatan grafik dan penggunaan fungsi-fungsi intrinsik yang tersedia dalam bahasa *mathematica*.

Material keramik yang digunakan sebagai fungsi filter gas buang dari tungku pembakar pada industri-industri atau gas buang kendaraan bermotor harus material keramik yang tahan suhu tinggi, oleh karena gas buang umumnya mempunyai suhu relatif cukup tinggi, yaitu sekitar  $500^\circ\text{C} - 800^\circ\text{C}$ .

## 2. METODE

### A. Kekerasan (Vickers Hardness, Hv )

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi atau ketahanan terhadap deformasi dari permukaan bahan. Ada tiga tipe pengujian terhadap ketahanan bahan, yaitu : tekukan (*Brinell*, *Rockwell* dan *Vickers*), pantulan (*rebound*) dan goresan (*scratch*). Pada penelitian ini pengukuran kekerasan (*Vickers Hardness*) dari sampel keramik dilakukan dengan menggunakan microhardness tester. Kekerasan, *Vickers Hardness* (Hv) suatu bahan dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Hv = 1,8544 \frac{P}{D^2} \quad (1)$$

Dimana :

P = Beban yang diberikan, kgf.

D = Panjang diagonal jejak indentor, mm.

Hv = Kekerasan Vickers,  $\text{kgf/mm}^2$ .

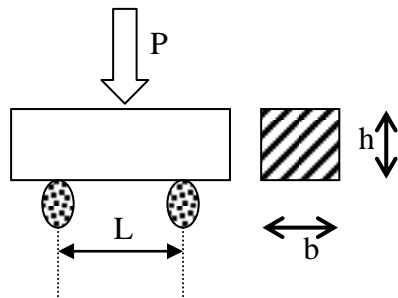
### B. Kekuatan Patah (*Bending Strength*)

Kekuatan patah sering disebut *Modulus of Rupture* (MOR) yang menyatakan ukuran ketahanan bahan terhadap tekanan mekanis dan tekanan panas (*thermal stress*) (Junshiro H, 1991). Pengukuran kekuatan patah (*bending strength*) sampel keramik digunakan dengan metode tiga titik tumpu (*triple point bending*), nilai kekuatan patah dapat ditentukan dengan standar ASTM C.733 – 79 melalui persamaan berikut :

$$\text{Kekuatan Patah} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \dots\dots (2)$$

Dimana :

- P = beban, kgf
- L = jarak dua penumpu, cm
- b, h = dimesin sampel, cm



C. Korelasi Kekerasan (*Vickers Hardness*) Terhadap Suhu

Hubungan kekerasan dengan naiknya suhu sintering secara geometris sebagai berikut :

$$H_v = aT^b \quad \dots\dots\dots (3)$$

bila diambil logaritma kedua ruas persamaan tersebut maka diperoleh :

$$\log H_v = \log a + b \log T \quad \dots\dots\dots (4)$$

D. Korelasi Kekuatan Patah (*Bending Strength*) Terhadap Suhu

Hubungan kekuatan patah dengan naiknya suhu sintering secara geometris sebagai berikut :

$$\sigma_f = aT^b \quad \dots\dots\dots (5)$$

bila diambil logaritma kedua ruas persamaan tersebut maka diperoleh :

$$\log \sigma_f = \log a + b \log T \quad \dots\dots\dots (6)$$

E. Algoritma Analisis Simulasi

Dalam merancang suatu program yang terstruktur dan terkendali dengan baik perlu dilakukan perancangan algoritma sehingga dapat memperjelas langkah-langkah dalam membuat program secara utuh.

i. Algoritma Program Simulasi untuk Menentukan Kekerasan

Adapun algoritma untuk menentukan kekerasan adalah sebagai berikut :

INPUT

1. P : beban yang diberikan, N
2. D : panjang diagonal jejak indenter, m
3. Suhu

PROSES

1. Kalkulasi kekerasan
2. Kalkulasi logaritma kekerasan
3. Kalkulasi logaritma suhu
4. Kalkulasi perkalian logaritma kekerasan dan logaritma suhu
5. Kalkulasi logaritma suhu kuadrat
6. Dilakukan perulangan untuk 4 data
7. Kalkulasi sigma logaritma kekerasan
8. Kalkulasi sigma logaritma suhu
9. Kalkulasi sigma perkalian logaritma kekerasan dan logaritma suhu
10. Kalkulasi sigma logaritma suhu kuadrat
11. Kalkulasi kuadrat sigma logaritma suhu
12. Kalkulasi logaritma a
13. Kalkulasi antilogaritma a
14. Kalkulasi b
15. Kalkulasi kekerasan

**OUTPUT**

1. Untuk memperoleh hasil tekan key shift + enter
2. Plot grafik dengan memblok seluruh program lalu ditekan key Ctrl + Y

## ii. Algoritma Program Simulasi untuk Menentukan Kekuatan Patah

Adapun algoritma untuk menentukan kekuatan patah adalah sebagai berikut :

**INPUT**

1. P : gaya penekan, N
2. L : jarak dua penumpu, m
3. b,h : dimensi sampel, m
4. Suhu

**PROSES:**

1. Kalkulasi kekuatan patah
2. Kalkulasi logaritma kekuatan patah
3. Kalkulasi logaritma suhu
4. Kalkulasi perkalian logaritma kekuatan patah dan logaritma suhu
5. Kalkulasi logaritma suhu kuadrat
6. Dilakukan perulangan untuk 4 data
7. Kalkulasi sigma logaritma kekuatan patah
8. Kalkulasi sigma logaritma suhu
9. Kalkulasi sigma perkalian logaritma kekuatan patah dan logaritma suhu
10. Kalkulasi sigma logaritma suhu kuadrat
11. Kalkulasi kuadrat sigma logaritma suhu
12. Kalkulasi logaritma a
13. Kalkulasi antilogaritma a
14. Kalkulasi b
15. Kalkulasi kekuatan patah

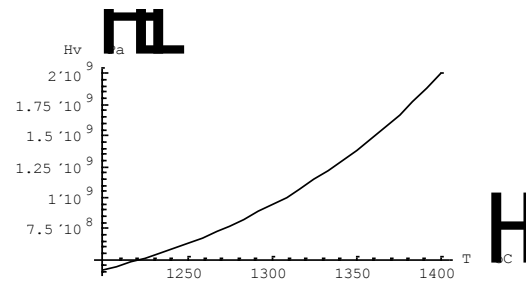
**OUTPUT:**

1. Untuk memperoleh hasil tekan key shift + enter

2. Plot grafik dengan memblok seluruh program lalu ditekan key Ctrl + Y

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

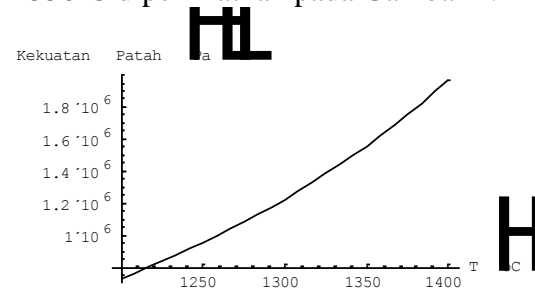
Hasil analisis simulasi korelasi kekerasan terhadap suhu sintering dengan persentase 20% penambahan serbuk kayu dengan batas suhu sintering minimum 1200 °C dan suhu maksimum 1350 °C diperlihatkan pada Gambar 1.



**Gambar 1 Korelasi antara kekerasan terhadap suhu sintering untuk serbuk kayu 20%**

Hasil pembacaan grafik di atas dapat dilihat nilai kekerasan Vickers terhadap meningkatnya suhu sintering cenderung naik ( sampel semakin keras ). Dari gambar 1 didapatkan nilai kekerasan Vickers untuk penambahan serbuk kayu 20 % pada suhu : 1200 °C = 0,42 GPa ; 1250 °C = 0,63 GPa ; 1300 °C = 0,94 GPa ; 1350 °C = 1,38 GPa.

Hasil analisis simulasi korelasi kekuatan patah terhadap suhu sintering dengan persentase 20% penambahan serbuk kayu dengan batas suhu sintering minimum 1200 °C dan suhu maksimum 1350 °C diperlihatkan pada Gambar 2.



**Gambar 2. Korelasi antara kekuatan patah terhadap suhu sintering**

Untuk serbuk kayu 20% Hasil pembacaan grafik dapat dilihat nilai kekuatan patah terhadap meningkatnya suhu sintering cenderung semakin besar. Dari gambar 2 didapatkan nilai kekuatan patah untuk penambahan serbuk kayu 20 % pada suhu : 1200 °C : 0,73 MPa ; 1250 °C : 0,95 MPa ; 1300 °C : 1,22 MPa ; 1350 °C : 1,56 MPa.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Densitas dan Porositas

Serbuk Kayu (%)	Suhu Sintering (°C)	Kekerasan Eksperimen (GPa)	Kekerasan Simulasi (GPa)	Kekuatan Patah Eksperimen (MPa)	Kekuatan Patah Simulasi (Mpa)
20	1200	0,4	0,42	0,69	0,95
	1250	0,6	0,63	1,075	1,22
	1300	1,1	0,94	1,26	1,56
	1350	1,25	1,38	1,475	

#### 4. KESIMPULAN

Hasil yang diperoleh dari simulasi korelasi sifat mekanik keramik cordierite terhadap suhu sintering dengan persentase penambahan serbuk kayu 20% dapat disimpulkan bahwa hasil terbaik diperoleh yang mendekati nilai literatur adalah dengan komposisi 20% serbuk kayu pada suhu sintering 1300 °C dengan nilai kekerasan 0,94 GPa dan kekuatan patah 1,22 MPa.

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan program komputasi yang lebih baik dan lebih canggih, dan melakukan variasi suhu sintering yang lebih banyak sehingga memperoleh hasil simulasi yang lebih detail tentang hubungan suhu sintering dengan sifat mekanik keramik cordierite.

#### DAFTAR PUSTAKA

Broudic, J.C. J.Guile. S. Vilminot. 1989. *Properties of Sol Gel Ceramics and Vitroceramics With the Cordierite Composition*. Euro Ceramics. Vol. 2. edited by R.A. Terpstra. Netherland.

Garcia, A.L. 1994. *Numerical Methods for Physics*. by Prentice-Hall. Inc.

James, S.R. 1988. *Introduction to The Principles of Ceramics Processing*. John Wiley & Sons. Inc. Singapore.

Lawrence, H. Van Vlack. 1993. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Erlangga. Jakarta.

Reynen, P. Bastius, H. 1986. *Powder Metallurgy International*. Vol. 8. No 2. p 91.

Richardson, D.W. 1982. *Modern Ceramic Engineering*. Marce Dekker. Inc. New York.

Rinaldi Munir. 1999. *Algoritma dan Pemrograman Dalam Bahasa Pascal dan C*. Penerbit Informatika. Bandung.

Stevan, C. Chapra. Raymond P. Canale, S. Sardy. 1988. *Metode Numerik Untuk Tehnik dengan penerapan pada Komputer Pribadi*.

Suarga. 2006. *Algoritma Pemrograman*. Penerbit Andi. Yogyakarta.

William D. Callister.JR. 1997. *Material Science and Engineering*. John Wiley & Sons. Inc.

Wolfram, Stephen. 1991. *Mathematic A System for Doing Mathematic by Computer*. 2nd Edition, Addison – Wesley Publishing Company. Inc. Redwood City. California.

Zarlis, M. 1993. *Pemakaian perangkat lunak Komputer dalam fisika*. disampaikan pada penataran Fisika Komputasi. kerjasama HEAD-USAID dan Universitas Bengkulu di Bengkulu.

Zarlis, M. Handrizal. 2007. *Bahasa Pemrograman Konsep dan Aplikasi dalam C++*. USU Press, Medan.