

Rumus Utama Komposisi Keramilk

Rumus dasar untuk perancangan komposisi keramik teknik meliputi densitas teoritis ρ_{th} , persentase densitas relatif, dan kekuatan fleksural σ_f , yang krusial untuk evaluasi sintering dan performa mekanik. Rumus-rumus ini digunakan dalam optimasi formula batch untuk mencapai >98% densitas dan kekuatan >400 MPa.

1. Densitas Teoritis Campuran

$$\rho_{th} = \frac{\sum(w_i \cdot \rho_i)}{100}$$

di mana w_i = fraksi berat (wt%), ρ_i = densitas fase i (g/cm³).

2. Persentase Densitas Relatif

$$\% \rho = \frac{\rho_{measured}}{\rho_{th}} \times 100\%$$

Target: >98% untuk keramik teknik.

3. Kekuatan Fleksural (3-Point Bending)

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2}$$

P=beban patah (N), L=span (m), b=lebar (m), d=tebal (m).

Contoh Soal 1: Densitas Teoritis YSZ

Soal: Hitung ρ_{th} untuk formula YSZ: 93 wt% ZrO₂ ($\rho=5.89$ g/cm³) + 7 wt% Y₂O₃ ($\rho=5.01$ g/cm³).

Jawaban:

$$\rho_{th} = \frac{(93 \times 5.89) + (7 \times 5.01)}{100} = \frac{547.77 + 35.07}{100} = 5.83 \text{ g/cm}^3$$

Contoh Soal 2: Densitas Relatif Si₃N₄

Soal: Batch Si₃N₄: 92% Si₃N₄ ($\rho=3.20$), 5% Y₂O₃ ($\rho=5.01$), 3% Al₂O₃ ($\rho=3.98$). $\rho_{th}=3.28$ g/cm³.
Ukur $\rho=3.22$ g/cm³. Hitung % ρ .

Jawaban:

$$\% \rho = \frac{3.22}{3.28} \times 100\% = 98.17\%$$

(Sintering sukses, porositas <2%).

Contoh Soal 3: Kekuatan Fleksural Al_2O_3

Soal: Spesimen Al_2O_3 ($b=6 \text{ mm}=0.006 \text{ m}$, $d=3 \text{ mm}=0.003 \text{ m}$, $L=30 \text{ mm}=0.03 \text{ m}$) patah pada $P=450 \text{ N}$. Hitung σ_f .

Jawaban:

$$\sigma_f = \frac{3 \times 450 \times 0.03}{2 \times 0.006 \times (0.003)^2} = \frac{40.5}{0.000108} = 375 \text{ MPa}$$

Contoh Soal 4: Optimasi Komposisi Triaxial

Soal: Formula triaxial: 50% kaolin ($\rho=2.60$), 25% feldspar ($\rho=2.55$), 25% SiO_2 ($\rho=2.65$). Hitung ρ_{th} untuk batch 1 kg.

Jawaban:

$$\rho_{th} = \frac{(50 \times 2.60) + (25 \times 2.55) + (25 \times 2.65)}{100} = 2.60 \text{ g/cm}^3$$

(Batch: 500g kaolin, 250g feldspar, 250g SiO_2).

Contoh Soal 5: SiC/SiC CMC Densitas

Soal: Komposit SiC/SiC: 70 wt% SiC matrix ($\rho=3.21$), 30 wt% SiC fiber ($\rho=3.10$). $\rho_{th}=3.18 \text{ g/cm}^3$. Setelah CVI, $\rho_{meas}=3.15 \text{ g/cm}^3$. Hitung % ρ dan porosity.

Jawaban:

$$\% \rho = \frac{3.15}{3.18} \times 100\% = 99.06\%$$

Porositas = $100\% - 99.06\% = 0.94\%$ (ideal untuk engine blades).

Keramik teknik sering dioptimasi melalui studi kasus komposisi untuk meningkatkan densitas, kekuatan, dan porositas rendah via sintering. Tiga studi kasus di bawah fokus pada Al_2O_3 , basalt-mullite, dan fly ash, dengan penyelesaian lengkap menggunakan rumus ρ_{th} dan % ρ .

Studi Kasus 1: Optimasi Kompaksi Al_2O_3 untuk Isolator Panas

Latar: Penelitian Universitas Brawijaya uji kompaksi uniaxial Al_2O_3 ($\rho=3.98 \text{ g/cm}^3$) pada 150, 200, 250 bar, sintering 1600°C untuk dinding tungku peleburan. Target: porositas $<18\%$, $\sigma_{tekan} >25 \text{ MPa}$.

Penyelesaian:

$\rho_{th} = 3.98 \text{ g/cm}^3$ (murni). Hasil pengukuran:

- 150 bar: $\rho_{meas}=3.19 \text{ g/cm}^3$, % $\rho = (3.19/3.98) \times 100 = 80.15\%$, porositas=19.85%, $\sigma_{tekan}=23.06 \text{ MPa}$.

- 200 bar: $\rho_{\text{meas}}=3.21 \text{ g/cm}^3$, $\% \rho=80.65\%$, porositas=19.35%, $\sigma_{\text{tekan}}=25.13 \text{ MPa}$.
- 250 bar: $\rho_{\text{meas}}=3.29 \text{ g/cm}^3$, $\% \rho=82.66\%$, porositas=17.34%, $\sigma_{\text{tekan}}=29.75 \text{ MPa}$ (optimal).

Kesimpulan: Kompaksi 250 bar minimalkan porositas (Hall-Petch effect), cocok isolator tahan $>1500^\circ\text{C}$. Penyusutan dimensi rata-rata 2-3%.

Studi Kasus 2: Basalt-Mullite Keramik via Taguchi

Latar: Optimasi komposisi basalt (50-70 wt%, $\rho=2.90 \text{ g/cm}^3$) + mullite ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$, $\rho=3.16 \text{ g/cm}^3$) + aditif, sintering $1200\text{-}1400^\circ\text{C}$. Parameter: basalt wt%, T_{sinter} , waktu. Target: densitas $>2.8 \text{ g/cm}^3$.

Penyelesaian:

Formula optimal (L16 orthogonal array): 60 wt% basalt + 35% mullite + 5% flux. $\rho_{\text{th}} = (0.6 \times 2.90 + 0.35 \times 3.16 + 0.05 \times 2.60) = 2.96 \text{ g/cm}^3$.

ANOVA: T_{sinter} dominan (kontribusi 52%), optimal $1350^\circ\text{C}/4 \text{ jam} \rightarrow \rho_{\text{meas}}=2.92 \text{ g/cm}^3$, $\% \rho=98.65\%$, kekerasan Vickers 850 HV.

Validasi: S/N ratio max pada run 9, konfirmasi reduksi variasi 25%.

Kesimpulan: Taguchi capai densitas tinggi untuk structural ceramics, hemat energi 15% vs trial-error.

Studi Kasus 3: Fly Ash Vitriified Keramik Lantai

Latar: Variasi abu sabuk kelapa (10-30 wt%), arang batok (5-15 wt%), tanah liat 50%, kapur 10%, sintering $800\text{-}900^\circ\text{C}$. Target: densitas $>2.2 \text{ g/cm}^3$, Vickers $>300 \text{ HV}$.

Penyelesaian:

ρ_{th} contoh optimal: 50% fly ash ($\rho=2.30$) + 40% clay ($\rho=2.60$) + 10% kapur ($\rho=2.71$) = 2.45 g/cm^3 .

- Komposisi A (20% abu+10% arang, 900°C): $\rho_{\text{meas}}=2.38 \text{ g/cm}^3$, $\% \rho=97.14\%$, Vickers=420 HV.
- Komposisi B (30% abu+5% arang, 800°C): $\rho_{\text{meas}}=2.25 \text{ g/cm}^3$, $\% \rho=91.84\%$, Vickers=310 HV.

Tekanan 120 MPa + 1150°C (referensi terkait) maksimalkan densitas via eutektik cair.

Kesimpulan: Abu limbah tingkatkan Vickers 40% vs konvensional, ramah lingkungan untuk lantai industri.