

KAJIAN TEORITIS UNTUK MENCARI HUBUNGAN ANTARA KONDUKTIVITAS PANAS DENGAN KECEPATAN GELOMBANG ELASTIK PADA BATUAN

Muhammad Irfan
Jurusan Fisika FMIPA UNSRI

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian melalui kajian teoritis untuk mencari hubungan antara konduktivitas panas dengan kecepatan gelombang elastik pada batuan. Penelitian ini dilakukan dengan membuat tiga model arah aliran panas dan arah rambatan gelombang elastik terhadap matriks dan porositas batuan, yaitu model sejajar, tegak lurus, dan kombinasi sederhana. Hasil Penelitian ini menunjukkan untuk ketiga model tersebut konduktivitas panas dan kecepatan gelombang elastik mempunyai hubungan yang linier.

Kata kunci: Kajian teoritis, konduktivitas panas, kecepatan gelombang elastik.

ABSTRACT

It had been done the theoretical research to find out the relationship between thermal conductivity and elastic wave velocity of rocks. This research was conducted by making three model of heat transfer direction and wave velocity direction toward the matrix and porosity of rocks. Form this research it was found that theoretically the relationship between thermal conductivity and wave velocity of rocks is linier.

Key words: Theoretical research, thermal conductivity, elastic wave velocity.

PENDAHULUAN

Konduktivitas panas adalah suatu besaran fisika yang menyatakan daya hantar panas suatu benda konduktor. Berdasarkan penelitian terdahulu diperoleh kaitan yang erat antara konduktivitas panas dengan porositas batuan, misalnya oleh Plewa (1976) di dalam Schon (1996) yang menyatakan konduktivitas panas mempunyai hubungan yang linier dengan porositas.

Kecepatan rambatan gelombang elastik (V) pada suatu batuan ternyata juga mempunyai kaitan yang erat dengan porositas batuan (ϕ). Sudah banyak penelitian yang dilakukan yang menghasilkan bahwa kecepatan gelombang elastik mempunyai relasi yang linier dengan porositas.

Berdasarkan kenyataan bahwa K dan V merupakan fungsi porositas maka para peneliti mencari hubungan antara K dan V . Penelitian terdahulu secara empirik memperlihatkan bahwa kedua parameter ini mempunyai relasi linier dan

signifikan. Hasil penelitian ini tentunya belum lengkap jika tidak dilakukan kajian secara teoritis tentang kaitan kedua besaran tersebut. Karena itulah penulis berinisiatif untuk mengkaji kaitan kedua parameter ini secara teoritis. Akan tetapi pada kajian teoritis ini tidak dibedakan antara gelombang elastik P dengan gelombang elastik S.

Beberapa penelitian secara empirik tentang kaitan antara kecepatan gelombang P (v_p) maupun kecepatan gelombang S (v_s) dengan porositas gelombang yang menunjukkan bahwa kedua besaran tersebut mempunyai relasi yang linier adalah:

- Morgan (1969) di dalam Schon (1996); $v_p = -566 \phi + 1917$
- Hamilton (1982) di dalam Schon (1996); $v_p = -59,7 \phi + 1564,6$
- Han, D., Nur, A. (1986) untuk batu pasir
 $v_p = -5,63 \phi + 5,02$ (tanpa lempung)
 $v_s = -3,78 \phi + 3,03$ (tanpa lempung)
 $v_p = -6,93 \phi + 5,59 - 2,18 c$ (mengandung lempung dengan volume c)

$$v_s = -4,91 \phi + 3,52 - 1,89 c$$

(mengandung lempung dengan volume c)

- Gist, G.A., Thompson, A.H. (1993) untuk batu pasir

$$v_p = -9,42 \phi + 5,81 - 2,21 c$$

(mengandung lempung dengan volume c)

$$v_s = -7,07 \phi + 3,89 - 2,04 c$$

(mengandung lempung dengan volume c)

- Klimentos (1991) untuk batu pasir:

$$v_p = -6,99 \phi + 5,87 \text{ (jenuh air)}$$

Penelitian secara empirik tentang kaitan antara konduktivitas panas (K) dengan kecepatan gelombang elastik P (v_p) telah penulis lakukan pada tahun 2000 dan 2001, hasilnya adalah (Irfan, M., 2000, 2001):

$$K = 0,0006 v_p + 0,0872 \text{ (batuan kerak Samudera Indonesia)}$$

$$K = 0,0007 v_p - 0,3878 \text{ (batuan kerak kontinen di Jerman)}$$

$$K = 0,0007 v_p + 0,4915 \text{ (batuan beku kering)}$$

$$K = 0,0006 v_p - 0,4685 \text{ (beton)}$$

$$K = 0,0005 v_p + 0,5165 \text{ (batuan Tangkuban Perahu)}$$

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Juni 2005 sampai dengan Oktober 2005 bertempat di Jurusan Fisika FMIPA UNSRI.

Langkah Penelitian yang dilakukan adalah:

1. Melakukan studi literatur yang berkaitan dengan konduktivitas panas dan kecepatan gelombang elastik
2. Melakukan permodelan arah aliran panas dan rambatan gelombang yang mengalir ke dalam model perlapisan batuan dengan arah yang sejajar, tegak lurus dan kombinasi sederhana terhadap matriks dan porositas batuan.
3. Menganalisis dan menurunkan rumusan yang menyatakan hubungan antara konduktivitas panas dengan kecepatan gelombang elastik pada 3 (tiga)

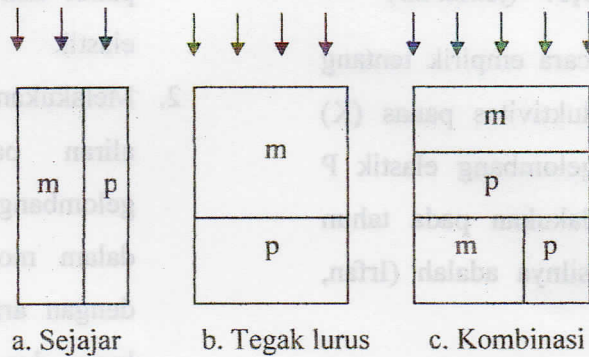
permodelan ini sampai akhirnya diharapkan akan didapatkan rumusan yang menggambarkan hubungan antara kedua besaran tersebut.

4. Menyimpulkan bentuk rumusan yang menghubungkan besaran konduktivitas panas dengan kecepatan gelombang elastik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan rumus dilakukan dengan membuat 3 (tiga) model arah aliran panas dan arah rambatan gelombang elastik terhadap matriks (m) dan porositas (p) batuan. Ketiga model tersebut adalah sejajar, tegak lurus, dan kombinasi sederhana yang dapat digambarkan sebagai berikut:

Arah aliran panas & rambatan gelombang



Gambar 1. Model arah aliran panas terhadap matriks dan porositas batuan

1. Model Sejajar

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu bahwa baik konduktivitas panas maupun kecepatan gelombang elastik mempunyai kaitan yang erat dengan

porositas, maka dalam proses ini kedua besaran tersebut akan dikaitkan dengan porositas sehingga diperoleh persamaan berikut:

(a). $K_1 = \mu K_m + \phi K_p$ [Horai and Simmons (1969) di dalam Horai (1991)]:

$$\begin{aligned} K_1 &= (1-\phi) K_m + \phi K_p; \\ &\text{dimana } \mu = (1-\phi) \\ &= K_m - \phi K_m + \phi K_p \\ &= K_m - \phi (K_m - K_p) \\ \phi (K_m - K_p) &= K_m - K_1; \\ \phi &= (K_m - K_1) / (K_m - K_p) \end{aligned} \quad (1)$$

(b). $V_1 = \mu V_m + \phi V_p$ [Horai and Simmons (1969) di dalam Horai (1991)]:

$$\begin{aligned} V_1 &= (1-\phi) V_m + \phi V_p \\ &= V_m - \phi V_m + \phi V_p \\ &= V_m - \phi (V_m - V_p) \\ \phi (V_m - V_p) &= V_m - V_1; \\ \phi &= (V_m - V_1) / (V_m - V_p) \end{aligned} \quad (2)$$

Dari persamaan 1 dan 2 diperoleh:

$$\begin{aligned} (K_m - K_1) / (K_m - K_p) &= (V_m - V_1) / (V_m - V_p) \\ (K_m - K_1) &= (K_m - K_p) [(V_m - V_1) / (V_m - V_p)] - K_1 \\ &= [-V_1 (K_m - K_p) / (V_m - V_p)] \\ &+ [V_m (K_m - K_p) / (V_m - V_p)] - K_m \\ K_1 &= [(K_m - K_p) / (V_m - V_p)] V_1 - \\ &[V_m (K_m - K_p) / (V_m - V_p)] + K_m \end{aligned}$$

Dapat ditulis sebagai:

$K_1 = AV_1 - B$ yang menyatakan K_1 mempunyai hubungan yang linier dengan V_1 , dimana

$$A = [(K_m - K_p) / (V_m - V_p)];$$

$$B = [V_m (K_m - K_p) / (V_m - V_p)] + K_m$$

K_1 = Konduktivitas panas total untuk model 1 (model sejajar)

K_m = Konduktivitas panas matriks batuan

K_p = Konduktivitas panas pori batuan; ϕ = porositas batuan

2. Model Tegak Lurus

Menurut Horai and Simmons (1969) di dalam Horai (1991) untuk model tegak lurus:

$$\begin{aligned} (a). \quad (1/K_2) &= (\mu/K_m) + (\phi/K_p) \\ &= (1-\phi)/K_m + (\phi/K_p) \\ &= (1/K_m) - (\phi/K_m) + (\phi/K_p) \\ &= (1/K_m) - \phi [(1/K_m) - (1/K_p)] \\ &= (1/K_m) - \phi [(K_p - K_m) / (K_m K_p)] \\ &= (1/K_m) - \phi (K_a/K_b); \text{ dimana } K_a \\ &= K_p - K_m \text{ dan } K_b = K_m K_p \\ \phi (K_a/K_b) &= (1/K_m) - (1/K_2); \\ \phi &= (K_m - K_1) / (K_m - K_p) \\ \phi &= - (1/K_2)(K_b/K_a) \\ &+ (1/K_m)(K_b/K_a) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 \text{(b). } (1/V_2) &= (\mu/V_m) + (\phi/V_p) \\
 &= (1-\phi)/V_m + (\phi/V_p) \\
 &= (1/V_m) - (\phi/V_m) + (\phi/V_p) \\
 &= (1/V_m) - \phi [(1/V_m) - (1/V_p)] \\
 &= (1/V_m) - \phi [(V_p - V_m)/(V_m V_p)] \\
 &= (1/V_m) - \phi (V_a/V_b); \text{ dimana } V_a \\
 &= V_p - V_m \text{ dan } V_b = V_m V_p \\
 \phi (V_a/V_b) &= (1/V_m) - (1/V_2); \\
 \phi &= (V_m - V_1)/(V_m - V_p) \\
 \phi &= - (1/V_2)(V_b/V_a) \\
 &+ (1/V_m)(V_b/V_a) \quad (5)
 \end{aligned}$$

Dari persamaan (4) dan (5) diperoleh:

$$\begin{aligned}
 (1/K_2)(K_b/K_a) + (1/K_m)(K_b/K_a) \\
 &= (1/V_2)(V_b/V_a) + (1/V_m)(V_b/V_a) \\
 (1/K_2)(K_b/K_a) &= (1/V_2)(V_b/V_a) \\
 &+ (1/V_m)(V_b/V_a) - (1/K_m)(K_b/K_a) \\
 (1/K_2) &= (1/V_2)(V_b/V_a)(K_a/K_b) \\
 &+ [(1/V_m)(V_b/V_a) \\
 &- (1/K_m)(K_b/K_a)] (K_a/K_b)
 \end{aligned}$$

$(1/K_2) = (1/V_2) C + D$ yang menyatakan K_2 mempunyai hubungan yang linier dengan V_2 (6)

$$\text{atau } K_2 = V_2 / (C + DV_2) \quad (7)$$

Dengan

$$C = (V_b/V_a)(K_a/K_b);$$

$$\begin{aligned}
 D &= [(1/V_m)(V_b/V_a) \\
 &- (1/K_m)(K_b/K_a)](K_a/K_b)
 \end{aligned}$$

3. Model Kombinasi Sederhana

Menurut Horai and Simmons (1969) di dalam Horai (1991), untuk kombinasi sederhana seperti gambar 1.c konduktivitas panasnya adalah harga rata-rata dari dua bentuk dasar sejajar dan tegak lurus adalah:

$$\begin{aligned}
 K_C &= \frac{1}{2} (K_1 + K_2) \\
 &= \frac{1}{2} [AV_1 - B + (V_2 / (C + CV_2))] \\
 &= \frac{1}{2} [AV_1 + (1/(C + CV_2))V_2] - \frac{1}{2} [B] \\
 &= \frac{1}{2} [AV_1 + (1/(C + CV_2))V_2] - D
 \end{aligned}$$

$K_C = V_C - D$ yang menyatakan K_C mempunyai hubungan yang linier dengan V_C . (8)

Dengan :

$$\begin{aligned}
 V_C &= \frac{1}{2} [AV_1 + (1/(C + CV_2))V_2]; \\
 D &= \frac{1}{2} [B]
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari ketiga model yang dibangun di atas dapat dibuktikan bahwa hubungan antara konduktivitas panas dan kecepatan gelombang elastik secara teoritis adalah linier. Hal ini bersesuaian dengan hasil secara empirik yang telah diperoleh sebelumnya yang menyatakan bahwa hubungan antara kedua parameter tersebut juga linier.

PENUTUP

Penelitian ini memperkuat hasil penelitian secara empirik bahwa konduktivitas panas dan kecepatan gelombang elastik mempunyai hubungan linier. Meskipun demikian penulis berfikir bahwa masih perlu dilakukan kajian teoritis lebih lanjut terutama untuk model kombinasi arah aliran panas dan arah rambatan gelombang yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- Gist, G.A., Thompson, A.H., 1993, Wave velocities in sandstones from elastic network simulations, *Geophysics*, 58, 334-356
- Han, D., Nur, A., 1986, Effects of porosity and clay content on wave velocities in sandstones, *Geophysics*, 51, 2093-2107.
- Horai K, 1991, Thermal conductivity of Hawaiian Basalt, *Journal of Geophysics Research*, 96, 4125-4132
- Irfan, M., 2000, Penentuan hubungan empirik antara konduktivitas panas dengan kecepatan gelombang elastic-p pada batuan vulkanik, *Jurnal Penelitian Sains*.
- Irfan, M., 2001, Analisis terhadap relasi empirik antara konduktivitas panas dengan kecepatan gelombang elastic pada batuan beku, *Jurnal Ilmiah Mipa*.
- Irfan, M., 2005. Kajian teoritis untuk mencari rumusan hubungan antara konduktivitas panas dengan cepat rambat gelombang pada batuan, *Laporan Penelitian*.
- Klimentos, T., 1991, The effect of porosity-permeability-clay content on velocity of compressional waves, *Geophysics*, 56, 1930-1939
- Schon, J.H., 1996, Physical properties of rocks: fundamentals and principles of petrophysics, Pergamon, Austria
- Strack, V.M, Ibrahim, A.W., 1982, A method for determination of the thermal conductivity of sandstones using a variable state approach, *Geophysical Prospecting*, 30, 454-469.