

PENENTUAN HUBUNGAN EMPIRIK ANTARA KONDUKTIVITAS PANAS DENGAN KECEPATAN GELOMBANG ELASTIK-P PADA BATUAN VULKANIK

Muhammad Irfan
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mencari hubungan empirik antara konduktivitas panas dengan kecepatan perambatan gelombang elastik-P untuk suatu sampel batuan vulkanik. Penentuan hubungan kedua parameter tersebut dilakukan melalui eksperimen di laboratorium dan penghitungan secara statistik. Hasilnya menunjukkan bahwa kedua parameter tersebut mempunyai relasi linier yang signifikan.

PENDAHULUAN

Konduktivitas panas batuan merupakan parameter yang sangat penting dalam geofisika. Sebagai contoh, parameter konduktivitas panas batuan ini diperlukan sebagai salah satu parameter masukan untuk pemodelan geotermal dan pemodelan proses aliran panas gunung api (vulkanologi).

Pengukuran konduktivitas panas batuan secara *in situ* (kondisi lapangan) sulit dilakukan. Karena itu penggunaan metoda tak langsung untuk memprediksi konduktivitas panas dari parameter lain yang lebih mudah diukur akan menjadi bermanfaat.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari hubungan empirik antara konduktivitas panas (λ)

dengan kecepatan perambatan gelombang elastik P (V_p) pada suatu sampel batuan, karena kedua parameter ini mempunyai fenomena yang sama serta data kecepatan perambatan gelombang P relatif lebih mudah diperoleh. Kesamaan fenomena yang dimaksud adalah kedua parameter ini bergantung pada jenis matriks batuan dan porositas batuan. Sedangkan data kecepatan gelombang P mudah diperoleh melalui pengukuran dengan metoda seismik refraksi dan eksperimen di laboratorium.

Penentuan hubungan kedua parameter tersebut di atas dilakukan dengan melakukan eksperimen di laboratorium. Eksperimen dilakukan di laboratorium Fisika Bumi ITB yaitu dengan mengukur konduktivitas panas batuan menggunakan seperangkat alat pengukur

konduktivitas panas dan kecepatan perambatan gelombang elastik P dengan alat sonic viewer. Sampelnya adalah batuan vulkanik dari daerah Tangkuban Perahu di Jawa Barat.

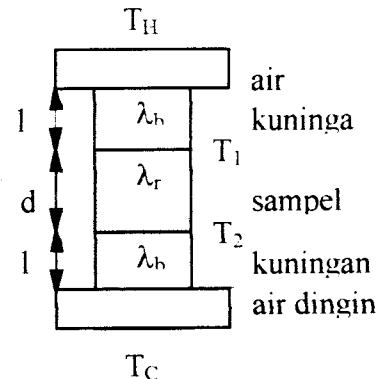
METODOLOGI PENELITIAN

- Melakukan eksperimen di laboratorium untuk mengukur nilai λ dan V_p pada sampel.
- Mencari hubungan empirik antara λ dan V_p berdasarkan data hasil eksperimen.
- Melakukan uji statistik terhadap relasi empirik yang didapat.
- Menyimpulkan relasi antara λ dan V_p berdasarkan hasil eksperimen dan uji statistik.

Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan mengukur konduktivitas panas batuan dan kecepatan gelombang elastik pada 14 buah sampel batuan vulkanik di permukaan Gunung Tangkuban Perahu. Sampel batuan dibuat menjadi berbentuk silinder dengan tebal (tinggi) dan diameter tertentu.

Pengukuran konduktivitas panas



Gambar 1. Alat uji laboratorium untuk mengukur konduktivitas panas sampel batuan

Langkah-langkah pengukuran

1. Isi reservoir dingin dengan air dingin dan es, sedangkan reservoir panas diisi dengan air yang terlebih dahulu dipanaskan hingga temperatur mencapai 91°C .
2. Lakukan kalibrasi pembacaan termokopel dengan menggunakan termometer.
3. Catat hasil kalibrasi ini dan tentukan faktor kalibrasinya.
4. Ukur tinggi sampel dengan menggunakan jangka sorong (lakukan beberapa kali).
5. Nyalakan alat heater pada reservoir panas dan biarkan hingga temperatur mencapai $\pm 91^{\circ}\text{C}$.
6. Nyalakan alat baca termokopel. Periksa bacaan pada masing-masing termokopel.
7. Catat temperatur yang ditunjukkan oleh alat baca untuk masing-masing termokopel. Setiap (1) satu menit selama 15 (lima belas) menit ulangi terus pembacaan ini.

Penghitungan

Rumus yang berlaku adalah:

$$\frac{T_1 - T_2}{T_H - T_1} = \frac{\lambda_b d}{\lambda_r l}$$

dimana:

T_1 = temperatur antara kuningan atas dan sampel
 (lihat Gambar 1)

T_2 = temperatur antara kuningan bawah dan sampel

T_H = temperatur pada bejana berisi air mendidih

λ_r = konduktivitas panas sampel

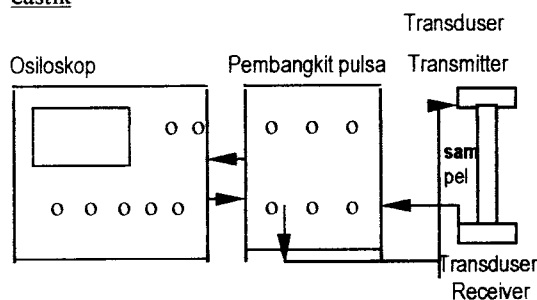
λ_b = konduktivitas panas kuningan = 11,2 W/mK

d = tebal (tinggi) sampel batuan

l = panjang kuningan

Dengan mengukur $T_1, T_2, T_H, l,$ dan d untuk setiap sampel batuan, dan dengan melakukan perhitungan memakai rumus di atas akan diperoleh λ_r untuk setiap sampel batuan.

Pengukuran kecepatan perambatan gelombang elastik



Gambar 2. Rangkaian alat pengukur kecepatan gelombang elastik

Langkah-langkah Pengukuran

1. Susunlah rangkaian alat seperti pada Gambar 2.
2. Nyalakan pembangkit pulsa dan osiloskop.
3. Catat panjang garis horisontal (*delay time*) yang nampak pada osiloskop.
4. Ukur panjang setiap sampel dengan menggunakan jangka sorong.

Penghitungan

Jika diketahui panjang setiap sampel adalah l dan waktu tempuh gelombang elastik pada sampel batuan tersebut adalah t , maka kecepatan perambatan gelombang elastik (v) pada sampel tersebut adalah:

$$v = l/t$$

Uji Statistik

Uji ini dimaksudkan untuk mengetahui signifikansi korelasi yang didapat. Uji ini dilakukan terhadap setiap hasil korelasi pada data hasil eksperimen. Untuk mencari koefisien korelasinya (r) digunakan persamaan-persamaan berikut::

Untuk suatu persamaan garis: $y = Ax + B$

$$SS_{xx} = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n};$$

$$SS_{yy} = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n};$$

$$SS_{xy} = \sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}$$

- Koefisien korelasi: $r = \frac{SS_{xy}}{\sqrt{SS_{xx} \cdot SS_{yy}}}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

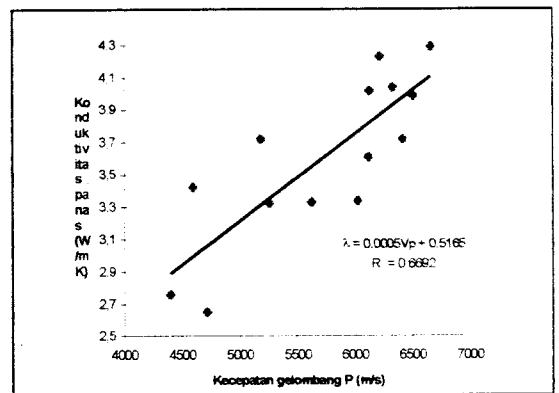
Data akhir hasil eksperimen dan penghitungan tercantum pada Tabel berikut ini:

Tabel Nilai kecepatan gel. P dan konduktivitas panas untuk sampel batuan vulkanik permukaan Tangkuban Perahu.

No. Sampel	V_p (m/s)	λ (W/mK)
2B	5625,02	3,33
2E	4397,39	2,76
3F	4596,22	3,42
1I	4716,65	2,65
3H	6417,48	3,72
1A	6129,81	4,02
1F	6024,58	3,34
2N	6508,42	3,99
1N	6661,53	4,29
2A	6332,41	4,04
6D	5185,02	3,72
2M	5255,45	3,32
1J	6216,62	4,23
3B	6121,97	3,61

Hasil eksperimen menunjukkan adanya hubungan linier antara konduktivitas panas dengan kecepatan perambatan gelombang elastik P untuk sampel batuan dari Tangkuban Perahu ini (Gambar 3), yaitu: $\lambda = 0,0005 V_p + 0,5165$ dimana λ dalam W/mK dan V_p dalam m/s.

Grafik relasi kedua parameter tersebut adalah:



Gambar 3. Grafik relasi konduktivitas panas dengan kecepatan gel. P untuk sampel batuan vulkanik permukaan Tangkuban Perahu.

Koefisien korelasi (r) untuk kedua jenis data (λ dan V_p) di atas adalah: $r = (0,6692)^{0,5} = 0,81$. Untuk menguji apakah kedua jenis data mempunyai korelasi yang signifikan, maka digunakan uji statistik. Dalam uji ini akan dicari probabilitas koefisien korelasinya. Bila probabilitas (P) < 95% maka kedua jenis data mempunyai korelasi yang tidak signifikan atau kita tidak boleh menarik kesimpulan bahwa kedua jenis data tersebut mempunyai korelasi (Hald, 1952^a).

Rumusnya adalah:

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{f}; \quad f = n - 2 \quad (n = \text{jumlah}$$

pengukuran/data)

Untuk data di atas:

$$t = \frac{0,81}{\sqrt{1-0,6692}} \sqrt{(14-2)} = 4,92$$

Berdasarkan Tabel *Fractile of the t distribution*, untuk $f = 10$ dan $t = 4,92$ nilai P adalah 99,5%. Karena $P > 95\%$ maka dapat disimpulkan bahwa λ dan V_p untuk data batuan vulkanik tersebut mempunyai **korelasi yang signifikan**.

KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil eksperimen dan pengujian secara statistik dapat disimpulkan bahwa bentuk relasi antara konduktivitas panas batuan dengan kecepatan perambatan gelombang elastik P pada sampel batuan vulkanik adalah linier dan signifikan. Karena bentuk relasinya unik dan signifikan maka sangat mungkin untuk memprediksi parameter konduktivitas panas berdasarkan parameter kecepatan perambatan gelombang elastik P.
- Hubungan empirik yang diperoleh melalui penelitian ini adalah:

$$\lambda = 0,0005 V_p - 0,5165 \quad (\text{batuan Tangkuban Perahu})$$

dimana: λ = konduktivitas panas batuan (W/mK)

V_p = kecepatan gelombang elastik P (m/s)

Saran

Eksperimen yang dilakukan masih dalam kondisi laboratorium, sehingga relasi empirik yang dihasilkan diharapkan dapat digunakan hanya untuk memprediksi parameter dalam kondisi lapangan. Agar relasinya dapat digunakan langsung untuk parameter pada kondisi lapangan, maka perlu dipikirkan suatu metoda penelitian lebih lanjut untuk mencari transformasi dari kondisi laboratorium ke kondisi lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, R.E, Markus, G.L., Dennis, E.H., Teruhiko, W., dan Masashi, Y., 1978, *A gheophysical atlas east and southeast asian seas: heat flow, thermal conductivity, and thermal gradient*, International Decade of Ocean Exploration (IDOE) of International Science Foundatiion.
- Fauzi, U., 1998, menjelaskan kepada saya tentang: *relasi antara kecepatan perambatan gelombang elastik dengan konduktivitas panas batuan*.
- Gist, G.A., Thompson, A.H., Katz, AJ., Berry, M.J., 1993. *Wave velocities in sandstones from*

- elastic network simulations*, Geophysics, 58, 334-356.
- Hald, A., 1952^a, *Statistical theory with engineering applications*, John Wiley & sons Inc., Canada.
- Hald, A., 1952^b, *Statistical Tables and formulas*, John Wiley & sons Inc., Canada.
- Han, D., Nur, A., dan Morgan, D., 1986, *Effects of porosity and clay content on wave velocities in sandstones*, Geophysics, 51, 2093-2107.
- Hayes, D.E., Robert, E.H., Richard, D.J., Cary, L.M., dan Teruhiko, W., 1978, *A geophysical atlas east and southeast asian seas: crustal structure*, International Decade of Ocean Exploration (IDOE) of International Science Foundation.
- Horai, K., 1991, *Thermal conductivity of Hawaiian basalt: A new interpretation of Robertson and Peck's data*, J. of Geoph. Research, 96, 4125-4132.
- Klimentos, T., 1991, *The effects of porosity-permeability-clay content on velocity of compressional waves*, Geophysics, 56, 1930-1939.
- Clave, J.T., dan Dietrich II, F.H., 1992, *A first course in statistics*, Mc. Millan Inc., USA.
- Robertson, E.C., dan Peck, D.L., 1974, *Thermal conductivity of vesicular basalt from Hawaii*, J. of Geoph. Research, 79, 4875-4888.
- Sheriff, R.E., dan Geldart, L.P., 1995, *Exploration Seismology*, Cambridge University Press, USA.