

DOI: doi.org/10.21009/03.SNF2017.02.EPA.14

# PENGARUH DISTRIBUSI UKURAN BUTIRAN TERHADAP KOMPLEKSITAS ALIRAN FLUIDA PADA MODEL BATUAN BERPORI 3D

Nur Rahmi<sup>1, a)</sup>, M Najib Alyasyfi<sup>1</sup>, Peny Saptiani<sup>1</sup>, E Riska Rahayu P<sup>1</sup>,  
Fourier D E Latief<sup>2</sup>, Selly Feranie<sup>1, b)</sup>

<sup>1</sup>Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA UPI Jl. Dr. Setiabudi No 299, Bandung 40154

<sup>2</sup>Fisika Bumi dan Sistem Kompleks FMIPA ITB, Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132

Email: a)nur.rahmi44@gmail.com, b)feranie@upi.edu,

## Abstrak

Perbedaan distribusi ukuran butiran (sorting) pada batuan berpori mempengaruhi kompleksitas aliran fluida walaupun batuan tersebut memiliki porositas yang sama. Hal tersebut dapat dianalisis dengan melakukan pemodelan sederhana yang mengasumsikan butiran dapat direpresentasikan dalam bentuk bulat sempurna yang saling tumpang-tindih. Model batuan dapat dibuat dengan mengatur parameter-parameter utama yaitu jari-jari butiran hingga porositas yang diinginkan tercapai. Dari model yang dibuat, kompleksitas aliran fluida dapat dianalisis dengan menggunakan parameter tortuositas dalam arah  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  pada model batuan tersebut. Tortuositas dihitung sebagai perbandingan antara jejak aliran yang melewati pori-pori yang terhubung terhadap panjang sisi pada arah aliran model batuan, dan pelacakan jejak aliran dilakukan dengan metode *cubical full random walk*. Semakin besar nilai tortuositas, semakin kompleks pula aliran fluida tersebut. Pada pengukuran kompleksitas aliran fluida pada batuan ini, porositas dibuat sama untuk tiga model, yaitu sebesar 15%. Model batuan berpori disusun dengan menempatkan butiran yang memiliki jari-jari yang bervariasi (kecil, sedang, dan besar) yang terdistribusi secara acak dan dapat saling tumpang-tindih dalam medium berukuran  $200 \times 200 \times 200$ . Dari hasil perhitungan yang dilakukan nilai tortuositas tidak memberikan pola yang spesifik untuk ketiga sampel pada tiga arah pelacakan jalur yang berbeda. Hal tersebut mengindikasikan bahwa medium dengan porositas dapat memiliki kompleksitas yang beragam dan anisotropik.

**Kata-kata kunci:** distribusi pori, tortuositas, kompleksitas aliran, model batuan berpori

## Abstract

Differences in the distribution of grain size (sorting) in porous rocks can affect the fluid flow complexity even though they have the same porosity. It can be analyzed by performing simple modeling that assumes granules can be represented in perfect overlapping, rounded forms. Rock models can be made by setting the main parameters of the granular radius until the desired porosity is reached. From the model made, the fluid flow complexity can be analyzed by using the tortuosity parameters in the  $x$ ,  $y$ , and  $z$  directions of the rock model. Tortuosity is calculated as a comparison between the flow traces passing through the pores connected to the length of the side in the direction of the rock model flow, and trace flow tracking is done by the full random walk cubical method. In measuring the fluid flow complexity in this rock, porosity is made equal to three models, which is 15%. Porous rock models are arranged by placing the grains of varying radius (small, medium, and large) that are randomly distributed and overlapping in a  $200 \times 200 \times 200$  medium. From the results of calculations performed tortuosity values do not provide a specific pattern for the three samples in three different path tracking directions. This indicates that the medium with porosity can have diverse and anisotropic complexities.

**Keywords:** porous distribution, tortuosity, complexity of fluid flow, model of porous rock

## PENDAHULUAN

Batuan merupakan benda alam yang menjadi penyusun utama material bumi, sehingga mudah ditemukan. Dalam bidang petrofisika, sebagai sebuah medium berpori, batuan dapat dianggap tersusun dari dua fasa yang berbeda, yaitu matriks padatan dan ruang pori-pori [1]. Karakteristik batuan penting untuk diketahui dalam rangka memahami sifat-sifat yang terkait dengan fakta bahwa batuan berpori merupakan tempat penyimpanan cadangan sumber energi fosil (hidrokarbon) dalam wujud fluida. Misalnya saja kadar kandungan minyak bumi dapat diperkirakan secara kasar dengan menganalisis fraksi pori-pori batuan tersebut. Di sisi lain, fluida hidrokarbon (minyak maupun gas bumi) dapat dengan mudah diekstrak jika struktur pori yang saling terhubung memiliki jaringan yang sederhana.

Hal tersebut dapat dipahami dengan lebih baik melalui analisis pori batuan yang lebih detil pada kajian mikrostruktur batuan. Mempelajari mikro-struktur batuan, dapat dilakukan dengan melakukan pemodelan berbasis komputer, yaitu dengan membuat model digital dari mikrostruktur batuan berpori. Pengembangan pemodelan batuan menggunakan komputasi telah dilakukan oleh banyak peneliti dengan beragam pendekatan, misalnya saja dengan metode random lattice solid model [2]. Beberapa penelitian lain mengenai pemodelan media berpori dilakukan oleh Sun (1998) [8] dan Teo (2006)[9]. Model batuan berpori dengan fraktal juga sebelumnya telah dikembangkan oleh Selly (2010)[4].

Pemodelan struktur mikro batuan dapat membantu memahami karakteristik dari batuan tersebut dengan mengatur parameter secara tidak terikat. Lain halnya dengan menggunakan sampel asli yang memiliki keterbatasan dalam hal keberagamannya yang spesifik dan tidak selalu bisa didapatkan sesuai dengan analisis yang diperlukan. Model sederhana dapat digunakan untuk menganalisis hubungan antara berbagai besaran fisika dengan parameter mikro sehingga besaran fisis penting seperti porositas, permeabilitas, dan tortuositas batuan dapat diperkirakan berdasarkan hubungan yang diperoleh [3].

Dalam berbagai studi mengenai medium berpori khususnya batuan, analisis citra digital digunakan untuk mengetahui karakteristik struktur pori karena eksperimen dalam hal pengkajian kompleksitas aliran fluida pada medium berpori akan lebih mudah dilakukan [4-13]. Misalnya saja, telah diketahui bahwa tortuositas dapat dijadikan parameter untuk menentukan sifat anisotropik medium berpori dari perbandingan nilai tortuositas pada arah sumbu x, y, dan z. Model batuan dapat dibuat sedemikian rupa dalam rangka menganalisis keterkaitan antara distribusi ukuran butiran penyusun matriks padatan terhadap kompleksitas aliran fluida di dalamnya.

Pembuatan model batuan berpori dalam studi ini ditujukan untuk menganalisis apakah besaran tortuositas dipengaruhi secara spesifik oleh parameter struktur lain, dalam hal ini adalah distribusi ukuran butiran penyusun matriks padatannya.

## METODE PENELITIAN

Model 3D batuan berpori dibuat menggunakan dengan mendistribusikan butiran batuan berbentuk bulat sempurna (pure spherical grains) yang dapat saling tumpang-tindih pada medium model 3D berukuran 200×200×200 piksel sampai model batuan mencapai porositas 15%. Jari-jari dari ketiga model yang dibuat bervariasi dengan ukuran yang dicantumkan dalam Tabel 1.

**TABEL 1.** Parameter pemodelan yang dibuat.

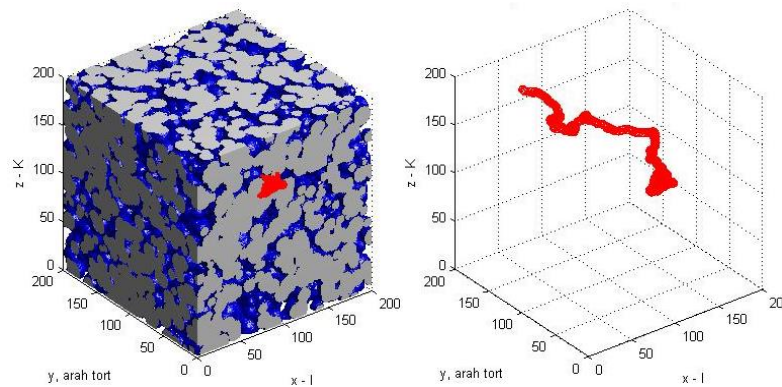
Sampel	Porositas	Ukuran Butiran
1.	15%	5-10 piksel (kecil)
2.	15%	15-20 piksel (sedang)
3.	15%	20-25 piksel (besar)

Kompleksitas medium dianalisis dengan menghitung terlebih dahulu tortuositas jalur aliran pro terhubung. Jalur aliran dilacak dengan metode *cubical full random walk* yang telah dikembangkan oleh Fauzi dan Ariwibowo [13] yang kemudian dikembangkan oleh Feranie dkk [12]. Nilai tortuositas dari jalur yang sudah terlacak tersebut dihitung dari perbandingan dari panjang lintasan yang terbentuk oleh pori  $L'$  dengan panjang sisi medium  $L$ . Perhitungan tortuositas ( $\tau$ ) dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (1).

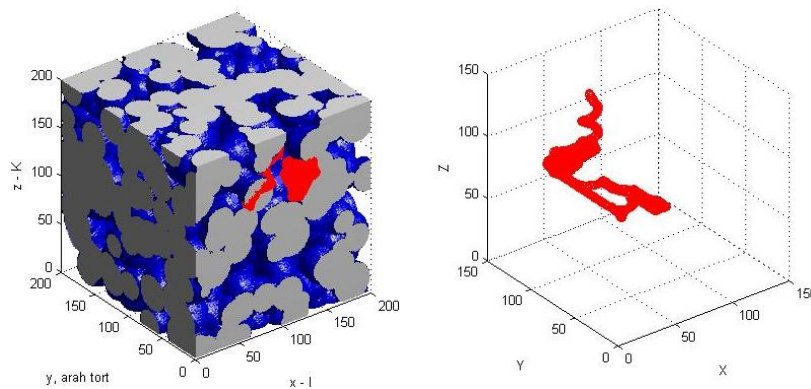
$$\tau \equiv \frac{L'}{L} \tag{1}$$

### HASIL DAN PEMBAHASAN

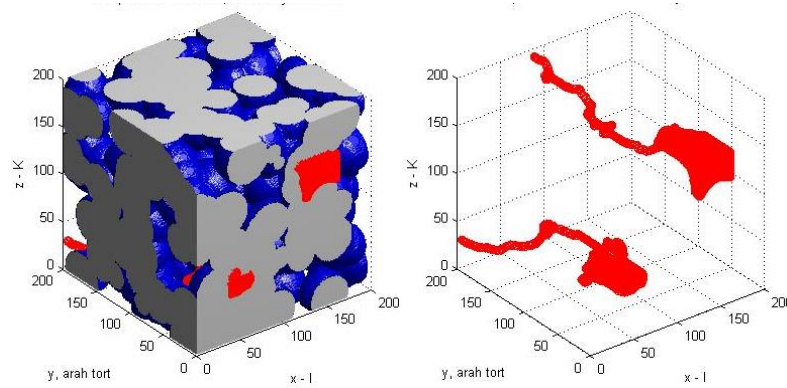
Model yang dihasilkan serta hasil pelacakan jalur aliran dalam pori terhubung (ditunjukkan oleh warna merah) diperlihatkan pada Gambar 1. Model yang dibuat menggambarkan keadaan struktur medium berpori yang diinginkan, yaitu memiliki distribusi ukuran yang berbeda.



(a) Sampel 1, porositas 15%, ukuran jari-jari butiran kecil, rata-rata tortuositas 1.95



(b) Sampel 2, porositas 15%, ukuran jari-jari butiran sedang, rata-rata tortuositas 2.71



(c) Sampel 3, porositas 15%, ukuran jari-jari butiran besar, rata-rata tortuositas 4.40

**GAMBAR 1.** Model batuan berpori 3D (a)-(c) menunjukkan aliran fluida yang terdapat pada batuan

**TABEL 2.** Nilai tortuositas pada sumbu x, y dan z dari model batuan berpori 3D.

Sampel	Jumlah Butiran	Rata-rata Jumlah Jalur Aliran	Tortuositas		
			x	y	Z
1.	8031	512	1.58	2.09	2.18
2.	782	580	1.50	3.58	3.06
3.	379	936	8.47	3.54	1.20

Hasil perhitungan tortuositas arah  $x$ ,  $y$  dan  $z$  ditunjukkan pada Tabel 2. Dari data tersebut dapat ditunjukkan bahwa dengan nilai porositas yang sama, ketiga model memiliki nilai tortuositas yang berbeda di setiap arah alirannya. Selain dari pada itu, dapat ditunjukkan juga bahwa sampel 3 memiliki anisotropi yang paling besar dibandingkan dengan sampel yang lain.

### SIMPULAN

Dari hasil perhitungan yang dilakukan nilai tortuositas tidak memberikan pola yang spesifik untuk ketiga sampel pada tiga arah pelacakan jalur yang berbeda. Hal tersebut mengindikasikan bahwa medium dengan porositas dapat memiliki kompleksitas yang beragam dan anisotropik.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Kami selaku penulis mengucapkan terimakasih kepada Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA UPI dan seluruh mahasiswa perkuliahan Analisis Komputasi Geofisika UPI 2017 yang telah memberikan masukan dalam penyelesaian dan penyempurnaan hasil makalah ini.

## REFERENSI

- [1] Pape, H., Riepe, L., & Schopper, J. R. (1987). Interlayer conductivity of rocks—A fractal model of interface irregularities for calculating interlayer conductivity of natural porous mineral systems. *Colloids and Surfaces*, 27(1-3), 97-122
- [2] Mora, P., & Place, D. (1993). A lattice solid model for the nonlinear dynamics of earthquakes. *International Journal of Modern Physics C*, 4(06), 1059-1074
- [3] Waslaluddin. (2009). Karakterisasi dan pemodelaan Struktur Pori Batuan Berpotensi Reservoir Geothermal Berbasis Analisis Citra. Penelitian Hibah Bersaing DIPA UPI 2009
- [4] FDE Latief, U Fauzi (2012), Kozeny–Carman and empirical formula for the permeability of computer rock models. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 50, 117-123
- [5] FDE Latief, TW Annisa, K. Umar, A. Annisofira (2015), Pore structure analysis of grain based model of sedimentary rock by means of digital image analysis. *AIP Publishing*, 1677, p.060004
- [6] CW Winardhi, FI Maulana, FDE Latief. (2016). Permeability Estimation of Porous Rock by Means of Fluid Flow Simulation and Digital Image Analysis. *IOP Publishing*. 29, p. 012005
- [7] Hongbin Sun (1998), Manfred Koch. Fractal generation of surface area of porous media. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 12 83-96
- [8] Lay Lian Teo, B. S. Daya Sagar (2006), Modeling, Description, And Characterization Of Fractal Pore Via Mathematical Morphology, Hindawi Publishing Corporation Discrete Dynamics in Nature and Society, Volume 2006, Article ID 89280, Pages 1–24, DOI 10.1155/DDNS/2006/89280
- [9] S. Feranie (2010): Pemodelan Struktur Pori Dari Batuan Geologi Dengan Fraktal, Berkala Fisika Vol. 12, No. 3, hal 91-96.
- [10] Kenneth Lee Cowan. *The fractal dimension as petrophysical parameter*. Austin, p. 69-99
- [11] Henstschel F, Besthorn C, Schmidt MH (1997), The fractal dimension as an imaging parameter in CT scans of patients with anorexia nervosa before and after therapy, *Z Kinder Jugendpsychother*, 201-6
- [12] S. Feranie, U. Fawzi, and S. Bijaksana (2011), 3D fractal dimension and flow properties in the pore structure of geological rocks, *Fractals*, Vol. 19, No. 3, p.291-207.
- [13] U. Fauzi dan T. Ariwibowo. (2006): Tortuosity and Coordination Number of Highly Porous Artificial Rocks Created Using Random Number Generator. Proceedings of ICMNS 2006.

