

## **Pemodelan Struktur Pori Dari Batuan Geologi Dengan Fractal**

**S. Ferani**

Jurusan pendidikan fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Pendidikan Indonesia  
Email: [feranie@upi.edu](mailto:feranie@upi.edu)

### **Abstract**

*Has done modeling with fractal pore structure and fracture of geology rock. Sun and Koch (1998)[2] states that the geological formations of porous rock has a fractal nature ..Modeling the generated fractal porous media have been carried out, which generated fractal modeling has the potential high enough to be able to model the porous media, although the modeling parameters require optimization in order to generate fractal porous media a valid model with actual data. The studied rock samples taken from surface rock formations Parigi Cirebon, West Java. Fractal model is then validated by optimizing the parameters that appear in the modeling for valid with the data of rock that can be estimated by image analysis.*

**Key words:** *fractal, models, rock geology*

### **Abstrak**

*Telah dilakukan pemodelan dengan fractal struktur pori dan rekahan dari batuan geologi . Sun dan Koch (1998) menyatakan bahwa formasi batuan geologi berpori memiliki sifat fraktal[2].. Pemodelan media berpori yang digenerasi fraktal telah banyak dilakukan , pemodelan yang digenerasi fraktal memiliki potensial yang cukup tinggi untuk dapat memodelkan media berpori walaupun dalam pemodelannya memerlukan optimasi parameter-parameter dalam menggenerasi fraktal untuk dapat memodelkan media berpori yang valid dengan data sebenarnya. Sampel batuan yang diteliti diambil dari batuan permukaan formasi parigi Cirebon, Jawa Barat. Model fraktal ini lalu divalidasi dengan mengoptimasi parameter-parameter yang muncul dalam pemodelan agar valid dengan data-data batuan yang dapat diestimasi melalui analisis citra*

**Kata-Kata Kunci:** *fraktal, model, batuan geologi*

### **PENDAHULUAN**

Pemodelan yang digenerasi oleh fraktal telah mencakup berbagai bidang dan berdasarkan penelitian sebelumnya Sun dan Koch (1998) menyatakan bahwa formasi batuan geologi berpori memiliki sifat fractal [2].

Pemodelan media berpori yang digenerasi fraktal telah banyak dilakukan, diantaranya: Wei-Wei (2006)[3], Teo (2006)[4], Wang (2005)[5], Sun (1998)[2], Pape (1999)[1] dan Mistakidis (1997)[6]. Salah satu contohnya adalah penelitian yang dilakukan Wang (2005) yang mengembangkan fungsi retensi air tanah berdasarkan model fraktal pori-solid (PSF = pore-solid fraktal) untuk menggambarkan dan menginterpretasi secara akurat sifat hidroliknya[5]. Fungsi yang digenerasi oleh PSF ini lalu dikomparasi dengan 65

data tanah. Hasil penelitiannya menunjukkan fungsi PSF cocok dengan data hasil pengukuran

Penelitian lain yang telah dilakukan adalah penelitian Pape dkk (1999) yang memprediksi permeabilitas dari distribusi ukuran pori[1]. Pape memperkenalkan pendekatan yang murah dan dapat diaplikasikan untuk mendapatkan informasi permeabilitas skala sampel inti (*core*) dan bor. Pendekatan yang digunakan secara teori berdasarkan suatu model fraktal untuk struktur internal media berpori. Dari pemodelan ini didapatkan bahwa permeabilitas dipengaruhi porositas baik langsung dari porositas maupun dari distribusi ukuran pori. Hubungan ini berlaku di seluruh spektrum sandstone. Hasil perumusan permeabilitas untuk setiap tipe batuan yang berbeda dikalibrasi dengan 640

data batuan yang sudah terukur sifat batuanya pada sampel *core* sandstone di Lower Permian, Timur Laut Jerman. Dengan sedikit modifikasi, model ini dapat diterapkan untuk batuan beku dan metamorhik. Dan hasil penelitian menunjukkan permeabilitas hasil perhitungan cocok dengan permeabilitas hasil pengukuran sampel batuan sedimen dan metamorf.

Fraktal adalah objek yang memiliki kemiripan dengan dirinya sendiri (self similarity) pada skala yang berbeda. Ini berarti, bagian-bagian dari objek akan tampak sama dengan objek itu sendiri bila dilihat secara keseluruhan [7].

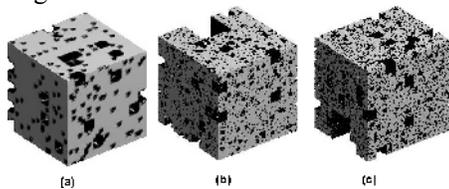
Model fractal 3D untuk pemodelan struktur pori pada paper ini adalah model menger sponges. Deskripsi Model Fraktal 3D Struktur pori dan besaran fisis yang dikomparasi diuraikan sebagai berikut: Parameter pemodelan untuk menggenerasi model menger sponges ini adalah porositasawal (p), faktor skala (s) dan iterasi (i). Untuk mengkontruksi model ini dapat dipelajari dalam referensi teori fraktal [6]. Porositas pada iterasi ke-i dinyatakan oleh

$$p_i = 100 \left( 1 - \left( 1 - \frac{p}{100} \right)^i \right) \quad (1)$$

dengan I adalah iterasi dan p adalah porositas awal/porositas pada iterasi pertama (dalam %). dimensi fractal matrik(solid) model menger sponges dinyatakan oleh

$$D_s = \frac{\log \left( s^2 - \frac{p * s^2}{100} \right)}{\log s} \quad (2)$$

Dengan s adalah factor skala



Gambar 1. Model menger sponges dengan dimensi fractal D=2.9299 dengan iterasi dan porositas (a) i=2, 14.27% (b) i=3, 20.62% (c) i=4,26.50%.

Besaran-besaran penting batuan diantaranya porositas, turtositas, bilangan koordinasi [8], [9], luas permukaan spesifik, jari-jari hidrolis dan permeabilitas. Besaran-besaran tersebut dapat diestimasi dari citra dalam bentuk data array dua dimensi maupun data array tiga dimensi. Bagian matriks batuan dan bagian pori digambarkan dengan perbedaan warna yang ekstrem. Misal pori batuan diberi warna putih, maka bagian matriks batuan diberi warna hitam. Gambar digital dipetakan sebagai grid titik atau elemen gambar (*pixels*). Setiap pixel merupakan nilai warna (hitam, putih, abu-abu atau warna) yang merepresentasikan kode biner (nol atau satu). Nilai setiap *pixel* juga memiliki makna nilai tingkat energi gelombang mikro yang dipantulkan oleh objek. *Binary digits* (bits) untuk setiap pixel dikirim secara berurutan oleh komputer dan selalu direduksi menjadi representasi matematik. Kemudian bits diinterpretasi dan dibaca oleh komputer untuk menghasilkan versi analog untuk kepentingan tampilan (*display*) atau cetak (*print*).

Citra 3D biner dapat didealkan sebagai matrik 3D dengan dua fase medium yang terdiri dari pori dan matrik.. Kita dapat mendefinisikan satu fungsi indikator f(x) untuk setiap posisi x dalam citra 3D tersebut. untuk tiap pori and matrik didefinisikan sebagai berikut:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{untuk pori} \\ 1 & \text{untuk matrik} \end{cases} \quad (3)$$

Porositas yang dikomparasi pada paper ini adalah poositas relative yang didefinisikan sbb:

$$\phi = \frac{\text{Volume pori total}}{\text{Volume total batuan}} \times 100\%$$

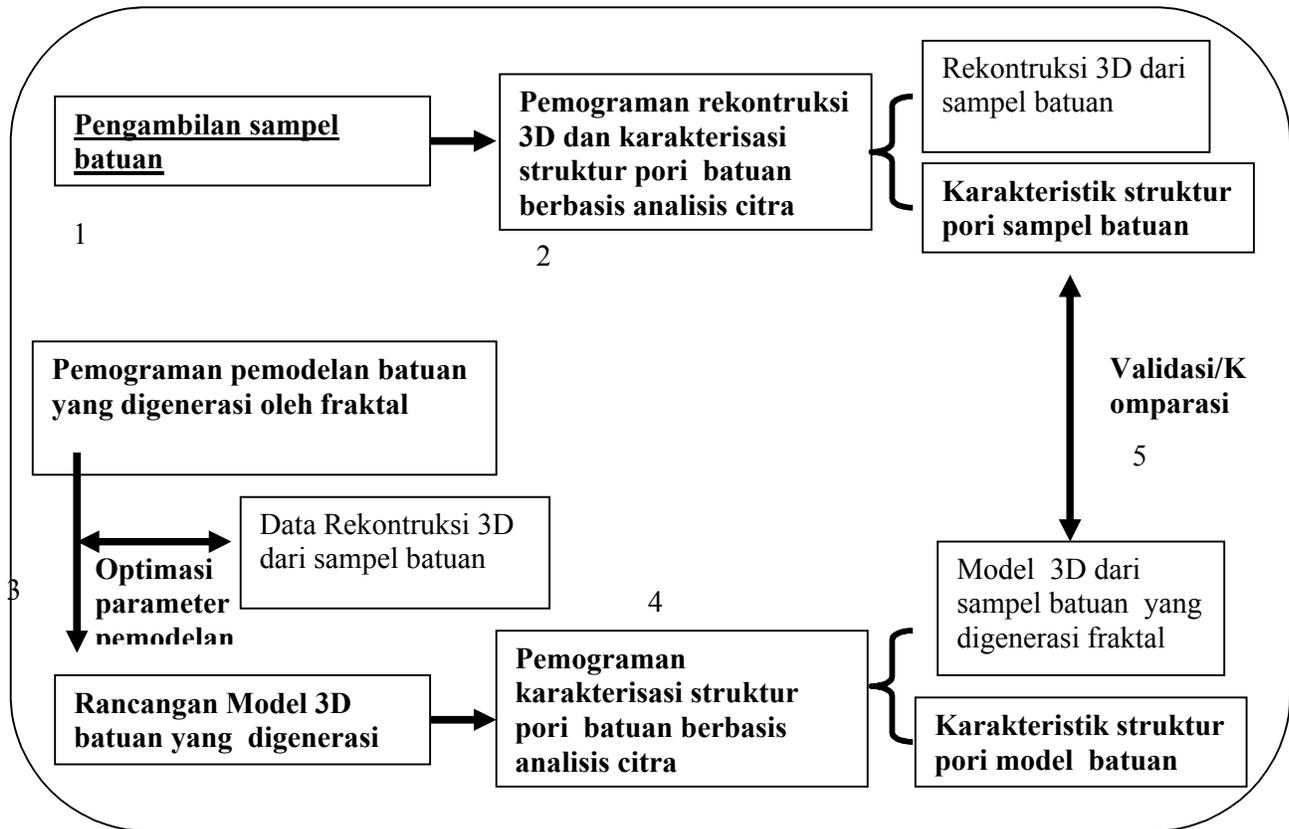
Seperti yang telah diungkapkan sebelumnya, citra 3D dapat didefinisikan sebagai fungsi f(x). Sebagai penambahan kualitas komparasi antara samel batuan dan model batuan,kita gunakan koefisien korelasi produk momen pearson (R) antara citra 3D sampel batuan dan model batuan Rumusan untuk R adalah sbb:

$$R = \frac{\sum (z - \bar{z})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (z - \bar{z})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

Dimana  $\bar{z}$   $\bar{y}$  adalah rata-rata  $f_{\text{sampel}}(x)$  and rata-rata  $f_{\text{model}}(x)$ .

**METODE PENELITIAN**

Alur metoda penelitian dapat dilihat dalam diagram berikut:



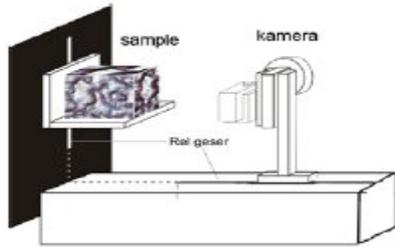
Gambar 2. Diagram alur penelitian

Berdasarkan diagram alur penelitian maka langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

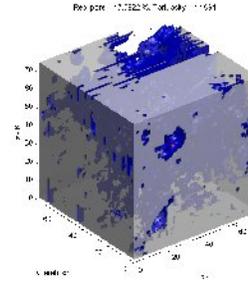
1. Langkah 1: Pengambilan sampel batuan batuan permukaan formasi Parigi Cirebon, Jawa Barat
2. Langkah 2: Pengambilan data citra sampel batuan untuk rekonstruksi 3D sampel batuan dan karakterisasi struktur pori batuan berbasis analisis citra
3. Langkah 3: Berdasarkan data rekonstruksi 3D sampel batuan sebagai input untuk pemodelan batuan yang digenerasi fraktal lalu dilakukan optimasi parameter pemodelan
4. Langkah 4: Rancangan model batuan lalu dikarakterisasi struktur pori batuan berbasis analisis citra
5. Langkah 5: Komparasi besaran-besaran/ karakteristik batuan yang telah diestimasi antara rekonstruksi 3D sampel batuan dan model batuan yang digenerasi fraktal.

Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Alat pengambilan citra digital 2D dan untuk rekonstruksi batuan 3D (gambar 5.2.a)
2. Alat pemotong batuan, Kapur, Pилок, ampelas,
3. Seperangkat PC dan program karakterisasi



Gambar 3. Rancangan dan alat pengambil citra digital untuk kontruksi batuan 3D.



Gambar 4. Kontruksi sampel batuan permukaan formasi parigi cirebon

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil kontruksi 3D batuan sampel diperlihatkan pada gambar 4, porositas dan tortuo sampel batuan masing-masing 17.59% dan 1.11.

Parameter pemodelan dan hasil komparasi porositas model dan sampel batuan, dimensi fraktal matrik model dan koefisien korelasi antara model dan sampel untuk tiap ukuran diperlihatkan pada tabel 1.

Hasil dan pembahasan merupakan satu kesatuan yang memberikan gambaran tentang hasil yang diperoleh dibandingkan dengan literatur/pustaka yang ada. Diuraikan apa yang diperoleh dan bila memungkinkan dibahas apa yang menjadi daya tarik dari yang telah dikerjakan, apa keunggulan dan kekurangannya.

Tabel 1. Parameter pemodelan dan hasil komparasi porositas model dan sampel batuan, dimensi fraktal matrik model dan koefisien korelasi antara model dan sampel untuk tiap ukuran.

Parameter input	Keluaran	Keluaran citra
P=0.045 S=5 It=2 Ukuran 25x25x25	$\phi_{model}=0.093696$ $\phi_{sampel}=0.09368$ Ds=2.9 Koeffkorelasi=0.91142	<p>Model      Kontruksi 3D batuan sampel</p>
P=0.045 S=8 It=2 Ukuran 64x64x64	$\phi_{model}=0.13414$ $\phi_{sampel}=0.12868$ Koeffkorelasi=0.92424 Ds=2.9654	
P=0.05 S=3 It=3 Ukuran 27x27x27	$\phi_{model}=0.10705$ $\phi_{sampel}=0.098688$ Ds=2.9656 Koeffkorelasi=0.91494	

Jika dilihat dari tabel 1, parameter pemodelan porositas awal untuk tiap ukuran untuk sampel batuan yang sama hampir sama sehingga menyebabkan dimensi fraktal untuk tiap mode di tiap ukuran hampir sama. Ini merupakan salah satu indikator bahwa batuan geologi memiliki sifat fraktal

Jika ditinjau dari koefisien korelasi yang menunjukkan korelasi posisi di tiap sampel batuan dan model rata-rata  $R > 0.9$  ini menunjukkan korelasi antara sampel batuan dan model tinggi. Walaupun demikian dalam pemodelan batuan dengan model fraktal ini masih memerlukan optimasi parameter pemodelan lebih lanjut agar dapat memodelkan batuan serealistik mungkin. Untuk pekerjaan lebih lanjut, perlu dicari model fraktal untuk pemodelan batuan untuk bentuk pori yang lebih sesuai dengan batuan yang akan dimodelkan.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan model fractal menger sponges untuk memodelkan batuan geologi cukup potensial, didasarkan pertimbangan – pertimbangan berikut: (1) penelitian sebelumnya Sun dan Koch (1998) menyatakan bahwa formasi batuan geologi berpori memiliki sifat fractal [2]. (2) parameter pemodelan porositas awal untuk tiap ukuran untuk sampel batuan yang sama hampir sama sehingga menyebabkan dimensi fraktal untuk tiap mode di tiap ukuran hampir sama. Ini merupakan salah satu indikator bahwa sampel batuan yang ditinjau memiliki sifat fractal dan (3) Jika ditinjau dari koefisien korelasi yang menunjukkan korelasi posisi di tiap sampel batuan dan model rata-rata  $R > 0.9$  ini menunjukkan korelasi antara sampel batuan dan model cukup tinggi

Walaupun demikian dalam pemodelan batuan dengan model fraktal ini masih memerlukan optimasi parameter pemodelan lebih lanjut agar dapat memodelkan batuan serealistik mungkin. Untuk pekerjaan lebih lanjut, perlu dicari model fraktal untuk pemodelan batuan untuk bentuk pori yang lebih sesuai dengan batuan yang akan dimodelkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hansgeorg Pape, Christoph Clauser, and Joachim Iffland (1999), *Permeability prediction based on fractal pore-space geometry*, GEOPHYSICS, VOL. 64, NO. 5 (SEPTEMBER-OCTOBER 1999); P. 1447–1460
- [2] Hongbin Sun (1998), Manfred Koch, Fractal generation of surface area of porous media, *Stochastic Hydrology and Hydraulics* 12 83±96
- [3] Wong Wei-Wei (2006), Heat Conduction and Characteristic size of Fraktal Porous Media., *Chin Physics Letter*, Vol 23 no.6 1511
- [4] 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
- [5] Kang Wang, Renduo Zhang, Fuqin Wang, (2005), Testing the Pore-Solid Fractal Model for the Soil Water Retention Function, *Reproduced from Soil Science Society of America Journal*. Published by Soil Science Society of America. May 6, 2005
- [6] Mistakidis E. S. (1997), *Fractal Geometry in Structural Analysis Problems: A Variational Formulation for Fractured Bodies with Non-monotone Interface Conditions.*, *Chaos, Solitons & Fraktals* Vol. 8, No. 2, pp. 269-285, ELSEVIER
- [7] Mandelbrot, B. (1984), *The Fractal Geometry of Nature*, New York: Henry Holt & Company
- [8] Feranie, S., (2007) *Microgeometry Analysis of Two Dimensional-Random Sierpinski Carpets (RSCs)*, *Proceeding 2nd Asian Physics Symposium 2007*, .Grand Aquila Hotel Bandung, November 29-30, 2007
- [9] Fauzi, U. and Hamzah, I., 2006, *Reconstruction of Microstructure Using Pigeon-hole Model as a Preliminary Study to Investigate Relationship between Porosity and Hydraulic Radius with Fractal Dimension* *International Conference on Mathematics and Natural Sciences*, Bandung.

