

DOI: doi.org/10.21009/0305020401

METODE PERHITUNGAN INTENSITAS REKAHAN BATUAN GEOLOGI 3D MENGGUNAKAN SKELETONISASI

Prana F L Tobing^{1, a)}, Selly Feranie^{1, b)}, Fourier D. E. Latief^{2, c)}

¹Departemen Fisika FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudi No. 299, Bandung 40154

²Fisika Kompleks Sistem FPMIPA Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132

Email: ^{a)}prana.tobing@gmail.com, ^{b)}sferanie@yahoo.com, ^{c)}fourier@fi.itb.ac.id

Abstrak

Rekahan memegang peranan penting dalam reservoir minyak bumi, gas, dan panas bumi karena sifatnya yang lebih mudah mengalirkan fluida daripada pori-pori yang berbentuk butiran. Intensitas rekahan adalah salah satu parameter utama rekahan yang menunjukkan banyaknya rekahan pada setiap panjang atau luasan tertentu. Perhitungan intensitas pada penelitian sebelumnya hanya terbatas pada rekahan 2D, penentuan rekahan intensitas rekahan 3D masih belum banyak ditemukan karena metode penentuannya masih sedikit. Oleh karena itu, pada penelitian ini diaplikasikan metode skeletonisasi pada rekahan batuan 3D. Skeletonisasi adalah transformasi ketebalan dari penyusun citra sampel yang diwakili oleh warna putih pada citra (piksel dengan nilai 1 pada citra biner) menjadi citra baru dengan tebal warna putih 1 piksel. Skeletonisasi biasanya digunakan untuk karakterisasi panjang citra biner pada analisis citra digital. Sampel rekahan dalam penelitian ini diambil dari Area Geothermal Kamojang, berbentuk kubus dan memiliki sisi 3.5 cm. Sampel diberikan 3 kelakuan temperatur yang berbeda yaitu pada suhu ruang (24° C), 300° C, dan 600° C. Intensitas rekahan yang dihitung untuk setiap keadaan suhu secara berurutan adalah $2.995 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-2}$, $3.160 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-2}$, dan $3.850 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-2}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kenaikan temperatur menghasilkan rekahan-rekahan baru, atau menimbulkan adanya propagasi rekahan yang sudah ada sehingga intensitas rekahan bertambah. Hasil ini sesuai dengan teori pengaruh suhu pada pembentukan rekahan. Maka, metode skeletonisasi dapat menjadi salah satu alternatif untuk perhitungan intensitas rekahan 3D.

Kata-kata kunci: *Rekahan, citra biner, skeletonisasi*

Abstract

Fracture plays important role in oil, gas, and geothermal reservoir because it is easier to flow the fluid than the porous medium that form of granules. Fracture intensity is one of the main parameters of fracture that indicate the number of fracture at any length or section. Previous studies of fracture intensity calculation are limited to 2D fracture, the determination of 3D fracture intensity is still not comonly found because its determination method still slightly. Therefore, in this paper we've applied skeletonization method to 3D rock fracture. Skeletonization is thickness transformation of sample image composer that represented by the color white in the image (pixel with "1" value in the binary image) into a new image with the thickness of white is 1 pixel. Skeletonization usually used to characterize the length of binary image in digital image analysis. Rock fracture sampel in this paper were drawn for Kamojang Geothermal Area in cube form with side 3.5 cm. The sample has been applied in 3 different temperature condition i.e. room temperature (24° C), 300° C, and 600° C. The fracture intensity which has calculated in each temperature condition respectively are $2.995 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-2}$, $3.160 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-2}$, and $3.850 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-2}$. These result indicate that the increasing of temperature not only make the new fractures, it also causes the propagation of old fractures so that fracture intensity increases. These result are appropriate with the thoery of temperature effect on forming fracture. Thus, skeletonization method can be an alternative for calculation of 3D fracture intensity.

Keywords: *fracture, binary image, skeletonization*

1. Pendahuluan

Kejadian-kejadian geologi menyebabkan batuan formasi reservoir bersifat diskontinuitas, contohnya adalah rekahan, lipatan, patahan dan lain-lain. Rekahan yang menyebabkan batuan formasi bergerak disebut sebagai patahan yang merupakan salah satu perangkap hidrokarbon oleh karena itu rekahan memegang peranan penting dalam produksi minyak, gas, dan panas bumi. [1]

Terdapat tiga parameter utama pada rekahan antara lain, *aperture*, densitas, dan intensitas. Pada penelitian ini difokuskan pada metode perhitungan intensitas rekahan. Dalam citra 2D pengertian intensitas rekahan adalah perbandingan antara total panjang rekahan terhadap luasan total citra, sedangkan dalam 3D pengertian rekahan adalah perbandingan antara total panjang rekahan terhadap volume citra yang direkonstruksi. [2]

Pada rekahan 2D sangat mudah untuk menghitung intensitas rekahan [2] [3] [4], akan tetapi, rekahan pada citra 3D bersifat diskontinuitas sehingga perhitungan panjang rekahan menjadi sulit untuk dihitung, oleh karena itu hanya sedikit penelitian yang memaparkan tentang intensitas rekahan dalam 3D dengan berbagai metode pendekatan. [5]

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan intensitas menggunakan salah satu metoda dalam Analisis Citra Digital atau *Digital Image Analysis* (DIA) yaitu skeletonisasi. Skeletonisasi merupakan teknik pencarian panjang dari pori suatu citra digital dengan mengikuti pola pembentukannya dengan lebar 1 piksel. Perhitungan panjang pori dari suatu citra telah dilakukan oleh beberapa peneliti, antara lain, Bai, dkk yang menghitung panjang dinding sekat yang berbentuk diskrit [6], Abeyasinghe, dkk yang memaparkan panjang model 3D struktur protein [7], dan Waleed, dkk yang menjelaskan algoritma skeletonisasi pada citra biner [8]. Namun, belum ada penelitian yang mengaplikasikan skeletonisasi pada perhitungan intensitas rekahan pada data *real* batuan geologi. Skeletonisasi dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak berbasis bahasa Java yaitu ImageJ.

Selain itu, dalam penelitian ini, sampel batuan diberi perlakuan dengan 3 suhu yang berbeda, hal ini dilakukan untuk membuktikan teori pembentukan rekahan akibat pengaruh suhu dengan hasil yang diperoleh dari skeletonisasi.

2. Metode Penelitian

A. Data Penelitian dan Eksperimen Perlakuan Panas

Sampel rekahan 3D diambil dari batuan pada sumur produksi panas bumi di Area Geothermal Kamojang Garut Jawa Barat. Batuan sampel diambil pada

kedalaman 500 m dari 838.8 m kedalaman total sumur. Sampel dikonstruksi menjadi sebuah kubus kecil dengan sisi 3.5 cm.

Pada penelitian ini, terdapat dua keadaan pemberian perlakuan panas yang diberikan pada sampel batuan antara lain suhu 300° C dan 600° C, sedangkan keadaan suhu sisa adalah suhu ruang 24° C. Nilai tersebut berdasarkan suhu reservoir pada batuan sampel yang diambil. Sampel diambil di kedalaman 500 m memiliki suhu reservoir sekitar 300° C, oleh karena itu pemilihan 600° C merupakan faktor kelipatannya. Pemberian perlakuan panas ini menggunakan tungku Cress MFG C1228/935 Ser. 0412. Dalam tahap pemanasan ini digunakan arus dan tegangan sebesar 13.5 A dan 225 V.

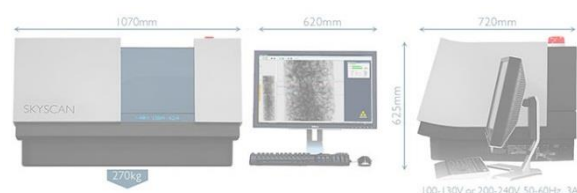
Adapun tahapan pemberian perlakuan panas pada sampel batuan adalah sebagai berikut:

- Mengatur suhu pada keadaan perlakuan suhu maksimum pada sampel batuan.
- Mengatur arus sehingga berada pada keadaan 13.5 A, hal ini diharapkan perlakuan panas yang diterima oleh sampel batuan meningkat secara perlahan-lahan.
- Saat suhu didalam tungku berada pada suhu maksimum dari perlakuan yang diberikan, suhu di tahan selama 30 menit sebelum suhu turun kembali, hal ini berdasarkan metodologi penelitian beberapa peneliti rekahan sebelumnya [9] [10].
- Setelah suhu ditahan selama 30 menit, atur arus pada 0 A dan pengaturan suhu pada suhu ruang (24° C) kembali. Suhu di dalam tungku akan mengalami penurunan secara perlahan-lahan dengan rata-rata penurunan sekitar 0.5°C/menit. Hal ini diharapkan agar tidak terjadinya retakan akibat dari penurunan suhu secara tiba-tiba.

Jika keadaan tungku sudah berada pada suhu ruang, sampel batuan dapat dikeluarkan dari tungku pemanasan.

B. Pemindaian dan Rekonstruksi Citra

Pemindaian citra 3D sampel batuan menggunakan alat bantu μ -CT: Skyscan 1173. Skyscan 1173 merupakan pemindai komputer tomografi berskala mikro (*micro computed tomography (CT) scanner*), model alat ini dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.

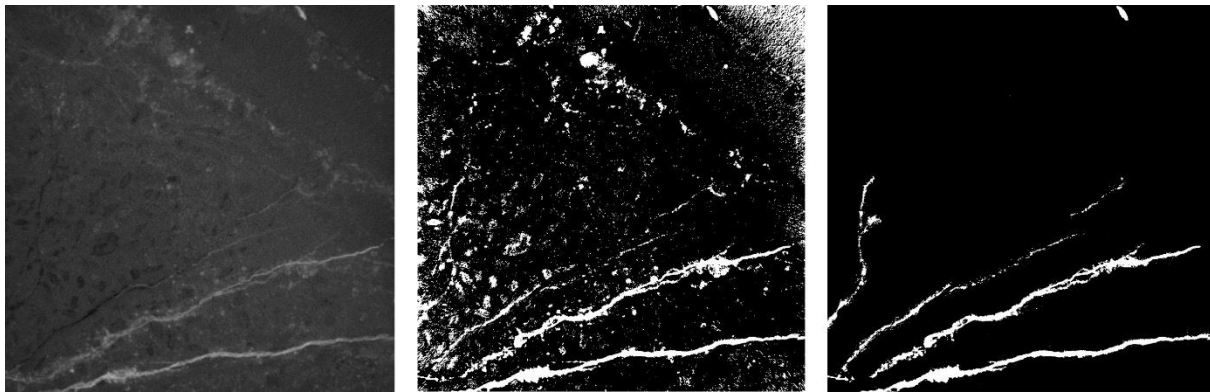


Gambar 2. μ -CT: Sky scan ver. 1173 (sumber: <http://bruker-microsoft.com>).

Proses pemindaian sampel dapat dijelaskan sebagai berikut, sinar-X yang dipancarkan oleh sumber akan merambat dalam garis lurus sehingga energi dari sinar-X tersebut dapat menembus batuan sampel, hal ini mengakibatkan sebagian energi pada sinar-X akan mengalami atenuasi, sehingga intensitas sinar-X yang tereduksi akan direkam oleh detektor sebagai cahaya tampak yang kemudian diubah menjadi elektron dengan bantuan chip semikonduktor CCD. Bentuk elektron tersebut diubah oleh Analog to Digital Converter (ADC) ke dalam bentuk citra digital bayangan sampel. Pemindaian pada penelitian ini menggunakan sumber arus dan tegangan sebesar $61 \mu\text{A}$ dan 130 kV .

Pada proses rekonstruksi terdapat beberapa tahapan antara lain konstruksi citra, *thresholding*, dan *despeckling*. Konstruksi adalah proses pengirisan

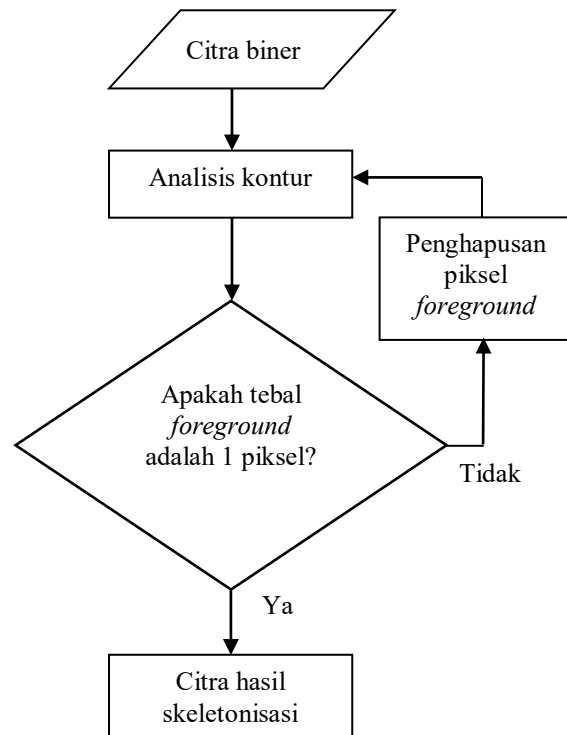
cross-section bayangan hasil pemindaian menjadi citra film tipis (*thin section image*) per 1 piksel yang diiris pada arah z . Citra yang diperoleh pada proses ini merupakan citra *grayscale* sedangkan pada analisis citra digital dibutuhkan citra biner, oleh karena itu pada tahapan *thresholding*, citra sampel diubah menjadi citra biner sehingga matriks pembentuk citra hanya 0 dan 1. Citra hasil baik dari pemindaian maupun dari *thresholding* berupa matriks, pori, dan rekahan. *Despeckling* merupakan tahapan pengisolasian rekahan yang berarti penghilangan pori-pori (*speckles* putih). Tahapan ini dilakukan karena pada penelitian ini yang akan dianalisis adalah rekahan 3D batuan. Proses rekonstruksi di atas dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Proses rekonstruksi sampel batuan hasil dari pemindaian citra 3D.

C. Skeletonisasi

Algoritma skeletonisasi terbagi menjadi tiga tahapan antara lain analisis kontur, penghapusan piksel *foreground* menjadi piksel *background*, dan pembentukan citra baru dalam bentuk citra skeletonisasi dengan tebal dari piksel *foreground* adalah 1 piksel, penjelasan dari algoritma tersebut dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir pemrograman skeletonisasi

Pada contoh kasus penelitian ini, hitam adalah matriks yang berpiksel 0 yang dianggap sebagai *background* citra sedangkan putih adalah matriks yang berpiksel 1 yang dianggap sebagai *foreground* citra. Analisis kontur adalah tahapan mencari matriks berpiksel 1 yang berdampingan baik secara horizontal maupun vertikal dengan matriks berpiksel 0. Apabila terdapat matriks berpiksel 0 yang sejajar dengan matriks sebelumnya maka *foreground* tersebut memiliki ketebalan 1 piksel, sedangkan jika terdapat matriks berpiksel 1 diantara matriks berpiksel 1 dan 0 dalam garis lurus, maka matriks berpiksel 1 tersebut akan mengalami proses penghapusan piksel sampai ketebalan *foreground* citra adalah 1 piksel. Jika proses ini telah dipenuhi maka citra yang terbentuk adalah citra skeleton. Sebagai contoh dari diagram alir di atas, Gambar 5 di bawah ini adalah contoh dari citra biner (*input*) dan citra skeleton (*output*).

Metode skeletonisasi bertujuan untuk mendapatkan data banyaknya beserta panjang skeleton yang terbentuk. Hasil ini akan menjadi masukan dalam perhitungan intensitas rekahan (I) yaitu secara matematis ditulis sebagai berikut.

$$I = \frac{\sum_{i=1} l_i}{V} \quad (1)$$

Dengan l adalah panjang skeleton dan V adalah volume total citra.

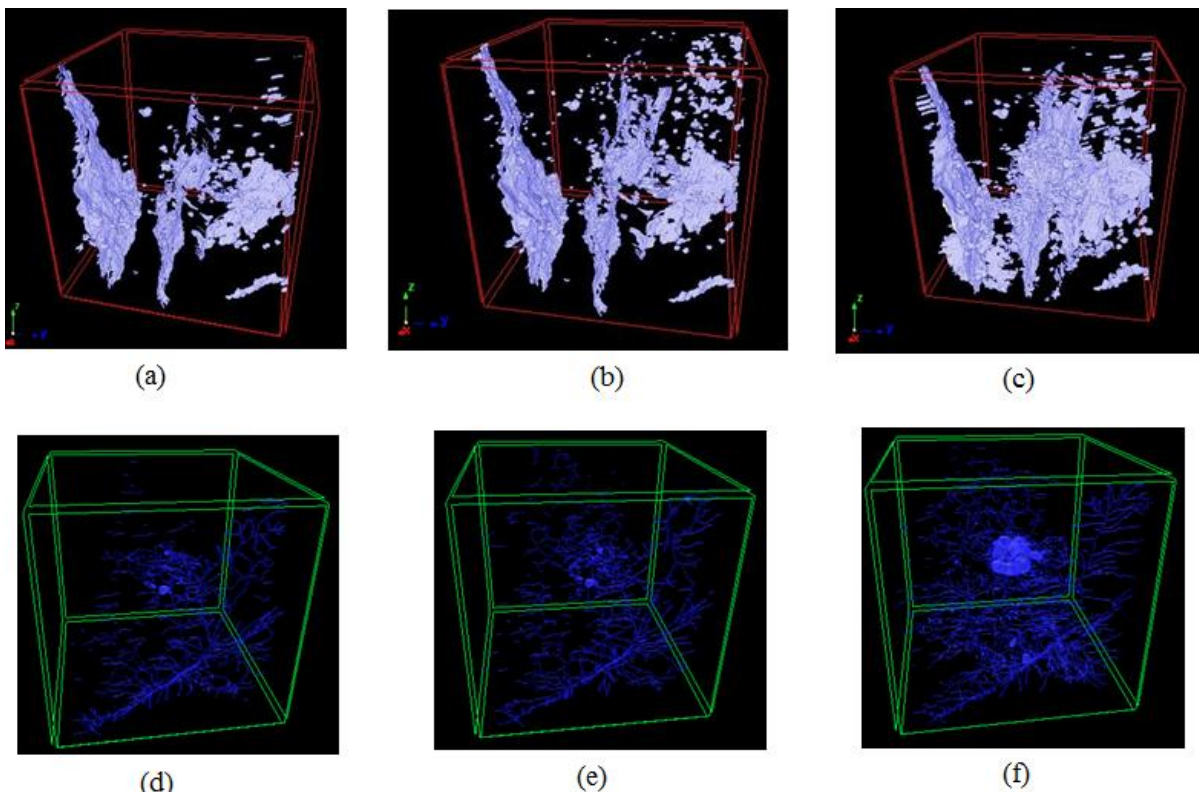


Gambar 5. Perbedaan citra biner dan citra skeleton (<http://www.fiji.sc>).

3. Hasil dan Pembahasan

Sampel rekahan 3D diambil dari batuan reservoir sumur KMJ-11 di kedalaman 500 m di bawah permukaan. Sampel hasil ROI (*Region of Interest*) berdimensi $984 \times 984 \times 984$ piksel. Dikarenakan sampel berukuran sangat besar, maka diperlukan resize citra dalam arah x , y , dan z agar sesuai dengan kompatibilitas perangkat keras yang digunakan. Dimensi citra setelah resize adalah $300 \times 300 \times 300$. Citra hasil resize sangat mirip dengan citra sebelum di resize.

Dalam visualisasi 3D, agar menampilkan rekahannya saja, maka opacity matriks harus diturunkan dan meningkatkan opacity serta luminositas rekahan sampel, sehingga visualisasi rekahan dan citra skeleton 3D dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Hasil visualisasi rekahan (a – c) dan citra skeleton (d – f) dengan suhu 24°C (a & d), 300°C (b & e), dan 600°C (c & f).

Hasil dari skeletonisasi tersebut adalah nilai panjang rekahan yang akan digunakan dalam perhitungan intensitas rekahan pada Persamaan (1). Tabel 1 di

bawah ini menunjukkan hasil skeletonisasi dan pertambahan intensitas terhadap suhu.

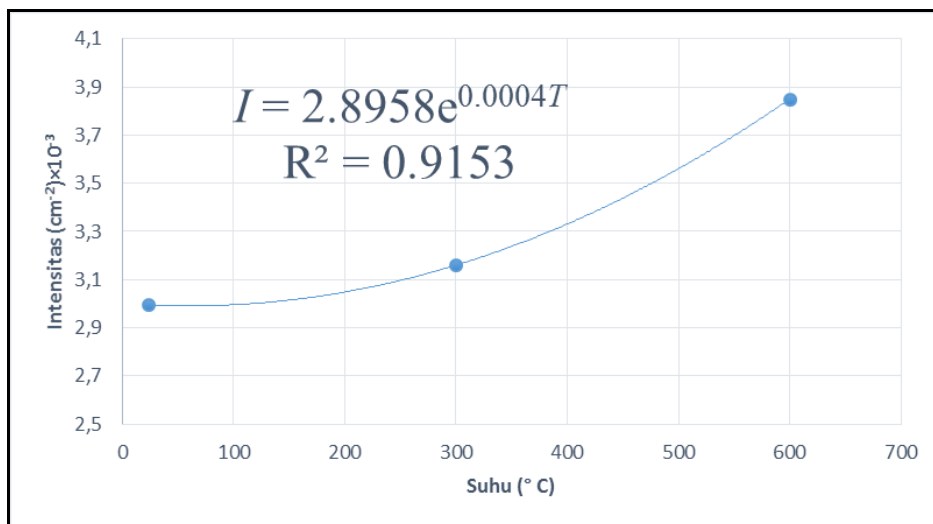
Tabel 1. Tabel hasil perhitungan intensitas menggunakan skeletonisasi.

Suhu (° C)	Jumlah Skeleton	Panjang Total (Piksel)	Intesitas (piksel ²)	Intesitas (cm ²)
24	127	1005.74	3.72496×10^{-5}	2.995×10^{-3}
300	132	1061.195	3.93035×10^{-5}	3.160×10^{-3}
600	167	1292.852	4.78834×10^{-5}	3.850×10^{-3}

Pada tabel di atas, terdapat pengkonversian satuan intensitas ke (cm²), pengkonversian ini dilakukan 2 tahap, yaitu pengkonversian ke ukuran sampel yang sebenarnya (dibagi dengan 3.28 piksel yang berarti pengembalian ukuran citra dari hasil resize ke citra hasil ROI, 984 piksel dibagi 300 piksel) dan pengkonversian ke satuan cm yaitu 1 piksel = 34 μm

(konversi satuan ini didapat dari parameter pemindaian citra 3D).

Dari hasil di atas, grafik pertambahan intensitas terhadap suhu dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Grafik pertambahan intensitas terhadap suhu..

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pertambahan intensitas bertambah secara eksponensial pada suhu tinggi. Suhu tinggi pada reservoir menurut Zhang, dkk. adalah pada suhu di atas 300° C [9].

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa jumlah dan panjang rekahan dengan suhu tinggi untuk sampel batuan beku reservoir panas bumi bertambah secara eksponensial. Pertambahan intensitas rekahan secara drastis pada suhu antara 300° C dan 600° C, hal ini dikarenakan pada batuan beku yang dijadikan sampel

uji diambil pada kedalaman 500 m dengan suhu reservoir dibawah 400° C.

Dari hasil perhitungan nilai intensitas rekahan yang terukur untuk suhu 24° C, 300° C, dan ° C adalah 2.995×10^{-3} cm², 3.160×10^{-3} cm², dan 3.850×10^{-3} cm². Hasil ini menunjukkan pada batuan sampel uji terbentuk beberapa rekahan baru dan menimbulkan adanya pertambahan panjang pada rekahan yang sudah terbentuk. Hasil ini sesuai dengan teori pertambahan rekahan akibat pengaruh suhu.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini adalah bagian dari Penelitian Fundamental 2016 yang didanai oleh DIKTI, kami juga berterimakasih kepada Laboratorium Advanced Material and Processing, Teknik Fisika, ITB dan Laboratorium Instrumentasi 03, Fisika, ITB yang telah membantu dalam tahap pemanasan dan pemindaian sampel penelitian.

Daftar Acuan

- [1] H. Moriya, H. Niituma, dan R. Baria. Measurement of Hydraulically Activated Subsurface Fracture System in Geothermal Reservoir by Using Acoustic Emission Multiplet-Clustering Analysis Journal of Acoustic Emission. 23 (2005), pp. 113–118.
- [2] P. Dietrich, R. Helming, M. Sauter, H. Hotzl, J. Kongeter, dan G. Teutsch. *Flow and Transport in Fractured Porous Media*. Newyork, Springer (2004).
- [3] E. Eberhardt, D. Stead, dan T. Morrison. *Rock Mechanics Meeting Society's Challenges and Demands, Vol 1: Fundamentals, New Technologies & New Ideas*. London, Taylor & Francis Group (2007).
- [4] L. R. e Sousa, C. Olalla, dan N. F. Grossmann. *The Second Half Century of Rock Mechanics, Vol 3*. London, Taylor & Francis Group (2007).
- [5] S. Rogers, D. Elmo, G. Webb, dan A. Catalan. Volumetric Fracture Intensity Measurement for Improved Rock Mass Characterisation and Fragmentation Assessment in Block Caving Operations. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 48 (2015), pp. 633-649.
- [6] X. Bai, L. Longin, dan L. Wenyu, L. Skeleton Purning by Contour Partitioning with Discrete Curve Evolution. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelegence*. 29 (2007), pp. 449-462.
- [7] S. Abeyasinghe, T. Ju, M. Baker, dan W. Chiu. Shape Modeling and Matching in Identifying 3D Protein Structures. *Computer-Aided Design*. 40 (2008), pp. 708-720.
- [8] A-A. Waleed, N.H.S.A Siti, B. Bataineh, A-A. Traik, dan K. Omar. Skeletonization Algorithm for Binary Images. *Procedia Technology*. 11 (2013), pp. 704-709.
- [9] Z.X. Zhang, J. Yu, S.Q. Kou, dan P.A. Lindqvist. Effect of High Temperatures on Dynamic Rock Fracture. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Science*. 38 (2001), pp. 211-225.
- [10] Y. Uvarova, A. Yurikov, M. Pervukhina, M. Lebedev, V. Shulakova, M.B Clennell, dan D.N. Dewhurst. Microstructural characterisation of organic-rich shale before and after pyrolysis. *APPEA Journal*. 54 (2014), pp. 249-258.