

**PENGARUH TEKANAN MEKANIK *UNIAXIAL*
DAN FAKTOR KEAMANAN TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR PORI
PADA BATUAN PENUDUNG DAERAH POTENSI PANAS BUMI
DI DAERAH KADIDIA-SIGI, SULAWESI TENGAH**

SKRIPSI

diajukan untuk penulisan skripsi sebagai syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains Departemen Pendidikan Fisika Program Studi Fisika
Kelompok Bidang Kajian Fisika Kebumian



Oleh:

Annisa Nadhira

NIM 1505659

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2019

**PENGARUH TEKANAN MEKANIK *UNIAXIAL*
DAN FAKTOR KEAMANAN TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR PORI
PADA BATUAN PENUDUNG DAERAH POTENSI PANAS BUMI
DI DAERAH KADIDIA-SIGI, SULAWESI TENGAH**

(Skripsi ini merupakan bagian dari payung penelitian Dr. Selly Feranie, M.Si.)

oleh

Annisa Nadhira

diajukan untuk memenuhi sebagian syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Sains

Departemen Pendidikan Fisika Program Studi Fisika

Konsentrasi Fisika Kebumian

FPMIPA UPI

© Annisa Nadhira

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2019

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,

Dengan dicetak ulang, difotocopy, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis

ANNISA NADHIRA

PENGARUH TEKANAN MEKANIK *UNIAXIAL*
DAN FAKTOR KEAMANAN TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR PORI
PADA BATUAN PENUDUNG DAERAH POTENSI PANAS BUMI
DI DAERAH KADIDIA-SIGI, SULAWESI TENGAH

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing :

Pembimbing I



Dr. Selly Feranie, M.Si.
NIP 197411081999032004

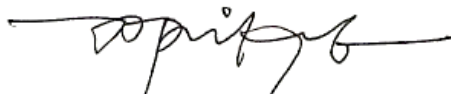
Pembimbing II



Dr. Fourier Dzar Eljabbar Latief, M.Si.
NIP 198010192010121002

Mengetahui,

Ketua Departemen Pendidikan Fisika



Dr. Taufik Ramlan Ramalis, M.Si.
NIP 195904011986011001

**PENGARUH TEKANAN MEKANIK *UNIAXIAL*
DAN FAKTOR KEAMANAN TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR PORI
PADA BATUAN PENUDUNG DAERAH POTENSI PANAS BUMI
DI DAERAH KADIDIA-SIGI, SULAWESI TENGAH**

ANNISA NADHIRA

Pembimbing I : Dr. Selly Feranie, M.Si.

Pembimbing II: Dr. Fourier Dzar Eljabbar Latief, M.Si.

ABSTRAK

Untuk meneliti perubahan struktur pori dan rekahan, dilakukan uji tekan *uniaxial* pada batu breksi terubah yang diperoleh dari lapisan penudung daerah panas bumi Kadidia-Sigi, Sulawesi Tengah. Perlakuan tekanan diawali dari tekanan alamiah 69,7 kg kemudian, 100 kg, 300 kg, 500 kg, 700 kg, dan 800 kg. Metode analisis citra digital digunakan pada penelitian ini untuk merekam dan menganalisis perubahan struktur pori dan rekahan. Hasil yang diperoleh berupa data kualitatif citra 2D dan 3D sementara, data kuantitatif berupa parameter fisis rekahan [orientasi $\{\theta(P)\}$ pada kuadran I, *aperture* $\{e(P)\}$ bersifat polinomial berkorelasi positif, densitas $\{\Phi(P)\}$ bersifat polinomial berkorelasi negatif, dan intensitas $\{I(P)\}$ yang mengalami kenaikan] dan parameter fisis pori [porositas $\{\phi(P)\}$ bersifat linear berkorelasi negatif, luas permukaan spesifik $\{SsA(P)\}$ bersifat polinomial berkorelasi positif, tortuositas $\{\tau(P)\}$ dan permeabilitas $\{k(P)\}$]. Perubahan sifat fraktal rekahan merupakan dampak dari berubahnya elemen mikrostruktur batuan yang menghasilkan persamaan yang menunjukkan dimensi fraktal fungsi tekanan. Selain itu, dari hasil uji tekan *uniaxial* dapat diketahui kekuatan batuan ini sehingga memberikan gambaran karakteristik dan keamanan lapisan penudung daerah panas bumi Kadidia.

Kata Kunci :struktur pori, rekahan, tekanan *uniaxial*, dimensi fraktal, lapisan penudung.

**UNIAXIAL MECHANICAL PRESSURE EFFECT
AND SAFETY FACTOR TO PORE STRUCTURE DEFORMATION
ON A GEOTHERMAL POTENTIAL AREA AT KADIDIA-SIGI, SULAWESI TENGAH**

ANNISA NADHIRA

Pembimbing I : Dr. Selly Feranie, M.Si.

Pembimbing II: Dr. Fourier Dzar Eljabbar Latief, M.Si.

ABSTRACT

To investigate the pore and fracture evolution, a series of uniaxial compression test was conducted on an altered breccia rock, was taken from potential geothermal area at Kadidia-Sigi, Sulawesi Tengah. The treatments of uniaxial compression started from natural pressure 69,7 kg then, 100 kg, 300 kg, 500 kg, 700 kg, and 800 kg. Digital image processing method was applied to record and analyze the deformation of pore and crack structure. The results are qualitative data in the form of 2D and 3D images while quantitative data in the form of physical fracture parameters [orientation $\{\theta(P)\}$ in quadrant I, aperture $\{e(P)\}$ is polynomial positively correlated, density $\{\Phi(P)\}$ is polynomial negatively correlated, and intensity $\{I(P)\}$ is increasing] and physical pore parameters [porosity $\{\phi(P)\}$ is linear negatively correlated, specific surface area $\{SsA(P)\}$ is polynomial positively correlated, tortuosity $\{\tau(P)\}$, and permeability $\{\kappa(P)\}$]. The change at fractal fracture properties is an effect of changing microstructure elements which yields an equation fractal dimension as a function of pressure. Furthermore, the other side of the result of uniaxial compression test represented a strength of the rock which represented an overview of characteristic and clay cap stability on geothermal area Kadidia.

Keywords: pore structure, crack structure, uniaxial pressure, fractal dimension, clay cap.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah Penelitian.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Struktur Organisasi Skripsi	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Aliran Panas dan Sistem Panas Bumi Daerah Penelitian.....	6
2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian	7
2.3 Geologi Sumur	10
2.3.1 Litologi Sumur	10
2.3.2 Alterasi Hidrotermal.....	10
2.4 Teori Elastisitas	11
2.5 Sifat Statis Elastisitas Batuan.....	13
2.6 Konsep Citra Digital.....	14
2.6.1 Akuisisi Citra.....	14
2.6.2 Rekonstruksi Citra.....	15
2.6.3 <i>Thresholding</i>	16

2.7 Parameter Fisis Pori Batuan	17
2.7.1 Parameter Struktur <i>Void</i>	17
2.7.2 Parameter Rekahan (<i>Fracture</i>).....	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Lokasi Penelitian dan Sampel Penelitian	29
3.2 Alur Penelitian.....	30
3.3 Tahapan Penelitian	31
3.3.1 <i>Desk Evaluation</i>	31
3.3.2 Pemotongan Sampel Batuan.....	31
3.3.3 Sampel Batuan Panas Bumi	33
3.3.4 Tahapan Pemberian Perlakuan Tekanan	33
3.3.5 Tahapan Rekonstruksi Data Digital Sampel Batuan	34
3.3.6 Metode Karakterisasi Struktur Pori Batuan 3D.....	43
BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Perubahan Struktur Pori Secara Kualitatif	53
4.2 Visualisasi dan Karakterisasi Struktur <i>Void</i> Akibat Tekanan <i>Uniaxial</i>	56
4.2.1 Visualisasi	56
4.2.2 Parameter Fisis Struktur <i>Void</i>	57
4.3 Visualisasi dan Karakterisasi Struktur Rekahan Akibat Tekanan <i>Uniaxial</i>	69
4.3.1 Visualisasi	69
4.3.2 Parameter Fisis Struktur Rekahan	72
4.4 Kekuatan Batuan Penudung	79
4.4.1 Visualisasi	81
4.4.2 Parameter Fisis Kekuatan Batuan Penudung Kadidia.....	83
4.5 Pengaruh Tekanan <i>Uniaxial</i> Terhadap Keamanan Batuan Penudung Panas Bumi Kadidia	85
BAB V SIMPULAN DAN REKOMENDASI	87
5.1 Simpulan.....	87
5.2 Rekomendasi	87
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	96
AUTOBIOGRAFI PENULIS	112

DAFTAR PUSTAKA

- Albers, D.J., & Alexanderson, G.L. (2008). *Benoit Mandelbrot: in his own words*. Mathematical people: profiles and interviews. Wellesley, MA: AK Peters. hlm 214.
- Anissofira, A., & Latief, F. D. E. (2015). *Permeability Estimation of Crack Type and Granular Type of Pore in a Geothermal Reservoir Using Lattice Boltzmann Method and Kozeny-Carman Relation*. Proceeding World Geothermal Congress 2015.
- Bartko, K. M., Nasr-El-Din, H.A., Rahim, Z., & Al-Muntasheri, G. A. (2003). *Acid fracturing of a gas carbonate reservoir: the impact of acid type and lithology on fracture half length and width*. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- Batubara, O. (2013). *Fracking dan Gempa Bumi dalam Sistem Geothermal*.
- Batzle, M. L., Simmons, G., & Siegfried, R. W. . (1980). *Microcrack closure in rocks under stress: direct observation*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 85 (B12), 7072-7090.
- Bear, J. (1972). *Dynamics of Fluids in Porous Media*. Elseiver, Newyork.
- Bernabe, Y. (1987). *The effective pressure law for permeability during pore pressure and confining pressure cycling of several crystalline rocks*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 92(B1), 649-657.
- Bernsdorf, J., Brenner, G., & Durst, F. (2000). *Numerical analysis of the pressure drop in porous media flow with lattice Boltzmann (BGK) automata*. Computer physics Communications, 129(1-3), 247-255. doi:10.1016/s0010-4655(00)00111-9.
- Biscarini, C., Di Francesco, S., Nardi, F., & Manciola, P. (2013). *Detailed Simulation of Complex Macroscopic and Mesoscopic Mathematical Methods*.

- Mathematical Problems in Engineering, 2013, 1-14. doi: 10.1155/2013/928309.
- Blum, H., & Nagel, R. N. (1978). *Shape description using weighted symmetric axis features*. Pattern recognition, 10(3), 167-180.
- Bobet, A., & Einstein, H. H. (1988). *Fracture coalescence in rock-type materials under uniaxial and biaxial compression*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 35(7), 863-888.
- Boudreau, B. P. (1996). *The diffusive tortuosity of fine-grained unlithified sediments*, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 60 (16). 3139-3142.
- Caneva, A., & Smirnov, V. (2004). *Using the fractal dimension of earthquake distributions and the slope of the recurrence curve to forecast earthquakes in Colombia*. Earth Science Research Journal. Earth Sci. Res. J. 8 (1).3-9.
- Carman, C. P. (1937). Trans. Inst. Chem. Eng. 15, 150.
- Charlez, P., Lemonnier, P., Ruffet, C., Boutéca, M.J., & Tan, C. (1996). *Thermally induced fracturing: analysis of a field case in North Sea*. European Petroleum Conference. Society of Petroleum Engineers.
- Corbett, G., J., & Leach, T., M. (1998). *Southwest Pasific Rim Gold-Copper Systems : Structure, Alteration, and Mineralization*. Colorado: Bookcrafters.
- Diaz, L. P. (2018). *Africa is splitting in two-here is why*. Royal Holloway.
- Dietrich, P., Helmig, R., Sauter, M., Hotzl, H., Kongeter, J., & Teutsch, G. (2004). *Flow and Transpor in Fractured Porous Media*. Newyork : Springer.
- Duda, A., Koza, Z., & Matyka, M. (2011). *Hydraulic tortuosity in arbitrary porous media flow*. American Physics Society. 84, 036319.
- Dullien, F. A. L. (1992). *Porous Media: Fluid Transport and Pore Structure*. Academic Press, Newyork.

- Dvorkin, J., Walls, J., Tutuncu, A., Prasada, M., Nur, A., & Mese, A.: (2003). *Rock Property Determination Using Digital Rock Physics*, SEG Technical Program Expanded Abstracts, pp.1660-1663.
- Eberhardt, E., Stead, D., & Stimpson, B. (1999). *Quantifying progressive pre-peak brittle fracture damage in rock during uniaxial compression*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36(3), 361-380.
- Epstein, N. (1989). *On tortuosity and the tortuosity factor in flow and diffusion through porous media*, Chem. Eng. Sci., 44 (3). hlm. 777-779.
- Fauzi, U., Annisa., & Latief, F. D. E. (2012). *Effective Permeability of Layering Simple Grain Packings*. Proceeding, 37th HAGI Annual Convention and Exhibition, Palembang.
- Feranie, S., Fauzi, U., & Bijaksana, S. (2011). *3D Fractal Dimension and Flow Properties in the Pore Structure of Geological Rocks*. Fractals 19 (3). hlm. 291-297.
- Feranie, S., Fauzi, U., & Bijaksana, S. (2007). *Microgeometry Analysis of Two Dimensional Random Sierpinski Carpets (RSCs)*. Proceeding 2nd Asian Physics Symposium 2007, Grand Aquila Hotel Bandung, November 29-30.
- Feranie, S., Fauzi, U., & Bijaksana, S. (2011). *Penyelidikan Sifat Fraktal dan Besaran Transpor Fluida pada Struktur Pori 3D Batuan dan Model Fraktal (Menger Sponges dan IFS)*. (Disertasi). Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Fjaer, E., Horsrud, P., Raaen, A. M., Risnes, R., & Holt, R. M. (1992). *Petroleum related rock mechanics*. (Vol. 33). Elsevier.
- Gueguen, Y., Le Ravalec, M., & Ricard, L. (2006). *Upscaling: Effective Medium Theory, Numerical Methods and the Fractal Dream*. Springer. 72 1175-1192.
- Haq, T.M. (2012). *Rekonstruksi dan Simulasi Digital Untuk Menentukan Karakter Fisis Dari Reservoir Batupasir*. Undergraduate Final Project Report, Program

Studi Teknik Geofisika Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung.

Hermawan, D., & Mustofa, S. A. (2015). *Laporan Survei Landaian Suhu Sumur KDD-01 Daerah Panas Bumi Kadidia, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah*. Nomor: 26/PB/BGD/2015. PSDG: Bandung.

Kawakata, H., Cho, A., Yanagidani, T., & Shimada, M. (1997). *The observations of faulting in Westerly granite under uniaxial compression by X-ray CT scan*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(3-4), 151-e1.

Korvin, G. (1992). *Fractal models in the earth science*. Elsevier: Amsterdam. ISBN: 0-444-88907-8.

Khokha, I (1996). *Fractal Geometry in Biological Systems*. ISBN 978-0-8493-7636-8.

Koesoemadinata, R. P. (1978). *Geologi Minyak Bumi*. Penerbit ITB: Bandung.

Kröhn, K. (1991). *Simulation von Transporvorgängen im Klüftigen Gestein mit der Methode der Finite Elemente*. Hanover : Eigenverlag.

Kusumayudha, S. Bb. (2005). *Hidrogeologi karst dan geometri fraktal di daerah Gunungsewu*. Adicita Karya Nusa : Yogyakarta.

Latief, F.D.E., Fauzi, U., & Feranie, S. (2014) *Digital Isolation Technique for Reconstruction and Visualization of Cracks in Micro-CT Images of Geothermal Reservoir Rock*. John Wiley & Sons, Ltd. **28** (2). hlm. 13-17.

Legarth, B., Huenges, G., & Zimmermann, G. (2005). *Hydraulic fracturing in a sedimentary geothermal reservoir: Result and Implications*. (hal. 1028-1041). International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 42.

Li, Y., & Huang, R. (2015). *Relationship Between Joint Roughness Coefficient and Fractal Dimension of Rock Fracture Surface*. International Rock Mechanics & Mining Science. 75. hlm. 15-22.

- Mandelbrot, B. (1984). *The fractal geometry of nature*. New York: Henry Holt & Company.
- Miao, T., Yu, B., Duan, Y., & Fang, Q. A. (2015). *Fractal Analysis of Permeability for Fractured Rock*. International Journal of Heat Mass Transfer. 88. hlm. 75-80.
- Morrison, K. (1997). *Important Hydrothermal Minerals and Their Significance*. 7th ed. Geothermal and Mineral Services Division, 73 pp.
- Müller, C., & Vogt, E. (2012). *Specific Surface Area of Porous Rocks: an Integrated Approach by Combination of BET and Micro-CT Imaging*. Geophysical Research Abstracts Vol. 14, EGU2012-7173.
- Nugroho, P. (2012). *Bilangan Reynolds untuk Aliran Evaporasi Dua Fasa pada Kanal Mini Horizontal dengan Refrigeran R-290 dan R-600A*. (Skripsi). Universitas Indonesia, Depok.
- Otsu, N. (1979). *A Threshold Selection Method from Gray-Level Histogram*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Vol. 9 (1) pp-62-66.
- Ozbek, A, Unsal, M., & Dikec, A. (2013). *Estimating uniaxial compressive strength of rocks using genetic expression programming*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 5(4), 325-329.
- Pambudi, N. A. (2017). *Geothermal power generation in indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1-9.
- 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.
- Pirajno, F., & Smithies, R. H. (1992). *The FeO/(FeO+MgO) ratio of tourmaline: a useful indicator of spatial variations in granite-related hydrothermal mineral deposits*. Journal of Geochemical Exploration, 42(2-3), 371-381.

- Rochmatulloh, A. K. (2018). *Studi Perubahan Rekahan 3D Akibat Pengaruh Tekanan Mekanik Pada Batuan Geotermal*. (Skripsi). Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Rott, N. (1990). *Note on the History of the Reynolds Number*. Annual Review of Fluid Mechanics, 22, hlm. 1-11.
- Ruhland, R., (1973). *Méthode d'étude de la fracturation des roches, associé à divers modèles structuraux*. Geol. Soc. Bull., 26, 2-3, p31-113, Strasbourg.
- Saptadji, N. M. (2002). *Catatan Kuliah Teknik Panas Bumi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Schön, J. H. (1998). *Physical Properties of Rocks: Fundamentals and Principles of Petrophysics*. Austria: Institut of Applied Geophysics, Leoben.
- Sebastian, C. E. (2017). *Akuisisi Rekonstruksi dan Pemrosesan Core Plug Berbagai Ukuran Menggunakan Micro CT-Scan untuk Perhitungan Porositas Batuan*. (Skripsi). Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sebastian, C. E., Winardhi, C., & Latief, F. D. E. (2016). *Analisis Pengaruh Thresholding dalam Pemrosesan Citra Batupasir Berea*. Prosiding SKF, ISBN: 978-602-61045-1-9.
- Segal, E & Ellingson, W. A. (1987). *A Linearization Beam-Hardening Correction for X-Ray Computed Tomography*. Springer: Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation.
- Solomon, C. (2011). *Fundamentals of Digital Image Processing*. West Sussex: Wiley Blackwell.
- Sumarni. (2018). *Studi Perubahan Struktur Pori dan Rekahan 3D pada Batuan Penutup Panas Bumi Akibat Pengaruh Tekanan Uniaxial serta Keamanan Clay Cap Daerah Panas Bumi Candi Umbul-Telomoyo, Semarang*. (Skripsi). Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.

- Tim Survei Aliran Panas Bumi. (2013). *Laporan Akhir Survei Aliran Panas Daerah Panas Bumi Kadidia, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah*. Nomor : 06/PB/BGD/2013. PSDG: Bandung.
- Tim Survei Magnetotellurik. (2012). *Laporan Pendahuluan Survei Magnetotellurik Daerah Panas Bumi Kadidia, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah*. Nomor : 08/BP/BGD/2012. PSDG: Bandung.
- Tim Survei Terpadu. (2012). *Laporan Akhir Survei Terpadu Geologi, Geokimia, dan Geofisika Daerah Panas Bumi Kadidia, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah*. Nomor : 12/PB/BGD/2012. PSDG: Bandung.
- Wawersik, W. R., & Fairhurst, C. (1970). *A study of brittle rock fracture in laboratory compression experiments*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, (Vvol. 7, No. 5, pp. 561-575). Pergamon.
- Wibowo, A.E.A., & Risdianto, D. (2012). *Penyelidikan Terpadu Geologi Daerah Panas Bumi Kadidia Selatan Kabupaten Sigi Provinsi Sulawesi Tengah*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Winardhi, C., Maulana, F. I., & Latief, F. D. E. (2016). *Permeability Estimation of Porous Rock by Means of Fluid Flow Simulation and Digital Image Analysis*. IOP Conference Series: Earth Environment Science, 29 012005.
- Yanagidani, T., Ehara, S., Nishizawa, O., Kusunose, K., & Terada, M. (1985). *Localization of dilatancy in Ohshima granite under constant uniaxial stress*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 90(B8), 6840-6858.

Peraturan perundang-undangan:

Undang-Undang No. 21 Tahun 2014 Tentang Panas Bumi