

**PENGARUH SUHU TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR BATUAN 3D
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 Program Studi Fisika



Oleh:

Iqbal Assidiq

NIM 1505685

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2019**

**PENGARUH SUHU TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR BATUAN 3D
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

Iqbal Assidiq

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Sains

Departemen Pendidikan Fisika Program Studi Fisika
Konsentrasi Fisika Kebumian
FPMIPA UPI

© Iqbal Assidiq

Universitas Pendidikan Indonesia

Juli 2019

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
Dengan dicetak ulang, difotocopy, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

IQBAL ASSIDIQ

PENGARUH SUHU TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR BATUAN 3D
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

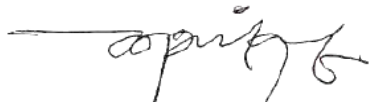


Dr. Fourier Dzar Eljabbar Latief, M.Si

NIP 198010192010121002

Mengetahui,

Ketua Departemen Pendidikan Fisika



Dr. Taufik Ramlan Ramalis, M.Si.

NIP 195904011986011001

HALAMAN PERNYATAAN TENTANG KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**PENGARUH SUHU TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR BATUAN 3D PADA BATUAN PENUDUNG DAERAH POTENSI PANAS BUMI DI DAERAH KADIDIA - SIGI, SULAWESI TENGAH**” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Juli 2019
Yang Membuat Pernyataan

Iqbal Assidiq
NIM 1505685

**PENGARUH SUHU TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR BATUAN 3D
PADA BATUAN PENUDUNG DAERAH POTENSI PANAS BUMI DI
DAERAH KADIDIA - SIGI, SULAWESI TENGAH**

Iqbal Assidiq

Pembimbing I : Dr. Selly Feranie, M.Si

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

ABSTRAK

Daerah potensi panas bumi Kadidia-Sigi, Sulawesi Tengah memiliki batuan penudung yang bersifat *impermeable* dengan kandungan mineral lempung (*illite*) yang cukup tinggi pada daerah alterasi di sekitar manifestasi. Sampel batuan breksi diambil dari salah satu sumur yang telah dianalisis untuk melihat pengaruh suhu terhadap perubahan struktur batuan 3D. Sampel batuan diberikan perlakuan induksi panas dengan suhu yang bervariasi dimulai dari 24°C (suhu ruang), 100°C, 150°C, 200°C, hingga 250°C. Sampel pada suhu ruang yang telah diberikan perlakuan selanjutnya dipindai dengan instrumen *Micro-Computed Tomography Scan* (μ -CT Scan). 300 citra hasil μ -CT Scan direkonstruksi dan dikarakterisasi perubahan 3D pada struktur pori, mineral, serta rekahan menggunakan *digital image processing*. Hasil yang diperoleh berupa distribusi ukuran butiran pori, distribusi ukuran butiran mineral serta besaran batuan porositas $\{\phi(T)\}$, luas permukaan spesifik $\{SsA(T)\}$ yang cenderung mengalami kenaikan secara polynomial pada struktur pori maupun mineral. Sedangkan pada rekahan, hasil yang diperoleh berupa parameter utama yaitu *aperture* $\{e(T)\}$, densitas $\{\Phi(T)\}$, serta intensitas $\{I(T)\}$. Perubahan mikro struktur ($N_{fracture}$) yang merupakan penyebab terjadinya perubahan sifat fraktal pada struktur batuan. Dimana perubahan fraktal tersebut menghasilkan persamaan yang menunjukkan dimensi fraktal sebagai fungsi suhu yang terjadi pada struktur pori, mineral, maupun rekahan batuan breksi.

Kata Kunci: struktur batuan 3D, perlakuan suhu, pori, mineral, rekahan, dimensi fraktal

**THE EFFECT OF TEMPERATURE TO CHANGE 3D ROCK STRUCTURE
ON CAPROCK OF THE AREA OF GEOTHERMAL POTENTIAL IN
KADIDIA - SIGI, CENTRAL SULAWESI**

Iqbal Assidiq

Ist Adviser : Dr. Selly Feranie, M.Si

IInd Adviser : Dr. Fourier Dzar Eljabbar Latief, M.Si

ABSTRACT

Kadidia-Sigi, Central Sulawesi's geothermal potential area has impermeable hoods with a high level of clay minerals (illite) in alteration regions around geothermal manifestations. Breccia rock samples were taken from one of the wells that had been analyzed to see the effect of temperature on changes in 3D rock structure. Rock samples were given heat induction treatment with varying temperatures ranging from 24°C (room temperature), 100°C, 150°C, 200°C, to 250°C. Samples at room temperature that have been given treatment are scanned with a Micro-Computed Tomography Scan (μ -CT Scan) instrument. 300 images of the μ -CT Scan results were reconstructed and characterized by 3D changes in the pore structure, minerals, and fractures using digital image processing. The results obtained in the form of pore grain size distribution, mineral grain size distribution and porosity rock size $\{f(T)\}$, specific surface area $\{SsA(T)\}$ which tends to increase polynomially in pore and mineral structures. Fracture results are obtained in the form of the main parameters, namely aperture $\{e(T)\}$, density $\{\Phi(T)\}$, and intensity $\{I(T)\}$. Changes in micro structure ($N_{fracture}$) which is the cause of changes in fractal properties in rock structures. Where fractal changes produce equations that show fractal dimensions as a function of temperature that occurs in the pore structure, minerals, and breccia rock fractures.

Keywords: 3D rock structure, treatment of temperature, pore, minerals, fractures, fractal dimensions

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, berkat rahmat-Nya penulis bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PENGARUH SUHU TERHADAP PERUBAHAN STRUKTUR BATUAN 3D PADA BATUAN PENUDUNG DAERAH POTENSI PANAS BUMI DI DAERAH KADIDIA - SIGI, SULAWESI TENGAH”**.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang penulis tempuh untuk meraih gelar Sarjana Sains Program Studi Fisika, Departemen Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.

Skripsi yang penulis buat merupakan sebuah studi tentang perubahan struktur serta karakteristik yang terjadi pada batuan penudung panas bumi akibat pengaruh suhu daerah panas bumi Kadidia-Sigi, Sulawesi Tengah. Agar dapat memahami maksud, tujuan, serta isi hasil dari penelitian ini maka penulis persilahkan untuk membacanya lebih lanjut. Tidak lupa penulis pula menerima kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk perbaikan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna umumnya bagi pembaca, khususnya bagi penulis sendiri.

Bandung, Juli 2019

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, berkat rahmat-Nya penulis bisa menyelesaikan skripsi ini. Dalam proses penyelesaian skripsi ini penulis telah dibantu berbagai pihak dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Asep Soyan Sofyan dan Ibu Teti Suryati selaku kedua orang tua penulis, terima kasih atas segala dukungan, do'a, serta kasih sayang yang telah diberikan kepada penulis semoga Allah SWT memberikan kesehatan dan umur yang panjang.
2. Ibu Dr. Selly Feranie, M.Si selaku pembimbing I yang telah memberikan semangat, arahan, motivasi, serta memfasilitasi dengan penuh kepada penulis dalam proses penelitian serta dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Dr. Fourrier Dzar Eljabbar Latief, M.Si selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan serta arahan kepada penulis baik selama proses penelitian maupun selama proses penyelesaian skripsi.
4. Bapak Dr. Andy Setiawan, M.Si selaku pembimbing akademik yang selalu membimbing dan memberikan arahan selama masa perkuliahan berlangsung.
5. Bapak Nanang Dwi Ardi, M.T selaku dosen mata kuliah Fisika Kebumihan yang telah memberikan ilmu serta pengalaman yang bermanfaat selama masa perkuliahan baik didalam kampus maupun di lapangan.
6. Bapak Dr. Taufik Ramlan Ramalis, M.Pd, selaku ketua Departemen Pendidikan Fisika Universitas Pendidikan Indonesia.
7. Seluruh dosen Departemen Pendidikan Fisika Universitas Pendidikan Indonesia yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan juga pengalaman selama masa perkuliahan.
8. Seluruh staf administrasi Departemen Pendidikan Fisika Universitas Pendidikan Indonesia yang telah mempermudah proses perizinan selama proses penyelesaian skripsi ini.
9. Seluruh staf karyawan Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi khususnya kepada Bapak Dikdik M.Si, Bapak Alwin S.T, dan Bapak

Juju Jaenudin S.T yang telah memberikan sampel batuan dan juga informasi geologi selama proses penelitian berlangsung.

10. Kang Chandra Winardi, M.Si selaku asisten di Laboratorium Micro-CT yang telah membantu penulis dalam proses perlakuan suhu dan pemindaian terhadap sampel batuan yang diuji selama proses penelitian.
11. *Digital Rock Physics Team* (Prana Fahmi L Tobing, S.Si, Firmansyah, M.Si, Ulpa Zein Fawziah, S.Si, Rizki Fahmi, S.Si., Aceng Kurnia Rochmatulloh, S.Si., Nur Rahmi, S.Si, Sumarni, S.Si, Mardiannisa Fitri, S.Si, Annisa Nadhira) yang telah berbagi pengalaman serta ilmu dalam proses penyelesaian skripsi.
12. Dimas Batara, S.Si dan Rivan Sudiarta, S.Pd selaku mentor selama masa perkuliahan.
13. Ahmad Yusuf, S.Si selaku kakak tingkat yang telah membagikan pengalaman dan memberi arahan selama proses perkuliahan.
14. Farah Aprisza Sheelmarevaa yang selalu memotivasi dan memberi semangat kepada penulis selama proses penyelesaian skripsi.
15. Penghuni Warung Moess yang telah membagikan pengalaman, ilmu, dan suka cita selama proses perkuliahan berlangsung.
16. Seluruh teman – teman Departemen Pendidikan Fisika tahun 2015 yang telah berbagi serta berjuang bersama penulis selama masa perkuliahan.
17. Seluruh teman – teman KKN selama berada di Desa Samudera Jaya diantaranya Rian, Asep, Cecen, Daning, Mia, Rany, Ranis, Sarah, Kiki, dan Santi.
18. Semua pihak yang telah membantu penulis selama proses penelitian dan penyelesaian skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan bantuan semua pihak yang telah diberikan selama proses penyelesaian skripsi ini, dan tentunya semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN TENTANG KEASLIAN SKRIPSI	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR PUSTAKA	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	4
1.3 Batasan Masalah Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Regional Daerah Penelitian	7
2.2 Sistem Panas Bumi	10
2.3 Alterasi Hidrotermal	12
2.4 Konsep Citra Digital.....	13
2.4.1 Akuisisi Citra	13
2.4.2 Rekontruksi Citra	13
2.4.3 Konsep Citra Digital	13
2.5 Parameter Sifat Fisis Batuan	14
2.5.1 Karakteristik Batuan Sedimen.....	14
2.5.2 Parameter Utama Rekahan.....	15
2.5.3 Besaran Transpor Fluida	17
2.5.4 Teori Dimensi Fraktal	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Alur Penelitian.....	20

3.2	Tahapan Penelitian	21
3.2.1	Penyiapan Sampel Batuan Panas Bumi	21
3.2.2	Petrografi.....	21
3.2.3	Pemberian Perlakuan Suhu	22
3.2.4	Pemindaian Sampel Batuan.....	23
3.2.5	Rekonstruksi Data Digital Sampel Batuan.....	25
3.2.6	<i>Region of Interest (ROI)</i>	26
3.2.7	Pengubahan data ke <i>Binary (Thresholding)</i>	26
3.2.8	Pengisolasian (<i>Despeckling</i>)	27
3.3	Karakterisasi Struktur Batuan 3D.....	29
3.3.1	Karakterisasi Struktur Pori.....	29
3.3.2	Karakterisasi Struktur Mineral.....	29
3.3.3	Karakterisasi Struktur Rekahan.....	29
3.3.4	Besaran Transpor Fluida	30
3.3.5	Karakterisasi Dimensi Fraktal.....	33
BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Karakteristik Batuan Potensi Panas Bumi.....	36
4.1.1	Komposisi Mineral Penyusun Batuan.....	36
4.2	Pengaruh Suhu Terhadap Struktur Batuan 3D	38
4.2.1	Pengaruh Suhu Terhadap Karakteristik Struktur Pori.....	41
4.2.2	Pengaruh Suhu Terhadap Karakteristik Struktur Mineral.....	47
4.2.3	Pengaruh Suhu Terhadap Karakteristik Struktur Rekahan	53
4.2.4	Pengaruh Suhu Terhadap Pembentukan Rekahan.....	58
4.3	Karakteristik Fraktal Pada Struktur Batuan 3D.....	61
4.3.1	Pengaruh Suhu Terhadap Karakterisasi Sifat Fraktal Pori.....	61
4.3.2	Pengaruh Suhu Terhadap Karakterisasi Sifat Fraktal Mineral.....	63
4.3.3	Pengaruh Suhu Terhadap Karakterisasi Sifat Fraktal Rekahan	65
BAB V SIMPULAN DAN REKOMENDASI		69
5.1	Simpulan.....	69
5.2	Implikasi dan Rekomendasi	71
LAMPIRAN-LAMPIRAN		73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Peta Indeks Lokasi Daerah Penyelidikan</i>	7
Gambar 2. 2 <i>Peta Geologi daerah Panas Bumi Kadidia</i>	9
Gambar 2. 3 <i>Perhitungan Aperture Rekahan Dengan Pendekatan Diameter</i> (Sumber: Dietrich, 2004).	16
Gambar 3. 1 <i>Diagram Alir Penelitian Perlakuan Suhu</i>	20
Gambar 3. 2 <i>Sampel batuan panas bumi daerah Kadidia</i>	21
Gambar 3. 3 <i>Alat Oven OF-02G di Laboratorium Instrumentasi Fisika FMPIPA</i> <i>ITB</i>	22
Gambar 3. 4 <i>Instrumen Micro-CT Skyscan 1173</i>	23
Gambar 3. 5 <i>Citra Digital Bayangan</i>	24
Gambar 3. 6 <i>Tahapan Rekontruksi menggunakan software Nrecon</i>	25
Gambar 3. 7 <i>Citra thin section hasil rekontruksi</i>	25
Gambar 3. 8 <i>Region of Interest pada citra sampel batuan</i>	26
Gambar 3. 9 <i>Citra Sebelum Dan Sesudah Proses Thresholding</i>	27
Gambar 3. 10 <i>Hasil proses despeckling pada sampel batuan</i>	28
Gambar 3.11 <i>Proses Skeletonize Pada Citra Biner Rekahan</i>	30
Gambar 3. 12 <i>Bilangan koordinat matriks pada model batuan 3D</i>	31
Gambar 3. 13 <i>Dimensi Fraktal berdasarkan Konsep Geometri Euclidian</i>	34
Gambar 3. 14 <i>Diagram alir algoritma Box-Counting</i>	35
Gambar 4. 1 <i>Hasil Petrografi Batuan Breksi</i>	36
Gambar 4. 2 <i>Visualisasi 2D (ROI) pada thin section 157</i>	39
Gambar 4. 3 <i>Visualisasi rekahan pada citra thin section 157</i>	40
Gambar 4. 4 <i>Visualisasi 3D Perubahan Struktur Pori</i>	41
Gambar 4. 5 <i>Distribusi Frekuensi Terhadap Ukuran Pori</i>	42
Gambar 4. 6 <i>Grafik Hubungan Volume Pori Terhadap Suhu</i>	43
Gambar 4. 7 <i>Grafik Hubungan Porositas Terhadap Suhu</i>	45
Gambar 4. 8 <i>Grafik Hubungan SsA Pori Terhadap Suhu</i>	46
Gambar 4. 9 <i>Visualisasi 3D Perubahan Struktur Mineral Akibat Pengaruh Suhu</i>	48
Gambar 4. 10 <i>Grafik Distribusi Ukuran Mineral Akibat Suhu</i>	49
Gambar 4. 11 <i>Grafik Perubahan Volume Mineral Terhadap Suhu</i>	50
Gambar 4. 12 <i>Grafik Hubungan Densitas Mineral Terhadap Suhu</i>	51
Gambar 4. 13 <i>Grafik Hubungan Luas Permukaan Spesifik Mineral Terhadap</i> <i>Suhu</i>	52
Gambar 4. 14 <i>Visualisasi Rekahan 3D Setiap Perlakuan Suhu</i>	54
Gambar 4. 15 <i>Perubahan Aperture Rekahan Akibat Pengaruh Suhu</i>	55
Gambar 4. 16 <i>Perubahan Densitas Rekahan Akibat Pengaruh Suhu</i>	56
Gambar 4.17 <i>Perubahan Intensitas Rekahan Akibat Pengaruh Suhu</i>	58
Gambar 4.18 <i>Visualisasi 3D Perubahan Struktur Mineral Akibat Suhu Pada</i> <i>Batuan Breksi Andesit</i>	61
Gambar 4.19 <i>Hubungan Dimensi Fraktal Pori (Box-Counting) Terhadap Suhu</i>	62
Gambar 4.20 <i>Grafik Hubungan Dimensi Fraktal Mineral Terhadap Suhu</i>	64
Gambar 4. 21 <i>Grafik Hubungan Dimensi Fraktal Rekahan Terhadap Suhu</i>	66

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 <i>Penentuan Nilai Batas Piksel</i>	27
Tabel 3. 2 <i>Koordinat matriks relatif terhadap P</i>	32
Tabel 4. 1 <i>Komposisi Mineral Batuan Breksi Kadidia, Sulawesi Tengah</i>	38
Tabel 4. 2 <i>Karakterisasi Parameter Besaran Fisis Batuan Pada Pori</i>	44
Tabel 4. 3 <i>Karakterisasi Parameter Besaran Fisis Batuan Pada Mineral</i>	50
Tabel 4. 4 <i>Perubahan Aperture Rekahan Akibat Pengaruh Suhu</i>	54
Tabel 4. 5 <i>Perubahan Densitas Rekahan Akibat Pengaruh Suhu</i>	56
Tabel 4. 6 <i>Perubahan Intensitas Rekahan Akibat Pengaruh Suhu</i>	57
Tabel 4. 7 <i>Perbandingan Karakteristik Batuan Penudung</i>	59
Tabel 4. 8 <i>Karakterisasi Dimensi Fraktal Pori Metode Box-Counting</i>	62
Tabel 4. 9 <i>Perbandingan Dimensi Fraktal Pori Box-Counting Dengan CTAn</i>	63
Tabel 4. 10 <i>Karakterisasi Dimensi Fraktal Mineral Box-Counting</i>	64
Tabel 4. 11 <i>Perbedaan Dimensi Fraktal Mineral Box-Counting Dengan CTAn</i> . 65	
Tabel 4. 12 <i>Karakterisasi Dimensi Fraktal Rekahan Box-Counting</i>	66
Tabel 4. 13 <i>Perbedaan Dimensi Fraktal Rekahan Box-Counting Dengan CTAn</i> . 67	

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Parameter Pemindaian Sampel Batuan KDD-01	73
Lampiran.2 <i>Script</i> MATLAB untuk Dimensi Fraktal.....	75
Lampiran.3 Algoritma Pengecekan Konektivitas Pori Dengan MATLAB	76
Lampiran.4 <i>Script</i> MATLAB Perhitungan Parameter Densitas	84

DAFTAR PUSTAKA

- Bartko, K. M., Nasr-El-Din, H. A., Rahim, Z., & Al-Muntasheri, G. A. (2003, January). *Acid fracturing of a gas carbonate reservoir: the impact of acid type and lithology on fracture half length and width*. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- Browne, P.R.L. (1991). *Hydrothermal Alteration*. New Zealand : Geothermal Institute, University of Auckland.
- Charlez, P., Lemonnier, P., Ruffet, C., Boutéca, M. J., & Tan, C. (1996, January). *Thermally induced fracturing: analysis of a field case in North Sea*. In European Petroleum Conference. Society of Petroleum Engineers.
- Dietrich, P., Helmig, R., Sauter, M., Hotzl, H., Kongeter, J., Teutsch, G. (2004). *Flow and Transpor in Fractured Porous Media*. Newyork: Springer.
- Duclos R, Paquet J. (1991). High-temperatur behaviour of basalt – role of temperatur and strain rate on compressive strength and KIC toughness of partially glassy basalts at atmospheric pressure. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr.* **28**. hlm. 71–6.
- Dudi, H., Santia, A. M. (2015). *Survei Landaian Suhu Sumur KDD-1 Daerah Panas Bumi Kadidia, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Dwikorianto, T. dan Ciptadi. (2006). *Explorasi, Exploitasi & Pengembangan Panasbumi di Indonesia*. Seminar Nasional HM Teknik Geologi UNDIP 2006. Semarang.
- Fauzi, U., dan Ariwibowo, T. (2006): *Tortuosity and Coordination Number of Highly Porous Artificial Rocks Created Using Random Number Generator*, Proceedings of ICMNS 2006.
- Feranie, S., & Feranie, S. (2010). *Pemodelan Struktur Pori Dari Batuan Geologi Dengan Fraktal*. *Berkala Fisika*, 12(3), 91-96.
- 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. (2011). *Penyelidikan Sifat Fraktal dan Besaran Transport pada Struktur Pori 3D Batuan dan Model Fraktal (Menger Sponges dan IFS)*. Disertasi, ITB.
- Harvey, C.C. dan Browne, P.R.L. (1991). *Mixed-layer clay geothermometry in the Wairakei geothermal field*. New Zealand. Clays & clay minerals. vol.39 no.6. 614-621.
- Hochstein, M.P., dan Browne, P.R.L. (2000). *Surface Manifestations of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources*. Academic Press. Geothermal Institute, University of Aukland.
- Hommand-Etienne F, Houpert R. (1989). *Thermally induced micro-cracking in granites: characterisation and analysis*. Int J Rock Mech Min Sci Geometr Abstr. **26**. hlm. 125–34.
- Ju, Y., Sudak, L., Xie, H. (2007). *Study on Stress Wave Propagation in Fractured Rocks with Fractal Joint Surface*. International Journal of Solids and Structures. **44**. hlm. 4256-4271.
- Juliansyah, J. (2015). *Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Struktur Mineral Granit yang Terdapat di Nagari Surian Kecamatan Pantai Cermin Kabupaten Solok*. Pillar of Physics, 6(2).
- Khokha, I (1996). *Fractal Geometry in Biological Systems*. ISBN 978-0-8493-7636-8.
- Kusumayudha, S. B. (2005). *Hidrogeologi karst dan geometri fraktal di daerah Gunungsewu*. Adicita Karya Nusa: Yogyakarta.
- Legarth, B., Huenges, G., Zimmermann, G. (2005). *Hydraulic fracturing in a sedimentary geothermal reservoir: Results and Implications*. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 42. 1028-1041.
- Lin, M.Z. (1991). *Thermal physics of rock and its applications in engineering*. Chongqing: Press of Chongqing University.
- Mardiannisa, P. (2018). *Studi Pengaruh Suhu Terhadap Perubahan Struktur Batuan 3D Pada Batuan Penudung Daerah Potensi Panas Bumi Di Daerah Lili-Sepporaki, Sulawesi Barat*. (Skripsi). Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.

- Muralha, J., Myer, L. R., Cook, N. G. W., Goodman R. E., dan Tsang C. F. (1995), *Fractured and Jointed Rock Mechanics*. Rotterdam: A. A. Balkema. hlm. 205-212.
- Otsu, N. (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* Vol 9(1) pp 62-66.
- 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 Geothermal. (Skripsi). Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung
- Rybach, L. (1981). Geothermal systems: conductive heat flow, geothermal anomalies. In: Rybach, L, and Muffler, L.J.P, (eds) *Geothermal systems*. Wiley, New York, 3-36.
- Saptadji, N. M. (2002). *Catatan Kuliah Teknik Panas Bumi*. Bandung, Penerbit ITB.
- Saptadji, N. M. (2009). Karakteristik reservoir panas bumi. *Training Advanced Geothermal Engineering*, 6-17
- Sebastian, C.E. (2017). *Akuisis, Rekonstruksi dan Pemrosesan Core Plug Berbagai Ukuran Menggunakan Micro CT-Scan untuk Perhitungan Porositas Batuan*. (Skripsi). Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Suharno. (2013). *Eksplorasi Geothermal*. Bandar Lampung : Lembaga Penelitian Universitas Lampung.
- Tim Survei Aliran Panas. (2013). *Survei Aliran Panas Daerah Panas Bumi Kadidia, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Tim Survei Terpadu. (2012). *Penyelidikan Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Kadidia, Sulawesi Tengah*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Tobing, P.F.L. (2016). *Studi Reekahan Alami 2D Beserta Pemodelannya dan Perubahan Rekahan 3D Akibat Pengaruh Suhu Tinggi Pada Batuan*

Reservoir Panas Bumi. (Skripsi). Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.

Wang JT. (1989). *The effect of high temperatur on the mechanical properties of rock*. Chinese Journal of Geomechanical Engineering. **11** (6).

White, A. F., & Peterson, M. L. (1991). Chemical equilibrium and mass balance relationships associated with the Long Valley hydrothermal system, California, USA. *Journal of volcanology and geothermal research*, 48(3-4), 283-302.

WWF., (2012). *Igniting the ring of fire: A vision for developing Indonesia's geothermal power*.

Xie, H dan Wang, J. A. (2000). *International Journal Solid Structures*. **37**. hlm. 4627.

Zhang, Z.X., Yu, J., Kou, S.Q., Lindqvist, P.-A. (2001). *Effect of High Temperatures on Dynamic Rock Fracture*. International Journal of Rock Mechanics & Mining Science. **38**. hlm. 211-225.

Zhou, H.W., Xie, H. (2003). *Direct Estiomation of The Fractal Dimension of A Fracture Surface of Rock*. World Scientific. **10** (5). hlm. 751-762.

Peraturan perundang-undangan:

Undang-Undang No. 21 Tahun 2014 Tentang Panas Bumi