

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMAKASIH.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Tujuan Penelitian	3
E. Metode Penelitian.....	4
F. Manfaat Penelitian	4
G. Sistematika Penulisan	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
A. Sifat Fisis Batuan Reservoir.....	6
1. Bentuk Batuan Reservoir Panas Bumi	6
2. Parameter Utama Rekahan.....	8
3. Besaran Transpor Fluida	10
B. Bentuk Rekahan 2D dan 3D.....	14
C. Teori dan <i>Upscaling</i> Fraktal.....	16
1. Teori Fraktal.....	16
2. <i>Upscaling</i> Fraktal	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
A. Lokasi Pengambilan Data dan Sampel Penelitian.....	21

B. Alur Penelitian	22
C. <i>Processing</i> dan Pengolahan Data Citra Rekahan Alami 2D	26
1. <i>Processing</i> Rekahan Alami 2D	26
2. Pengolahan Data Rekahan Alami 2D.....	26
D. Pemodelan Rekahan Alami 2D yang dibangun dari IFS	28
E. Rekonstruksi dan Karakterisasi Rekahan 3D	30
1. Rekonstruksi Rekahan 3D.....	30
2. Karakterisasi Rekahan 3D.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
A. Karakterisasi pada Rekahan Alami 2D Batuan Panas Bumi.....	40
B. Penerapan Upscaling Dalam Pemodelan Rekahan Alami 2D.....	42
C. Visualisasi dan Karakterisasi Pembentukan Rekahan 3D Akibat Pengaruh Suhu	46
1. <i>Aperture</i> Rekahan (e)	48
2. Densitas Rekahan (Φ)	49
3. Intensitas Rekahan (I)	50
D. Pengaruh Perubahan Dimensi Fraktal Rekahan 3D Terhadap Besaran Transpor Batuan Akibat Pengaruh Suhu	52
1. Sifat Fraktal Rekahan Akibat Pengaruh Suhu.....	52
2. Hubungan Dimensi Fraktal dan Permeabilitas.....	57
BAB V KESIMPULAN	60
A. Kesimpulan	60
B. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel III.1	Koordinat matriks relatif terhadap P	36
Tabel IV.1	Karakterisasi sampel rekahan alami 2D	40
Tabel IV.2	Nilai parameter sampel rekahan alami 2D	40
Tabel IV.3	Variasi dimensi fraktal untuk model dengan input sudut antar cabang 44°, dan ketebalan 0.015	43
Tabel IV.4	Parameter model rekahan berdasarkan sampel rekahan alami..	44
Tabel IV.5	Komparasi parameter utama antara model rekahan dan sampel rekahan alami	45
Tabel IV.6	Parameter <i>aperture</i> yang dihitung menggunakan CTAn	48
Tabel IV.7	Parameter densitas rekahan yang dihitung menggunakan Matlab.....	49
Tabel IV.8	Parameter intensitas yang dihitung menggunakan ImageJ	51
Tabel IV.9	Hasil perhitungan elemen mikrostruktur pada suhu 24° C	53
Tabel IV.10	Hasil perhitungan elemen mikrostruktur pada suhu 300° C	53
Tabel IV.11	Hasil perhitungan elemen mikrostruktur pada suhu 600° C	53
Tabel IV.12	Data mikrostruktur rekahan tiap keadaan suhu	55
Tabel IV.13	Perbedaan dimensi fraktal <i>box-counting</i> dan Persamaan (4.2).....	56
Tabel IV.14	Besaran fisis sampel KMJ-11 hasil karakterisasi analisis citra digital.....	57
Tabel IV.15	Perbedaan permeabilitas Kozeny-Carman dengan Persamaan (4.3)	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Perhitungan <i>aperture</i> rekahan dengan pendekatan diameter.	9
Gambar II.2	Aliran fluida pada media berpori yang digambarkan pada 2D (sumber: www.groundwatersoftware.com)	12
Gambar II.3	Model konsep untuk jenis rekahan dalam media berpori (sumber: Kröhn, 1991)	15
Gambar II.4	Model rekahan 3D (kiri) dan rekahan yang terlihat dari arah x pada y = 1 m (kanan) (sumber: Dietrich, dkk, 2004)	16
Gambar II.5	Penjelasan Dimensi Fraktal yang berdasarkan konsep geometri Euclidian (sumber: Khokha, 1996)	18
Gambar II.6	Diagram alir algoritma Box-Counting (sumber: Feranie, dkk, 2011).....	19
Gambar II.7	Ilustrasi pada transformasi data skala mikro yang dapat mewakili data skala makro (sumber: Gueguen, dkk, 2006)..	20
Gambar III.1	Peta lokasi pengambilan data sampel (sumber: PT. Pertamina Geothermal Energy, 2008)	21
Gambar III.2	Sampel batuan rekahan 2D	21
Gambar III.3	Sampel batuan reservoir panas bumi KMJ-11 pada kedalaman 500 m.....	22
Gambar III.4	Diagram alir studi karakterisasi dan pemodelan pada rekahan alami 2D batuan panas bumi.....	23
Gambar III.5	Diagram alir studi pembentukan rekahan 3D dan pemodelannya batuan panas bumi	24
Gambar III.6	Tungku pemanasan Cress MFG C1228/935 Ser. 0412	25
Gambar III.7	Tahap processing pada rekahan alami 2D; (a) citra hasil dari pemindaian; (b) citra hasil dari tahap <i>thresholding</i> ; (c) citra hasil dari tahap <i>despeckling</i>	26
Gambar III.8	Ilustrasi perhitungan panjang rekahan 2D	27

Gambar III.9	Ilustrasi perhitungan dimensi fraktal rekahan 2D.....	27
Gambar III.10	Contoh model rekahan yang dibangun dari IFS dari iterasi 1 (a) sampai iterasi 5 (e)	29
Gambar III.11	Tampilan pembuatan model rekahan 2D dengan IFS	29
Gambar III.12	μ -CT: Skyscan 1173 (sumber: http://bruker-microct.com)...	30
Gambar III.13	Data hasil (output) dari proses pemindaian sampel.....	31
Gambar III.14	Tampilan perangkat Nrecon	31
Gambar III.15	Citra thin section hasil rekonstruksi	32
Gambar III.16	Penentuan ROI pada sampel batuan	32
Gambar III.17	Pengkonversian citra ke biner. (a) <i>thin section</i> sampel batuan berwarna <i>grayscale</i> dan (b) citra biner hasil konversi <i>thresholding</i>	33
Gambar III.18	proses <i>despeckling</i> (a) citra sampel sebelum <i>despeckling</i> (b) citra sampel setelah <i>deseckling</i>	33
Gambar III.19	Tampilan 3D kolom Analysis pada CTAn	34
Gambar III.20	Script pencarian densitas rekahan.....	35
Gambar III.21	Bilangan koordinat matriks pada model batuan 3D	36
Gambar III.22	Perpindahan aliran fluida P pada jalur lurus.....	38
Gambar III.23	Perpindahan aliran fluida P pada jalur diagonal bidang	38
Gambar III.24	Perpindahan aliran fluida P pada jalur diagonal ruang.....	39
Gambar IV.1	Sampel rekahan alami 2D yang telah di- <i>processing</i>	40
Gambar IV.2	Sampel rekahan alami 2D. (a) Sampel utuh; (b) Skala 1; (c) Skala 2; (d) Skala 3; (e) Skala 4.....	41
Gambar IV.3	Parameter rekahan tiap skala; (a) grafik densitas rekahan terhadap skala; (b) grafik intensitas rekahan terhadap skala..	42
Gambar IV.4	Pengaruh dimensi fraktal terhadap densitas dan intensitas. (a) grafik densitas rekahan terhadap iterasi; (b) grafik intensitas rekahan terhadap iterasi	44
Gambar IV.5	Model rekahan berdasarkan sampel rekahan alami 2D; (a) iterasi 1; (b) iterasi 2; (c) iterasi 3; (d) iterasi 4.....	45

Gambar IV.6	Visualisasi rekahan pada batuan di <i>thin section</i> ke 120; (a) pada suhu kamar; (b) pada suhu 300° C; (c) pada suhu 600° C.....	46
Gambar IV.7	Visualisasi rekahan 3D sampel KMJ-11. (a) rekahan pada suhu kamar; (b) rekahan akibat pengaruh suhu 300° C, dan (c) rekahan akibat pengaruh suhu 600° C.....	47
Gambar IV.8	Grafik parameter <i>aperture</i> terhadap suhu.....	49
Gambar IV.9	Grafik parameter densitas terhadap suhu.....	50
Gambar IV.10	Contoh skeletonisasi pada ImageJ (sumber: www.fiji.sc)...	51
Gambar IV.11	Grafik parameter intensitas terhadap suhu	52
Gambar IV.12	Grafik log ($N_{fracture}$) terhadap log (r) pada masing-masing suhu.....	54
Gambar IV.13	Grafik perubahan $N_{fracture}$ terhadap kenaikan suhu	55
Gambar IV.14	Grafik perubahan permeabilitas terhadap perubahan dimensi fraktal	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Script</i> MATLAB Dimensi Fraktal 2D.....	68
Lampiran 2. <i>Script</i> Mathematica Pemodelan Rekahhan dengan IFS	70
Lampiran 3. Parameter Pemindaian Citra Digital KMJ-11	71
Lampiran 4. Prosedur Penggunaan Perangkat Lunak Nrecon	74
Lampiran 5. <i>Script</i> MATLAB Dimensi Fraktal 3D.....	76
Lampiran 6. <i>Script</i> MATLAB Permeabilitas.....	78