

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>SARI .....</b>	<b>xviii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Rumusan Masalah.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3. Maksud dan Tujuan.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. Manfaat Penelitian .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5. Lingkup Penelitian .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.1. Lokasi Penelitian .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.2. Lingkup Kegiatan.....</b>	<b>6</b>
<b>1.6. Batasan Masalah.....</b>	<b>7</b>
<b>1.7. Peneliti Terdahulu dan Keaslian Penelitian .....</b>	<b>9</b>

1.8. Keaslian Penelitian .....	11
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>12</b>
2.1. Fisiografi.....	12
2.2. Stratigrafi .....	13
2.3. Struktur Geologi.....	15
2.4. Manifestasi Lapangan Panas Bumi Patuha .....	19
2.5. Model Konseptual Lapangan Panas Bumi Patuha .....	23
2.6. Pemodelan Kondisi Alamiah dan <i>History Matching</i> Lapangan Panas Bumi Patuha.....	30
<b>BAB III LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS .....</b>	<b>37</b>
3.1. Sistem Lapangan Panas Bumi Patuha.....	37
3.2. Sifat Fisik Batuan Reservoir Panas bumi .....	39
3.2.1. Porositas .....	39
3.2.2. Permeabilitas .....	39
3.2.3. Densitas Batuan .....	40
3.2.4. Konduktivitas Panas .....	41
3.2.5. Panas Spesifik .....	41
3.3. Klasifikasi Sistem Panas Bumi berdasarkan Kandungan Fluida.....	42
3.4. Perubahan di dalam Reservoir Akibat Eksploitasi.....	43
3.5. Kurva Perubahan Fasa Fluida .....	46
3.6. PetraSim (Tough2) <sup>TM</sup> .....	48
3.7. Hipotesis .....	49

<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1. Alur Penelitian .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2. Tempat Penelitian.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3. Tahapan Penelitian.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3.1. Tahap Pendahuluan .....</b>	<b>52</b>
<b>4.3.2. Pengambilan Data .....</b>	<b>52</b>
<b>4.3.3. Pemodelan Reservoir.....</b>	<b>53</b>
<b>4.3.4. Analisis Kondisi Alamiah .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3.5. Kondisi Setelah Produksi.....</b>	<b>54</b>
<b>4.3.6. Pemodelan Lanjutan .....</b>	<b>56</b>
<b>4.3.7. Interpretasi Hasil.....</b>	<b>59</b>
<b>4.3.8. Penyusunan Laporan .....</b>	<b>59</b>
<b>4.4. Ketersediaan Data .....</b>	<b>60</b>
<b>4.5. Instrumen Penelitian .....</b>	<b>61</b>
<b>BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>62</b>
<b>5.1. Sistem Panas Bumi Patuha .....</b>	<b>62</b>
<b>V.2. Analisis Inputan Pemodelan Reservoir Lapangan Panas Bumi Patuha .</b>	<b>62</b>
<b>5.2.1 Analisis Pemodelan Kondisi Alamiah.....</b>	<b>79</b>
<b>5.3. Kondisi Lapangan Panas Bumi Patuha Setelah Produksi.....</b>	<b>86</b>
<b>5.3.1. Tekanan dan Temperatur Sebelum dan Sesudah Produksi Berdasarkan Data Tekanan dan Temperatur Stabil Sumur.....</b>	<b>86</b>
<b>5.3.2. <i>History Matching</i> .....</b>	<b>94</b>

<b>5.4. <i>Superheated</i> pada Lapangan Panas Bumi Patuha.....</b>	<b>97</b>
<b>5.4.1. <i>Superheated</i> berdasarkan Data P&amp;T Stabil Sumur .....</b>	<b>97</b>
<b>5.4.1.1. Perhitungan Nilai Saturasi .....</b>	<b>99</b>
<b>5.4.1.2. Perhitungan Derajat Temperatur Sumur Terhadap Temperatur Saturasi.....</b>	<b>110</b>
<b>5.4.2. Pemodelan Prediksi Lapangan Panas Bumi Patuha.....</b>	<b>110</b>
<b>5.4.2.1. Perhitungan Derajat Temperatur Sumur Terhadap Temperatur Saturasi.....</b>	<b>110</b>
<b>5.4.2.2 Peta Persebaran Derajat <i>Superheated</i> .....</b>	<b>110</b>
<b>5.5. Penanganan Sumur <i>Superheated</i> Lapangan Panas Bumi Patuha .....</b>	<b>138</b>
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>138</b>
<b>6.1. Kesimpulan .....</b>	<b>138</b>
<b>6.2. Saran.....</b>	<b>139</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>141</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1.</b> Peta Lokasi Lapangan Panas Bumi Patuha pada WKP Pangalengan (kotak hijau).....	8
<b>Gambar 2.1</b> Peta pembagian fisiografi Jawa bagian barat yang mencakup lokasi penelitian (digambar ulang dan diterjemahkan dari van Bemmelen, 1970). ....	17
<b>Gambar 2.2.</b> Peta Geologi Lembar Sindangbarang dan Bandarwaru mencakup lapangan panas bumi Patuha yang ditunjukkan oleh kotak dengan garis berwarna merah (adaptasi dari Koesmono dkk, 1996). ....	20
<b>Gambar 2.3.</b> Peta geologi interpretasi inderaja lapangan panas bumi Patuha (adaptasi dari Kusdji, 2013). ....	21
<b>Gambar 2.4.</b> Struktur pada lapangan panas bumi Patuha (Elfina 2007, Pradipta, dkk 2016). ....	22
<b>Gambar 2.5.</b> Model konseptual reservoir Patuha diterjemahkan dan digambar ulang dari Layman dan Soemarinda, 2003. ....	24
<b>Gambar 2.6.</b> Model konseptual reservoir Patuha (Schotanus, 2013). ....	24
<b>Gambar 2.7.</b> Model konseptual lapangan panas bumi Patuha (Elfina, 2017). ....	28
<b>Gambar 2.8.</b> Model konseptual lapangan panas bumi Patuha (PT.GDE, 2019). ....	29
<b>Gambar 2.9.</b> a). Hasil model temperatur pada PPL– 02. b) Hasil model tekanan pada PPL-02 (Firdaus dkk, 2016). ....	32
<b>Gambar 2.10.</b> a). Hasil model temperatur pada PPL– 02. b) Hasil model tekanan pada PPL-02 (Firdaus dkk, 2016). ....	32
<b>Gambar 2.11.</b> a) Aliran fluida pada cross section 3.300 m. b) model konseptual Layman (Firdaus dkk, 2016). ....	33
<b>Gambar 2.12.</b> Perbandingan antara hasil simulasi – keselarasan tekanan dan temperatur dari sumur PPL (Ashat dan Pratama, 2017). ....	35
<b>Gambar 2.13.</b> Tekanan reservoir pada <i>history matching</i> (Ashat dan Pratama, 2017). ....	36
<b>Gambar 3.1.</b> Reservoir panas bumi dominasi uap pada lapangan panas bumi Patuha (Hochstein dan Sudarman, 2015). ....	38
<b>Gambar 3.2.</b> a) Reservoir dominasi air dan b) Reservoir dominasi uap (Grant dkk, 1982). ....	43
<b>Gambar 3.3.</b> Perubahan distribusi fluida pada sistem dominasi air saat keadaan awal dan setelah dieksploitasi (Grant dan Bixley, 2011). ....	44
<b>Gambar 3.4.</b> Distribusi fluida pada reservoir dominasi uap setelah eksploitasi (Grant dan Bixley, 2011). ....	45
<b>Gambar 3.5.</b> Grafik perubahan fase fluida (Digambar ulang dari Borgnakke dkk, 2013). ....	47

<b>Gambar 4.1.</b> Diagram alir pada penelitian pemodelan numerik reservoir panas bumi Patuha, Jawa Barat. ....	51
<b>Gambar 4.2.</b> Data tekanan dan temperatur stabil pada sumur PPL-01.....	54
<b>Gambar 4.3.</b> Perhitungan nilai saturasi pada PPL-01.....	55
<b>Gambar 4.4.</b> Running pemodelan pada tahun 2019. ....	57
<b>Gambar 4.5.</b> Hasil <i>running</i> pada tahun 2020.....	57
<b>Gambar 4.6.</b> Perhitungan nilai saturasi.....	58
<b>Gambar 5.1.</b> Peta lapangan panas bumi Patuha (PT.GDE, 2009). ....	64
<b>Gambar 5.2.</b> Grid model pada pemodelan numerik lapangan panas bumi Patuha (PT.GDE, 2009).....	65
<b>Gambar 5.3.</b> Model layer pada pemodelan numerik lapangan panas bumi Patuha (PT.GDE, 2009).....	66
<b>Gambar 5.4.</b> Distribusi nilai batuan secara vertikal (PT.GDE, 2009). ....	67
<b>Gambar 5.5.</b> Daftar mineral sekunder dan kisahan temperatur (Bignall, 2010 dalam Schotanus, 2013).....	74
<b>Gambar 5.6.</b> Kesesuain tekanan dan temperatur pada area tekanan tinggi diwakili oleh PPL-2 (PT.GDE, 2019). ....	81
<b>Gambar 5.7.</b> Kesesuain tekanan dan temperatur pada area tekanan sedang diwakili oleh PPL-03 (PT.GDE, 2019). ....	82
<b>Gambar 5.8.</b> Kesesuain tekanan dan temperatur pada area tekanan rendah diwakili oleh PPL-01 (PT.GDE, 2019). ....	83
<b>Gambar 5.9.</b> Distribusi temperatur secara lateral pada elevasi 1000 mdpl (PT.GDE, 2019).....	84
<b>Gambar 5.10.</b> Distribusi temperatur berdasarkan pemodelan numerik (PT.GDE, 2019).....	85
<b>Gambar 5.11.</b> Perubahan tekanan dan temperatur sebelum dan sesudah produksi pada PPL-01. ....	87
<b>Gambar 5.12.</b> Perubahan tekanan dan temperatur sebelum dan sesudah produksi pada PPL-02. ....	88
<b>Gambar 5.13.</b> Perubahan tekanan dan temperatur sebelum dan sesudah produksi pada PPL-02A. ....	89
<b>Gambar 5.14.</b> Perubahan tekanan dan temperatur sebelum dan sesudah produksi pada PPL-03. ....	90
<b>Gambar 5.15.</b> Perubahan tekanan dan temperatur sebelum dan sesudah produksi pada PPL-03B.....	91
<b>Gambar 5.16.</b> Perubahan tekanan dan temperatur sebelum dan sesudah produksi pada PPL-05. ....	92
<b>Gambar 5.17.</b> Perubahan tekanan dan temperatur sebelum dan sesudah produksi pada PPL-06. ....	93

<b>Gambar 5.18.</b> Perubahan entalpi dari hasil <i>history matching</i> pada PPL-01 dan PPL-03A (PT.GDE, 2019). .....	96
<b>Gambar 5.19.</b> Penurunan tekanan pada PPL-01 dan PPL-03 (PT.GDE, 2019). .....	97
<b>Gambar 5.20.</b> Grafik temperatur PPL-01 terhadap temperatur saturasi. ....	101
<b>Gambar 5.21.</b> Grafik temperatur PPL-02 terhadap temperatur saturasi. ....	102
<b>Gambar 5.22.</b> Grafik temperatur PPL-02A terhadap temperatur saturasi. ....	103
<b>Gambar 5.23.</b> Grafik temperatur PPL-03 terhadap temperatur saturasi. ....	103
<b>Gambar 5.24.</b> Grafik temperatur PPL-05 terhadap temperatur saturasi. ....	104
<b>Gambar 5.25.</b> Grafik temperatur PPL-06 terhadap temperatur saturasi. ....	104
<b>Gambar 5.26.</b> Grafik temperatur PPL-03 terhadap temperatur saturasi. ....	105
<b>Gambar 5.27.</b> Grafik temperatur PPL-06 terhadap temperatur saturasi. ....	106
<b>Gambar 5.28.</b> Grafik temperatur PPL-01 terhadap temperatur saturasi. ....	107
<b>Gambar 5.29.</b> Grafik temperatur PPL-02A terhadap temperatur saturasi. ....	107
<b>Gambar 5.30.</b> Grafik temperatur PPL-03B terhadap temperatur saturasi. ....	108
<b>Gambar 5.31.</b> Grafik temperatur PPL-05 terhadap temperatur saturasi. ....	109
<b>Gambar 5.32.</b> Peta kontur isothermal pada setiap elevasi, peta struktur geologi, dan lokasi manifestasi di permukaan (Utama, 2020 dalam proses) ..	110
<b>Gambar 5.33.</b> Grafik temperatur PPL-01 terhadap temperatur saturasi pada tahun 2020. ....	111
<b>Gambar 5.34.</b> Grafik temperatur PPL-01 terhadap temperatur saturasi pada tahun 2021. ....	112
<b>Gambar 5.35.</b> Grafik temperatur PPL-01 terhadap temperatur saturasi pada tahun 2022. ....	112
<b>Gambar 5.36.</b> Grafik temperatur PPL-01 terhadap temperatur saturasi pada tahun 2023. ....	113
<b>Gambar 5.37.</b> Grafik temperatur PPL-02 terhadap temperatur saturasi pada tahun 2022. ....	113
<b>Gambar 5.38.</b> Grafik temperatur PPL-02 terhadap temperatur saturasi pada tahun 2020. ....	114
<b>Gambar 5.39.</b> Grafik temperatur PPL-02A terhadap temperatur saturasi pada tahun 2021. ....	115
<b>Gambar 5.40.</b> Grafik temperatur PPL-02A terhadap temperatur saturasi pada tahun 2022. ....	115
<b>Gambar 5.41.</b> Grafik temperatur PPL-02A terhadap temperatur saturasi pada tahun 2023. ....	116
<b>Gambar 5.42.</b> Grafik temperatur PPL-03 terhadap temperatur saturasi pada tahun 2020. ....	117
<b>Gambar 5.43.</b> Grafik temperatur PPL-03 terhadap temperatur saturasi pada tahun 2022. ....	117

<b>Gambar 5.44.</b> Grafik temperatur PPL-03 terhadap temperatur saturasi pada tahun 2023. ....	118
<b>Gambar 5.45.</b> Grafik temperatur PPL-03A terhadap temperatur saturasi pada tahun 2022. ....	119
<b>Gambar 5.46.</b> Grafik temperatur PPL-03 terhadap temperatur saturasi pada tahun 2023. ....	119
<b>Gambar 5.47.</b> Grafik temperatur PPL-03B terhadap temperatur saturasi pada tahun 2022. ....	120
<b>Gambar 5.48.</b> Grafik temperatur PPL-03A terhadap temperatur saturasi pada tahun 2023. ....	121
<b>Gambar 5.49.</b> Grafik temperatur PPL-05 terhadap temperatur saturasi pada tahun 2023. ....	121
<b>Gambar 5.50.</b> Peta persebaran temperatur <i>superheated</i> tahun 2020 di elevasi 1000 mdpl.....	123
<b>Gambar 5.51.</b> Peta persebaran temperatur <i>superheated</i> tahun 2021 di elevasi 1000 mdpl.....	124
<b>Gambar 5.52.</b> Peta persebaran temperatur <i>superheated</i> tahun 2021 di elevasi 1200 mdpl.....	125
<b>Gambar 5.53.</b> Peta persebaran temperatur <i>superheated</i> tahun 2022 di elevasi 800 mdpl.....	125
<b>Gambar 5.54.</b> Peta persebaran temperatur <i>superheated</i> tahun 2022 di elevasi 1000 mdpl.....	126
<b>Gambar 5.55.</b> Peta persebaran temperatur <i>superheated</i> tahun 2022 di elevasi 1200 mdpl.....	127
<b>Gambar 5.56.</b> Peta persebaran temperatur <i>superheated</i> tahun 2023 di elevasi 800 mdpl.....	128
<b>Gambar 5.57.</b> Peta persebaran temperatur <i>superheated</i> tahun 2023 di elevasi 1000 mdpl.....	129
<b>Gambar 5.58.</b> Peta persebaran temperatur <i>superheated</i> tahun 2023 di elevasi 1200 mdpl.....	130



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1.</b> Penelitian terdahulu .....	9
<b>Tabel 5.1.</b> Nilai densitas pada setiap batuan (Siegesmund, 2010). ....	75
<b>Tabel 5.2.</b> Konduktivitas panas (Langheinrich (1983), Schon (1983), Buntebarth und Rueff (1987), Siegesmund (1994), Szilagyi (1995), Peschel (1983), Schon (1996), Mosch and Siegesmund (2007) dalam Siegesmund, S (2010). ....	76
<b>Tabel 5.3.</b> Nilai permeabilitas arah vertikal dan horizontal pada pemodelan .....	77
<b>Tabel 5.4.</b> Sifat batuan reservoir di beberapa lapangan panas bumi (Bjornsson & Bodvarsson, 1988) dalam Saptaji, 2018. ....	78
<b>Tabel 5.5.</b> Perubahan sistem pada lapangan bumi dan penanganannya .....	134

## DAFTAR SIMBOL

No	Simbol	Nama	Keterangan
1	$^{\circ}\text{C}$	Derajat celcius	Simbol yang menyatakan temperatur suatu fluida dalam skala Celcius
2.	$\emptyset$	Porositas	Celah pada batuan yang menjadi tempat penyimpanan fluida.
3.	k	Permeabilitas	Kemampuan batuan untuk meloloskan air
4.	$\mu$	Viskositas fluida	Kekentalan suatu fluida
5.	v	Volume	Ruangan yang dapat ditempati fluida
6	$\partial p$	Perbedaan tekanan	Tekanan yang dimiliki setiap batuan
8	$\rho$	Densitas	Perbandingan antara berat batuan dengan volume dari batuan tersebut
9	m	Massa jenis batuan	Berat jenis batuan
10	K	Konduktivitas panas	Besarnya kemampuan batuan untuk menghantarkan panas
11	Q	Laju aliran panas	Kecepatan fluida dalam mengalirkan panas
12	$dT/dz$	Gradien temperatur	Perubahan temperatur
13	S	Entropi	Ukuran ketidakteraturan partikel dari suatu zat