

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
RINGKASAN	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Maksud dan Tujuan Penulisan	2
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Hasil yang Diharapkan.....	3
1.6. Metodologi	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	6
BAB II. TINJAUAN UMUM LAPANGAN	7
2.1. Letak Geografis Lapangan “LASTIKA”	7
2.2. Sejarah Singkat Lapangan “LASTIKA”	8
2.3. Geologi Regional Cekungan Kutai	9
2.3.1. Struktur Geologi dan Tektonik Cekungan Kutai	10
2.3.2. Stratigrafi Cekungan Kutai Bawah	12
2.4. <i>Petroleum System</i> Cekungan Kutai Bawah.....	15
BAB III. DASAR TEORI <i>HYDRAULIC FRACTURING</i>	18
3.1. Analisa Kerusakan Formasi	19
3.2. Mekanika Batuan	21
3.2.1. <i>Stress</i>	21
3.2.2. <i>Strain</i>	21

DAFTAR ISI
(Lanjutan)

	Halaman
3.2.3. <i>Poisson Ratio</i>	23
3.2.4. <i>Modulus Young</i>	24
3.2.5. <i>Modulus Shear</i>	25
3.2.6. <i>Plane-Strain Modulus</i>	26
3.2.7. <i>Overburden Stress</i>	26
3.2.8. <i>Modulus Bulk</i>	28
3.3. Perekahan Batuan.....	28
3.3.1. <i>In Situ Stress</i>	28
3.3.2. Tekanan Perekahan	31
3.3.3. Arah Perekahan.....	32
3.4. Perencanaan <i>Hydraulic Fracturing</i>	32
3.4.1. Fluida Perekah	32
3.4.1.1. Mekanika Fluida	33
3.4.1.1.1. Rheologi Fluida Perekah.....	33
3.4.1.1.2. <i>Fluid Loss (Leak Off)</i>	36
3.4.1.1.3. Hidrolika Fluida Perekah	37
3.4.1.2. Fluida Dasar dan <i>Additive</i>	39
3.4.1.2.1. Fluida Dasar	39
3.4.1.2.2. <i>Additive</i>	41
3.4.2. Material Penganjal (<i>Proppant</i>).....	45
3.4.2.1. Jenis <i>Proppant</i>	45
3.4.2.2. Spesifikasi Ukuran <i>Proppant</i>	47
3.4.2.3. Sifat Fisik <i>Proppant</i>	47
3.4.2.4. Transportasi <i>Proppant</i>	49
3.4.3. Konduktivitas Rekahan.....	49
3.4.4. Model Geometri Rekahan.....	52
3.4.4.1. Model Howard & Fast	53
3.4.4.2. Model PKN dan Model KGD.....	54
3.4.5. Volume <i>Treatment</i> Fluida Perekah, <i>Proppant</i> , dan <i>Pumping</i> <i>Schedule</i>	59
3.5. Operasi Stimulasi <i>Hydraulic Fracturing</i>	63
3.5.1. Data <i>Frac</i>	63
3.5.1.1. <i>Formation Breakdown Test</i>	63
3.5.1.2. <i>Step Rate Test</i>	64
3.5.1.3. <i>Backflow Test</i>	66
3.5.1.4. <i>Shut-in Decline Test</i>	66
3.5.1.5. <i>Minifrac</i>	67

DAFTAR ISI
(Lanjutan)

	Halaman
3.5.2. <i>Mainfrac</i>	68
3.5.3. Analisa Tekanan Rekah <i>Hydraulic Fracturing</i>	68
3.6. Evaluasi Hasil Pelaksanaan <i>Hydraulic Fracturing</i>	69
3.6.1. Evaluasi Desain Operasi	69
3.6.1.1. Evaluasi <i>Fracture Properties</i>	70
3.6.1.2. Evaluasi Konduktivitas Rekahan.....	70
3.6.2. Evaluasi Produksi	70
3.6.2.1. Permeabilitas Formasi Rata-Rata dan Potensial Produksi	70
3.6.2.2. <i>Productivity Index Ratio</i>	71
3.6.2.3. <i>Nodal Analysis</i>	74
3.6.2.4. Analisa <i>Production Performance</i>	75
BAB IV. EVALUASI PENERAPAN <i>HYDRAULIC FRACTURING</i> SUMUR “SKO-1” DAN “SKO-2” LAPANGAN “LASTIKA”	76
4.1. Evaluasi <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur SKO-1	
4.1.1. Alasan Dilakukan Perekahan Hidraulik Sumur SKO-1	
4.1.2. Pengumpulan Data	
4.1.3. Evaluasi Perencanaan <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur SKO-1	
4.1.3.1. Evaluasi Pemilihan Fluida Perekah.....	
4.1.3.2. Evaluasi Pemilihan <i>Proppant</i>	
4.1.3.3. Evaluasi Geometri Rekahan.....	
4.1.3.4. Perhitungan Desain Operasi.....	
4.1.3.4.1. Perhitungan Tekanan Injeksi dan <i>Horse</i> <i>Power Pompa</i>	
4.1.3.4.2. Perhitungan Fluida Perekah dan Massa <i>Proppant</i>	
4.1.3.4.3. Perhitungan <i>Pumping Schedule</i>	
4.1.4. Evaluasi Operas <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur SKO-1	
4.1.4.1. <i>Breakdown Test</i>	
4.1.4.2. <i>Step Rate Test</i>	
4.1.4.3. <i>Mini Frac</i>	
4.1.4.4. <i>Main Frac</i>	
4.1.5. Evaluasi Hasil Pelaksanaan <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur SKO-1	
4.1.5.1. Evaluasi <i>Fracture Properties</i>	
4.1.5.2. Evaluasi Konduktivitas Rekahan	
4.1.5.3. Evaluasi Produksi.....	

DAFTAR ISI
(Lanjutan)

	Halaman
4.1.5.3.1. Evaluasi Peningkatan Permeabilitas Rata-Rata Formasi dan Potensial Produksi.....	
4.1.5.3.2. Evaluasi <i>Productivity Index Ratio</i>	
4.1.5.3.3. Analisa Nodal.....	
4.1.5.3.2. Analisa <i>Production Performance</i>	
4.2. Evaluasi <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur SKO-2	
4.2.1. Alasan Dilakukan Perekahan Hidraulik Sumur SKO-2	
4.2.2. Pengumpulan Data	
4.2.3. Evaluasi Perencanaan <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur SKO-2.....	
4.2.3.1. Evaluasi Pemilihan Fluida Perekah.....	
4.2.3.2. Evaluasi Pemilihan <i>Proppant</i>	
4.2.3.3. Evaluasi Geometri Rekahan.....	
4.2.3.4. Perhitungan Desain Operasi.....	
4.2.3.4.1. Perhitungan Tekanan Injeksi dan <i>Horse Power</i> Pompa	
4.2.3.4.2. Perhitungan Fluida Perekah dan Massa <i>Proppant</i>	
4.2.3.4.3. Perhitungan <i>Pumping Schedule</i>	
4.2.4. Evaluasi Operas <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur SKO-2.....	
4.2.4.1. <i>Breakdown Test</i>	
4.2.4.2. <i>Step Rate Test</i>	
4.2.4.3. <i>Mini Frac</i>	
4.2.4.4. <i>Main Frac</i>	
4.2.5. Evaluasi Hasil Pelaksanaan <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur SKO-2	
4.2.5.1. Evaluasi <i>Fracture Properties</i>	
4.2.5.2. Evaluasi Konduktivitas Rekahan	
4.2.5.3. Evaluasi Produksi.....	
4.2.5.3.1. Evaluasi Peningkatan Permeabilitas Rata-Rata Formasi dan Potensial Produksi.....	
4.2.5.3.2. Evaluasi <i>Productivity Index Ratio</i>	
4.2.5.3.3. Analisa Nodal.....	
4.2.5.3.2. Analisa <i>Production Performance</i>	
BAB V. PEMBAHASAN	161
BAB VI. KESIMPULAN.....	171
DAFTAR PUSTAKA	173
LAMPIRAN.....	176

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Letak Geografis Lapangan “LASTIKA”	7
Gambar 2.2. Geologi Regional Cekungan Kutai	9
Gambar 2.3. Peta Geologi Cekungan Kutai	10
Gambar 2.4. Kerangka Tektonik Pulau Kalimantan	12
Gambar 2.5. Kolom Stratigrafi Cekungan Kutai Bagian Bawah	14
Gambar 2.6. Kolom Stratigrafi 2D Cekungan Kutai	15
Gambar 2.7. Tatanan Tektonik Pembentuk <i>Petroleum System</i> Cekungan Kutai	17
Gambar 3.1. Skematik Proses Stimulasi <i>Hydraulic Fracturing</i>	18
Gambar 3.2. Perbedaan <i>Drawdown Pressure</i> pada <i>Undamage Formation</i> dan <i>Damage Formation</i>	19
Gambar 3.3. Pengaruh Skin di Sekitar Sumur	20
Gambar 3.4. Deformasi Batuan Akibat <i>Stress</i>	22
Gambar 3.5. Hubungan <i>Stress</i> dan <i>Strain</i>	23
Gambar 3.6. Penggambaran Mengenai Efek <i>Poisson</i>	24
Gambar 3.7. <i>Shear Modulus</i>	25
Gambar 3.8. Skematik dari Harga-Harga <i>Stress</i> terhadap Kedalaman	30
Gambar 3.9. Besar Ketiga <i>Stress</i> Utama dan Arah Rekahan	32
Gambar 3.10. Harga <i>Shear Rate</i> vs <i>Shear Stress</i> pada Fluida <i>Newtonian</i> dan <i>Non-newtonian</i>	33
Gambar 3.11. Hubungan <i>Shear Stress</i> dan <i>Shear Rate</i> Fluida <i>Power Law</i> Pada Log-log Plot	34
Gambar 3.12. Efek Temperatur terhadap Viskositas untuk 50 lb/1000 gal HPG	35
Gambar 3.13. Pengaruh Konsentrasi <i>Proppant</i> terhadap Viskositas <i>Frac</i> <i>Fluid</i> pada suatu Harga $n' = 0,4$	35

DAFTAR GAMBAR
(Lanjutan)

	Halaman
Gambar 3.14. Petunjuk Penggunaan Fluida <i>Fracturing</i> untuk Sumur Minyak	41
Gambar 3.15. Skematis Model PAN <i>American Howard-Fast</i>	53
Gambar 3.16. Skematik dari Pengembangan Linier <i>Fracturing</i> menurut Metode PKN.....	54
Gambar 3.17. Skematik dari Pengembangan Linier <i>Fracturing</i> menurut Metode KGD	55
Gambar 3.18. <i>Formation Breakdown/Mini Fall Off Test</i>	64
Gambar 3.19. Skematik dari Pelaksanaan <i>Step Rate Test</i>	64
Gambar 3.20. Analisa <i>Step Down Rate Test</i>	66
Gambar 3.21. Skematik dari Pelaksanaan <i>Backflow Test</i>	66
Gambar 3.22. <i>Plot P vs Akar Waktu</i>	67
Gambar 3.23. Skematik dari Pelaksanaan <i>Minifrac</i>	68
Gambar 3.24. Pola Tekanan pada <i>Hydraulic Fracturing</i>	69
Gambar 3.25. Hubungan r_w' dan FCD	73
Gambar 3.26. Analisa Nodal Sebelum Perekahan dan Sesudah Perekahan .	74
Gambar 4.1. Profil Sumur SKO-1	76
Gambar 4.2. <i>Breakdown Test</i> Sumur SKO-1	98
Gambar 4.3. Horner Plot Sumur SKO-1	99
Gambar 4.4. <i>G-Function</i> pada Analisis Penurunan Tekanan <i>Breakdown Test</i> Sumur SKO-1	99
Gambar 4.5. <i>Step Rate Test</i> Sumur SKO-1	100
Gambar 4.6. Analisis <i>Step Up Rate Test</i> Sumur SKO-1 oleh Halliburton..	101
Gambar 4.7. Analisis <i>Step Up Rate Test</i> Sumur SKO-1	102
Gambar 4.8. Analisis <i>Step Down Rate Test</i> Sumur SKO-1 oleh Halliburton	103

DAFTAR GAMBAR
(Lanjutan)

	Halaman
Gambar 4.9. Analisis <i>Step Down Rate Test</i> Sumur SKO-1	103
Gambar 4.10. <i>Minifrac Test</i> Sumur SKO-1	104
Gambar 4.11. <i>Minifrac G-Function</i> Sumur SKO-1	105
Gambar 4.12. Hasil <i>Re-design</i> dari Simulasi <i>Software FracPro</i> Sumur SKO-1	106
Gambar 4.13. <i>Mainfrac Actual Treatment</i> Sumur SKO-1	107
Gambar 4.14. Hasil <i>Mainfrac</i> Sumur SKO-1	109
Gambar 4.15. Kurva Analisis Nodal Q vs Pwf Sumur SKO-1	121
Gambar 4.16. Kurva Analisis Nodal Qo vs Pwf Sumur SKO-1	122
Gambar 4.17. Kurva <i>Production Performance</i> Sumur SKO-1	123
Gambar 4.18. Profil Sumur SKO-2	124
Gambar 4.19. <i>Breakdown Test</i> Sumur SKO-2	138
Gambar 4.20. <i>G-Function</i> pada Analisis Penurunan Tekanan <i>Breakdown</i> <i>Test</i> Sumur SKO-2	138
Gambar 4.21. <i>Step Rate Test</i> Sumur SKO-2	139
Gambar 4.22. Analisis <i>Step Up Rate Test</i> Sumur SKO-2 oleh Schlumberger	140
Gambar 4.23. Analisis <i>Step Up Rate Test</i> Sumur SKO-2	141
Gambar 4.24. Analisis <i>Step Down Rate Test</i> Sumur SKO-2 oleh Schlumberger	141
Gambar 4.25. Analisis <i>Step Down Rate Test</i> Sumur SKO-2	142
Gambar 4.26. <i>Minifrac Test</i> Sumur SKO-2	142
Gambar 4.27. <i>Minifrac G-Function</i> Sumur SKO-2	143
Gambar 4.28. Hasil <i>Re-design</i> dari Simulasi <i>Software FracCade</i> Sumur SKO-1	145

DAFTAR GAMBAR
(Lanjutan)

	Halaman
Gambar 4.29. <i>Mainfrac Actual Treatment</i> Sumur SKO-2	146
Gambar 4.30. Hasil <i>Mainfrac</i> Sumur SKO-2	148
Gambar 4.31. Kurva Analisis Nodal Q vs Pwf Sumur SKO-1	158
Gambar 4.32. Kurva Analisis Nodal Qo vs Pwf Sumur SKO-1	159
Gambar 4.33. Kurva <i>Production Performance</i> Sumur SKO-1	160

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel III-1. Persamaan-persamaan untuk Mencari Panjang Rekahan L, Lebar Rekahan Maksimum w, dan Tekanan Injeksi p, dan dianggap Laju Injeksi Konstan.....	56
Tabel III-2. Harga C_1 sampai C_6	56
Tabel IV-1. Data Lapangan Sumur SKO-1.....	76
Tabel IV-2. Data Reservoir Sumur SKO-1.....	76
Tabel IV-3. Data Sumur SKO-1.....	78
Tabel IV-4. Data Litologi Batuan Sumur SKO-1.....	79
Tabel IV-5. Data Mekanika Batuan Sumur SKO-1.....	79
Tabel IV-6. <i>Frac Fluid Properties</i> Sumur SKO-1.....	80
Tabel IV-7. <i>Proppant Properties</i> Sumur SKO-1.....	82
Tabel IV-8. Data Geometri Rekahan Sumur SKO-1.....	84
Tabel IV-9. Hasil Iterasi Perhitungan Sumur SKO-1.....	87
Tabel IV-10. Data Perhitungan Tekanan Injeksi dan <i>Horse Power</i> Pompa Sumur SKO-1.....	87
Tabel IV-11. Data Perhitungan Fluida Perekah dan Massa <i>Proppant</i> Sumur SKO-1.....	90
Tabel IV-12. <i>Stage Time</i> untuk tiap PPGA Sumur SKO-1.....	96
Tabel IV-13. <i>Treatment Time Pumping Schedule</i> Sumur SKO-1.....	97
Tabel IV-14. Perbandingan Desain Operasi Aktual dengan Perhitungan Desain Operasi Manual Sumur SKO-1.....	97
Tabel IV-15. <i>Pumping Schedule</i> untuk Desain Ulang Perekahan Hidraulik Sumur SKO-1.....	106
Tabel IV-16. <i>Actual Pumping Schedule</i> Sumur SKO-1.....	108
Tabel IV-17. <i>Design Actual Volume</i> Fluida Perekah dan Jumlah <i>Proppant</i> Sumur SKO-1.....	108

DAFTAR TABEL
(Lanjutan)

	Halaman
Tabel IV-18. Hasil Aktual Geometri Rekahan Sumur SKO-1.....	109
Tabel IV-19. Perbandingan <i>Fracture Properties</i> Sumur SKO-1	110
Tabel IV-20. Perbandingan Konduktivitas Rekahan Sumur SKO-1	111
Tabel IV-21. Data untuk Evaluasi Peningkatan k_{avg} Sumur SKO-1	112
Tabel IV-22. Data untuk Evaluasi Peningkatan k_{avg} Aktual Sumur SKO-1 ..	113
Tabel IV-23. Hasil Evaluasi Peningkatan Permeabilitas Rata-Rata Formasi Dan Potensial Produksi Sumur SKO-1.....	114
Tabel IV-24. Data untuk Perhitungan PI Metode Cinco-Ley, Samaniego, dan Dominique Sumur SKO-1	115
Tabel IV-25. Input Data <i>Software Pipesim</i> Sebelum <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur SKO-1	117
Tabel IV-26. Input Data <i>Hole Deviation Survey</i> untuk <i>Software Pipesim</i> Sumur SKO-1	118
Tabel IV-27. Input Data <i>Software Pipesim</i> Sesudah <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur SKO-1	119
Tabel IV-28. Data Lapangan Sumur SKO-2.....	125
Tabel IV-29. Data Reservoir Sumur SKO-2	125
Tabel IV-30. Data Sumur SKO-2.....	126
Tabel IV-31. Data Litologi Batuan Sumur SKO-2	128
Tabel IV-32. Data Mekanika Batuan Sumur SKO-2	128
Tabel IV-33. <i>Frac Fluid Properties</i> Sumur SKO-2.....	129
Tabel IV-34. <i>Proppant Properties</i> Sumur SKO-2	130
Tabel IV-35. Data Geometri Rekahan Sumur SKO-2	131
Tabel IV-36. Hasil Iterasi Perhitungan Sumur SKO-2	132
Tabel IV-37. Data Perhitungan Tekanan Injeksi dan <i>Horse Power</i> Pompa Sumur SKO-2	133

DAFTAR TABEL
(Lanjutan)

	Halaman
Tabel IV-38. Data Perhitungan Fluida Perekah dan Massa <i>Proppant</i> Sumur SKO-2.....	134
Tabel IV-39. <i>Stage Time</i> untuk tiap PPGA Sumur SKO-2.....	136
Tabel IV-40. <i>Treatment Time Pumping Schedule</i> Sumur SKO-2.....	137
Tabel IV-41. Perbandingan Desain Operasi Aktual dengan Perhitungan Desain Operasi Manual Sumur SKO-2	137
Tabel IV-42. Perbandingan BH ISIP, <i>Closure Pressure</i> , dan Gradien Rekah untuk Setiap Penginjeksian Sumur SKO-2.....	144
Tabel IV-43. <i>Pumping Schedule</i> untuk Desain Ulang Perekahan Hidraulik Sumur SKO-2	145
Tabel IV-44. <i>Actual Pumping Schedule</i> Sumur SKO-2.....	147
Tabel IV-45. <i>Design Actual Volume</i> Fluida Perekah dan Jumlah <i>Proppant</i> Sumur SKO-2	147
Tabel IV-46. Hasil Aktual Geometri Rekahan Sumur SKO-2.....	148
Tabel IV-47. Perbandingan <i>Fracture Properties</i> Sumur SKO-2.....	149
Tabel IV-48. Perbandingan Konduktivitas Rekahan Sumur SKO-2	150
Tabel IV-49. Data untuk Evaluasi Peningkatan k_{avg} Sumur SKO-2	150
Tabel IV-50. Data untuk Evaluasi Peningkatan k_{avg} Aktual Sumur SKO-2 ..	151
Tabel IV-51. Hasil Evaluasi Peningkatan Permeabilitas Rata-Rata Formasi Dan Potensial Produksi Sumur SKO-2.....	152
Tabel IV-52. Data untuk Perhitungan PI Metode Cinco-Ley, Samaniego, dan Dominique Sumur SKO-2	152
Tabel IV-53. Input Data <i>Software Pipesim</i> Sebelum <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur SKO-2	153
Tabel IV-54. Input Data <i>Hole Deviation Survey</i> untuk <i>Software Pipesim</i> Sumur SKO-2	154

DAFTAR TABEL
(Lanjutan)

	Halaman
Tabel IV-55. <i>Input Data Software Pipesim Sesudah Hydraulic Fracturing</i> Sumur SKO-2	156

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. *Flowchart* Evaluasi Stimulasi *Hydraulic Fracturing*

Lampiran B. Nodal

Lampiran C. *Post Job Report* Sumur SKO-1

Lampiran D. *Proposal Job* Sumur SKO-2

Lampiran E. *Post Job Report* Sumur SKO-2

Lampiran F. *Production Performance* dan *ESP Setting*