

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Maksud dan Tujuan Penulisan .....	1
1.3. Ruang Lingkup.....	2
1.4. Tempat Pelaksanaan.....	2
1.5. Metodologi Penelitian .....	2
1.6. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II. TINJAUAN UMUM LAPANGAN.....</b>	<b>5</b>
2.1. PT. Pertamina EP Asset 4 Cepu Field .....	5
2.2. Tinjauan Geografis Lapangan “A” .....	6
2.3. Tinjauan Geologi Lapangan “A” .....	7
2.3.1. Stratigrafi Umum Lapangan “A” .....	7
2.4. Karakteristik Reservoir Lapangan “A” .....	11
<b>BAB III. DASAR TEORI PEREKAHAN HIDRAULIK.....</b>	<b>12</b>
3.1. Analisa Kerusakan Formasi .....	14
3.2. Mekanisme Perekahan Batuan .....	14
3.2.1. Mekanika Batuan untuk Operasi Perekahan Hidraulik.....	14
3.2.1.1. <i>Stress</i> dan <i>Strain</i> .....	15
3.2.1.2. <i>Poisson Ratio</i> .....	17
3.2.1.3. <i>Modulus Young</i> .....	18

## DAFTAR ISI

### (Lanjutan)

	<b>Halaman</b>
3.2.1.4. <i>Plane-Strain Modulus</i> .....	19
3.2.1.5. Tekanan <i>Overburden</i> .....	20
3.3. Fluida Perekah .....	20
3.3.1. Mekanika Fluida Perekahan Hidraulik .....	21
3.3.1.1. Rheologi Fluida Perekah.....	21
3.3.1.2. <i>Fluid Loss (Leak Off)</i> .....	24
3.3.2. Fluida Dasar dan Aditif.....	27
3.3.2.1. Fluida Dasar .....	27
3.3.2.2. <i>Additive</i> .....	30
3.4. Material Pengganjal ( <i>Proppant</i> ) .....	36
3.4.1. Jenis <i>Proppant</i> .....	37
3.4.2. Spesifikasi Ukuran <i>Proppant</i> .....	38
3.4.3. Sifat Fisik <i>Proppant</i> .....	40
3.4.4. Transportasi <i>Proppant</i> .....	41
3.4.5. Konduktivitas Rekahan .....	42
3.5. Model Geometri Rekahan Dua Dimensi.....	47
3.5.1. Model PAN <i>American</i> .....	48
3.5.2. Model PKN ( <i>Perkins, Kern, dan Nordgen</i> ) .....	51
3.5.3. Model KGD ( <i>Kristianovich, Geertsma, dan de Klerk</i> ).....	53
3.6. Persiapan Stimulasi <i>Hydraulic Fracturing</i> .....	56
3.6.1. <i>DataFRAC</i> .....	56
3.6.2. <i>Formation BreakDown</i> .....	57
3.6.3. Data Lapangan yang Lalu .....	58
3.6.4. <i>Step Rate Test</i> .....	69
3.6.5. <i>Shut-in Decline Test</i> .....	60
3.6.6. <i>Backflow Test</i> .....	61
3.6.7. <i>Minifrac</i> .....	62
3.6.8. <i>Leak-off Test</i> .....	62
3.7. Analisa Tekanan Rekah <i>Hydraulic Fracturing</i> .....	63
3.8. Evaluasi Hasil Pelaksanaan <i>Hydraulic Fracturing</i> .....	64
3.8.1. Geometri Rekahan .....	65
3.8.1.1. Perhitungan Tekanan Injeksi.....	65
3.8.1.2. Perhitungan <i>Horse Power</i> Pompa.....	68
3.8.1.3. Perhitungan <i>Frac Fluid dan Proppant Properties</i> .....	68
3.8.2. Penerapan Metode <i>Tip Screen Out</i> .....	70
3.8.3. Kenaikan Permeabilitas Formasi Rata-rata.....	72
3.8.4. Evaluasi Indeks Produktivitas .....	72
3.8.4.1. Metode Darcy.....	72
3.8.4.2. Metode Prats .....	73

## DAFTAR ISI

### (Lanjutan)

	<b>Halaman</b>
3.8.4.3. Metode McGuire-Sikora .....	74
3.8.4.4. Metode Cinco-Ley, Samaniego dan Dominique.....	76
3.8.4.5. Metode Tinsley dan Soliman .....	78
3.8.5. Analisa Kelakuan Aliran dengan Kurva <i>Inflow Performance Relationship (IPR) Metode Standing-Harrison</i> .....	84
<b>BAB IV. EVALUASI PENERAPAN <i>HYDRAULIC FRACTURING</i> SUMUR AM-01 LAPANGAN NP .....</b>	<b>88</b>
4.1. Alasan Dilakukan Perekahan Hidraulik.....	88
4.2. Pengumpulan Data .....	89
4.3. Kondisi Sumur Sebelum Hydraulic Fracturing.....	92
4.4. Perencanaan Fluida Perekah .....	94
4.5. Pemilihan <i>Proppant</i> .....	95
4.6. Desain Awal Hydraulic Fracturing Sumur AK-47 .....	96
4.7. Pelaksanaan Perekahan Hidraulik.....	99
4.7.1. <i>Step Rate Test</i> .....	100
4.7.2. <i>Mini Frac</i> .....	102
4.7.3. <i>Final Design Hydraulic Fracturing AK-47</i> .....	105
4.7.4. <i>Main Frac</i> .....	108
4.8. Evaluasi Perekahan Hidraulik.....	111
4.8.1. Evaluasi Geometri Rekahan.....	111
4.8.1.1. Perhitungan Geometri Rekahan Manual .....	112
4.8.1.2. Perhitungan Tekanan Injeksi di Permukaan .....	116
4.8.1.3. Perhitungan <i>Horse Power</i> Pompa.....	117
4.8.1.4. Perhitungan Fluida Perekah .....	117
4.8.2. Evaluasi Produksi.....	119
4.8.2.1. Peningkatan Permeabilitas Konduktivitas .....	120
4.8.2.2. Perkiraan Peningkatan Indeks Produktivitas (PI) .....	121
4.8.2.2.1. Metode Darcy.....	122
4.8.2.2.2. Metode Prats .....	123
4.8.2.2.3. Metode McGuire dan Sikora.....	124
4.8.2.2.4. Metode Cinco-Ley, Samaniego dan Dominique.....	125

## DAFTAR ISI

(Lanjutan)

	<b>Halaman</b>
4.8.2.3. Analisa Kurva IPR Sumur AK-47 .....	126
4.8.2.3.1. Peningkatan Laju Produksi Minyak .....	126
4.8.2.3.2. IPR Metode Standing dan Harrison .....	127
<b>BAB V. PEMBAHASAN .....</b>	<b>134</b>
<b>BAB VI. KESIMPULAN .....</b>	<b>141</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1.1. <i>Flowchart</i> Evaluasi Stimulasi <i>Hydraulic Fracturing</i> .....	4
Gambar 2.1. Peta Wilayah Kerja Cepu Field.....	5
Gambar 2.2. Letak Lapangan “A” .....	6
Gambar 2.3. Kolom Stratigrafi Daerah Cepu dan Sekitarnya .....	10
Gambar 2.4. Sistem Petroleum Lapangan A .....	11
Gambar 3.1. Pengaruh <i>Skin</i> di Sekitar Sumur .....	13
Gambar 3.2. Besar Ketiga <i>Stress</i> Utama.....	15
Gambar 3.3. Deformasi Batuan Akibat <i>Stress</i> .....	16
Gambar 3.4. Grafik Hubungan <i>Stress vs Strain</i> .....	17
Gambar 3.5. Perhitungan <i>Poisson Ratio</i> .....	18
Gambar 3.6. Grafik untuk Menunjukkan <i>Modulus Young</i> .....	19
Gambar 3.7. Harga <i>Shear Rate vs Shear Stress</i> pada Fluida Newtonian dan Non-Newtonian.....	22
Gambar 3.8. Efek Temperatur pada Viskositas untuk 40 lb/1000 Gal HPG.	23
Gambar 3.9. Pengaruh Kadar <i>Proppant</i> terhadap Viskositas Fluida Perekah pada Suatu Harga $n'$ .....	24
Gambar 3.10. Plot Hasil Laboatorium untuk Mencari $C_w = C_{III}$ .....	26
Gambar 3.11. Petunjuk Penggunaan Fluida Perekah untuk Sumur Minyak ...	20
Gambar 3.12. Hubungan Antara <i>Closure Stress</i> , Permeabilitas, dan Konduktivitas <i>Proppant CarboLITE</i> .....	45
Gambar 3.13. Skematis Model PAN <i>American Howard-Fast</i> .....	49
Gambar 3.14. Skematik dari Pengembangan Linier Perekahan Menurut Model PKN .....	51
Gambar 3.15. Pengembangan Linier Perekahan Menurut Model KGD.....	53
Gambar 3.16. <i>Formation Breakdown Test</i> .....	58
Gambar 3.17. <i>Step Rate Test</i> P dan Q terhadap T.....	59

## DAFTAR GAMBAR

(Lanjutan)

	<b>Halaman</b>
Gambar 3.18. Skematik dari Pelaksanaan <i>Step Rate Test</i> .....	60
Gambar 3.19. <i>Shut-in Decline Test</i> .....	61
Gambar 3.20. Plot P vs Akar Waktu.....	61
Gambar 3.21. <i>Backflow Test</i> .....	61
Gambar 3.22. Grafik Tekanan dan Laju Injeksi untuk <i>Minifrac</i> .....	62
Gambar 3.23. Grafik Pola Tekanan pada <i>Hydraulic Fracturing</i> .....	63
Gambar 3.24. Kehilangan Tekanan pada 40 lb/1000 gal <i>Guar System</i> .....	66
Gambar 3.25. Profil Konsentrasi <i>Proppant</i> pada <i>Tip Screen Out</i> .....	71
Gambar 3.26. Grafik Mc-Guire Sikora untuk Menunjukkan Kenaikan Produktivitas.....	75
Gambar 3.27. Grafik Hubungan $rw'$ dan FCD.....	77
Gambar 3.28 Kurva Kenaikan Produktivitas untuk $(hf/h) = 0,1$ .....	79
Gambar 3.29. Kurva Kenaikan Produktivitas untuk $(hf/h) = 0,2$ .....	80
Gambar 3.30. Kurva Kenaikan Produktivitas untuk $(hf/h) = 0,3$ .....	80
Gambar 3.31. Kurva Kenaikan Produktivitas untuk $(hf/h) = 0,4$ .....	81
Gambar 3.32. Kurva Kenaikan Produktivitas untuk $(hf/h) = 0,5$ .....	81
Gambar 3.33. Kurva Kenaikan Produktivitas untuk $(hf/h) = 0,6$ .....	82
Gambar 3.34. Kurva Kenaikan Produktivitas untuk $(hf/h) = 0,7$ .....	82
Gambar 3.35. Kurva Kenaikan Produktivitas untuk $(hf/h) = 0,8$ .....	83
Gambar 3.36. Kurva Kenaikan Produktivitas untuk $(hf/h) = 0,9$ .....	83
Gambar 3.37. Kurva Kenaikan Produktivitas untuk $(hf/h) = 1$ .....	84
Gambar 4.1. Profil Sumur AK-47.....	89
Gambar 4.2. IPR Sebelum Perekahan dengan Sensitivitas Skin.....	93
Gambar 4.3. Perencanaan Geometri <i>Preliminary Design</i> Sumur AK-47.....	97
Gambar 4.4. <i>Step Rate Test</i> pada Sumur AK-47.....	100
Gambar 4.5. <i>Step Up Rate Test Analysis Plot</i> Sumur AK-47.....	101

## DAFTAR GAMBAR

(Lanjutan)

	<b>Halaman</b>
Gambar 4.6. <i>Step Down Rate Test Analysis Plot</i> Sumur AK-47 .....	102
Gambar 4.7. <i>Mini Frac</i> Sumur AK-47 .....	103
Gambar 4.8. <i>Mini Frac G-Function</i> Sumur AK-47 .....	104
Gambar 4.9. <i>Minifrac Pressure Matching</i> Sumur AK-47 .....	104
Gambar 4.10. Net Pressure vs Time Sumur AK-47 .....	105
Gambar 4.11. Perencanaan Geometri <i>Final Design</i> Sumur AK-47 .....	107
Gambar 4.12. Hasil Simulasi Setelah <i>Mainfrac</i> oleh MFrac .....	110
Gambar 4.13. Grafik penentuan J/Jo McGuire dan Sikora.....	125
Gambar 4.14. Grafik Hasil penentuan $R_w'/X_f$ .....	126
Gambar 4.15. Grafik Produksi Sumur AK-47 Sebelum dan Sesudah Fracturing .....	127
Gambar 4.16. Hasil Perbandingan IPR Sebelum dan Sesudah Hydraulic Fracturing Pada Sumur AK-47 (Liquid) .....	132
Gambar 4.17. Hasil IPR Aktual Sesudah Hydraulic Fracturing Pada Sumur AK-47 .....	133

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel III-1. Spesifikasi Ukuran <i>Mesh Proppant CarboLITE</i> .....	39
Tabel III-2. <i>Sifat Fisik Proppant CarboLITE</i> .....	30
Tabel III-3. Batas Maksimum yang Diijinkan Untuk Crush Resistance.....	41
Tabel III-4. <i>Complementary Error Function</i> .....	50
Tabel III-5. Persamaan untuk Mencari Panjang Rekahan (L), Lebar Rekahan Maksimum (w), dan Tekanan Injeksi (P) jika Dianggap Laju Injeksi Konstan .....	54
Tabel III-6. <i>Harga C1 sampai C6</i> .....	54
Tabel III-6. Harga Fungsi untuk Persamaan Mark-Langenheim untuk <i>Term Fluid Loss</i> .....	55
Tabel IV-1. Data Lapangan Sumur AK-47 .....	90
Tabel IV-2. Data Kompleksi Sumur AK-47.....	90
Tabel IV-3. Data <i>Reservoir</i> Sumur AK-47.....	90
Tabel IV-4. Data Perforasi Sumur AK-47.....	91
Tabel IV-5. Data Mekanik Formasi Batuan pada Sumur AK-47.....	91
Tabel IV-6. Kondisi AK-47 Sebelum Hydraulic Fracturing .....	92
Tabel IV-7. <i>Frac Fluid Properties</i> .....	94
Tabel IV-8. <i>Proppant Properties</i> .....	96
Tabel IV-9. Desain Awal <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur AK-47 .....	97
Tabel IV-10. <i>Pumping Schedule Preliminary Design</i> Sumur AK-47 .....	98
Tabel IV-11. <i>Data Tekanan Pemompaan Preliminary Design</i> .....	99
Tabel IV-12. Rencana Jumlah Fluida Perekah dan <i>Proppant</i> Data Tekanan Pemompaan <i>Preliminary Design</i> .....	99
Tabel IV-13. <i>Pumping Schedule Final Design</i> Sumur AK-47.....	106
Tabel IV-14. Data Tekanan Pemompaan <i>Final Design</i> .....	107
Tabel IV-15. Rencana Jumlah Fluida Perekah dan Proppant Final Design....	108

## DAFTAR TABEL

(Lanjutan)

	<b>Halaman</b>
Tabel IV-16. <i>Actual Pumping Schedule Mainfrac</i> Sumur AK-47.....	109
Tabel IV-17. Design Actual Volume Fluida Perekah dan Jumlah Proppant Mainfrac .....	110
Tabel IV-18. Hasil Actual Geometri Rekahan Mainfrac dengan MFrac Sumur AK-47 .....	111
Tabel IV-19. Data Geometri Rekahan Sumur AK-47 untuk PKN Manual....	112
Tabel IV-20. Hasil Iterasi Perhitungan Sumur AK-47 .....	115
Tabel IV-21. Perbandingan Hasil Aktual MFrac dengan Perhitungan Manual Geometri .....	115
Tabel IV-22. Data Perhitungan Tekanan Injeksi di Permukaan dan Horse Power Pompa .....	116
Tabel IV-23. Data Frac Fluid dan Proppant Properties .....	118
Tabel IV-24. Perbandingan Hasil Design Aktual dengan Perhitungan Main Treatment Sumur AK-47 .....	119
Tabel IV-25. Perbandingan Beberapa Parameter Hydraulic Fracturing pada Hasil Aktual dan Perhitungan Manual .....	119
Tabel IV-26. Data untuk Perhitungan Kenaikan Permeabilitas Geometri Rekahan Sumur AK-47.....	120
Tabel IV-27. Data Sumur AK-47 untuk Perhitungan Kenaikan PI.....	122
Tabel IV-28. Data Perhitungan PI Metode Darcy .....	122
Tabel IV-29. Data Perhitungan PI Setelah Perekahan dengan Metode Prats.	123
Tabel IV-30. Data Perhitungan PI Setelah Perekahan dengan Metode McGuire dan Sikora .....	124
Tabel IV-31. Hasil Perhitungan PI Setelah Perekahan dengan Metode Cinco-Ley, Samaniego dan Dominique .....	126

## DAFTAR TABEL

(Lanjutan)

	<b>Halaman</b>
Tabel IV-32. <i>Data untuk Perhitungan IPR Sebelum Hydraulic Fracturing Pada Sumur AK-47 dengan Metode Standing</i> .....	129
Tabel IV-33. <i>Hasil Asumsi <math>P_{wf}</math> dan <math>Q</math> untuk IPR Sebelum Hydraulic Fracturing Pada Sumur AK-47</i> .....	130
Tabel IV-34. <i>Data untuk Perhitungan IPR Sesudah Hydraulic Fracturing Pada Sumur AK-47 dengan Metode Harrison</i> .....	131
Tabel IV-35. <i>Hasil Asumsi <math>P_{wf}</math> dan <math>Q</math> untuk IPR Sesudah Hydraulic Fracturing Pada Sumur AK-47</i> .....	132

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A *Fracturing Summary* Sumur AK-47
- Lampiran B *Logging* Sumur AK-47
- Lampiran C *Step Rate Test* Sumur AK-47
- Lampiran D *Minifrac* Sumur AK-47
- Lampiran E *Mainfrac Operation* Sumur AK-47
- Lampiran F Hasil Produksi Sebelum dan Sesudah *Hydraulic Fracturing* Sumur AK-47
- Lampiran G *Wellbore Friction* Untuk Spectra G-3000