

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
PRAKATA	v
RINGKASAN	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Maksud dan Tujuan	2
I.3 Batasan Masalah	2
I.4 Metodologi	2
I.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN LAPANGAN	6
II.1 Letak Geografis Lapangan "Hadi"	6
II.2 Geologi Regional	7
II.2.1 Kerangka Tektonik	7
II.2.2 Stratigrafi Regional	8
II.2.3 <i>Petroleum System</i>	10
II.3 Data Sumur "RM" dan "HS"	12
BAB III DASAR TEORI <i>HYDRAULIC FRACTURING</i>	14
III.1 Kerusakan Formasi	15
III.1.1 Tahap Pemboran	15

III.1.2	Tahap Kompleksi	16
III.1.3	Tahap Produksi	16
III.1.4	Endapan Scale	18
III.2	Mekanika Batuan	18
III.2.1	<i>Stress</i> (σ) dan <i>Strain</i> (ϵ)	18
III.2.2	<i>Poisson Rasio</i>	21
III.2.3	<i>Modulus Young</i> (E)	22
III.2.4	<i>Modulus Shear</i> (G)	23
III.2.5	<i>Modulus Bulk</i> (K)	24
III.2.6	Tekanan <i>Overburden</i>	25
III.2.7	Arah Rekahan	26
III.3	Perencanaan <i>Hydraulic fracturing</i>	27
III.3.1	Fluida Perekah	27
III.3.2	Fluida Dasar dan <i>Additive</i>	31
III.3.3	Geometri Rekahan	37
III.3.4	<i>Proppant</i> (Material Penganjal)	47
III.3.5	Volume <i>Treatment</i> Fluida Perekah, <i>Proppant</i> , dan <i>Pumping schedule</i>	53
III.4	Tahap Pelaksanaan <i>Hydraulic fracturing</i>	58
III.4.1	Data <i>Fracturing</i>	58
III.4.2	<i>Formation Breakdown Test</i>	58
III.4.3	<i>Step Rate Test</i>	59
III.4.4	<i>Shut-in Decline Test</i>	61
III.4.5	<i>Backflow Test</i>	62
III.4.6	<i>Minifrac</i>	63
III.4.7	<i>Mainfrac</i>	63
III.4.8	Analisa Tekanan Rekah <i>Hydraulic fracturing</i>	64
III.5	Evaluasi Hasil Pelaksanaan <i>Hydraulic fracturing</i>	65
III.5.1	Evaluasi Geometri Rekahan	65
III.5.2	Evaluasi Produksi	71

III.5.3	Evaluasi Kenaikan Produksi Dengan <i>Inflow Performance Relationship</i> (IPR)	77
BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN HASIL EVALUASI STIMULASI HYDRAULIC FRACTURING PADA SUMUR “RM DAN SUMUR “HS” DI LAPANGAN HADI		81
IV.1	Alasan Dilakukan <i>Hydraulic fracturing</i>	81
IV.2	Pengumpulan Data	84
IV.3	Evaluasi Perencanaan Fluida Perekah	86
IV.3.1	Data Fluida Perekah	86
IV.3.2	Perhitungan Volume Fluida Perekah	90
IV.3.3	Evaluasi Pemilihan <i>Proppant</i>	94
IV.3.4	Perhitungan Massa <i>Proppant</i> dan Ukuran <i>Proppant</i>	97
IV.4	Evaluasi Pelaksanaan <i>Hydraulic fracturing</i>	99
IV.4.1	<i>Tubing Pressure Test</i>	100
IV.4.2	<i>Tubing Picking</i>	100
IV.4.3	<i>Breakdown Test</i>	100
IV.4.4	<i>Step Rate Test</i>	102
IV.4.5	<i>Minifrac</i>	106
IV.4.6	<i>Main Fracturing</i>	110
IV.5	Evaluasi Hasil Pelaksanaan <i>Hydraulic fracturing</i> Sumur RM dan HS	115
IV.5.1	Evaluasi Geometri Rekahan	115
IV.5.2	Perhitungan Tekanan Injeksi dan <i>Pump Horsepower</i>	124
IV.6	Evaluasi Peningkatan Produksi Setelah <i>Hydraulic fracturing</i>	128
IV.6.1	Permeabilitas Rata-Rata (K_{avg})	128
IV.6.2	Evaluasi Rasio Indeks Produktivitas	132
IV.6.3	Evaluasi <i>Inflow Performance Relationship</i> (IPR)	139
BAB V PEMBAHASAN		158
V.1	Analisa Perencanaan <i>Hydraulic fracturing</i>	159
V.1.1	Analisa Fluida <i>Fracturing</i>	159
V1.2	Analisa <i>Proppant</i>	160

V.2	Analisa Pelaksanaan <i>Hydraulic fracturing</i>	162
V.2.1	Analisa <i>Breakdown Test</i>	162
V.2.2	Analisa <i>Step Rate Test</i>	163
V.2.3	Analisa Minifrac	164
V.2.4	Analisa <i>Main Fracturing</i>	165
V.3	Analisa Tingkat Keberhasilan Pelaksanaan <i>Hydraulic fracturing</i>	166
V.3.1	Analisa Geometri Rekahan	167
V.3.2	Analisa Volume Fluida Perekah	167
V.3.3	Analisa Massa <i>Proppant</i> dan Ukuran <i>Proppant</i>	167
V.3.4	Analisa Tekanan Injeksi dan <i>Horsepower</i> Pompa	168
V.4	Analisa Peningkatan Produksi Setelah <i>Hydraulic Fracturing</i>	168
V.4.1	Analisa Permeabilitas Rata-Rata (K_{avg})	168
V.4.2	Analisa Rasio Indeks Produktivitas	169
V.4.3	Analisa <i>Inflow Performance Relationship (IPR)</i>	171
BAB VI KESIMPULAN		171
DAFTAR RUJUKAN		173
LAMPIRAN		176

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Flowchart Evaluasi <i>Hydraulic fracturing</i>	4
Gambar II.1	Letak Geografis Lapangan "HADI"	6
Gambar II.2	Geologi Regional dan Penampang Struktur <i>Northwest Jawa Basin</i>	7
Gambar II.3	Kolom Stratigrafi Umum Cekungan Jawa Barat Utara	9
Gambar II.4	<i>Petroleum System</i> Cekungan Jawa Barat Utara	12
Gambar III.1	Skematik Proses Stimulasi <i>Hydraulic fracturing</i>	14
Gambar III.2	Perbedaan Penurunan Tekanan pada <i>Undamage</i> dan <i>Damage Formation</i>	17
Gambar III.3	Besar Ketiga <i>Stress</i> Utama	19
Gambar III.4	Hubungan <i>Stress-Strain</i> Untuk Material Elastis	20
Gambar III.5	Grafik Hubungan <i>Stress vs Strain</i>	21
Gambar III.6	Perhitungan <i>Poison Ration</i>	21
Gambar III.7	<i>Modulus Shear</i>	23
Gambar III.8	Perubahan Volume Material Akibat Tekanan Eksternal	24
Gambar III.9	Arah Rekahan Terhadap <i>Minimum Horizontal Stress</i>	26
Gambar III.10	Harga <i>Shear Rate vs Shear Stress</i> pada Fluida <i>Newtonian</i> dan <i>Non-Newtonian</i>	28
Gambar III.11	Hubungan <i>Shear Stress</i> dan <i>Shear Rate</i> Fluida <i>Power Low</i> pada Log-Log Plot	29
Gambar III.12	Efek Temperatur Terhadap Viskositas untuk 50lb/1000 gal HPG	30
Gambar III.13	Pengaruh Kadar <i>Proppant</i> Terhadap Viskositas Fluida Perekah pada Suatu Harga n'	30
Gambar III.14	Petunjuk Penggunaan Fluida Perekah	33
Gambar III.15	Skematis Model PAN <i>American Howard Fast</i>	38
Gambar III.16	Model Geometri PKN	42
Gambar III.17	Model Geometri KGD	44
Gambar III.18	Model Radial	46
Gambar III.19	Prediksi Geometri Rekahan P3D Model	46
Gambar III.20	Prediksi Geometri Rekahan P3D Models Tiap Lumped Parameter Model	47
Gambar III.21	Variasi Hubungan Permeabilitas Terhadap <i>Closure Stress</i> untuk Berbagai Jenis Ukuran <i>Proppant</i>	51
Gambar III.22	<i>Formation Breakdown Test</i>	59
Gambar III.23	<i>Step Rate Test</i> (a) Grafik <i>Time vs Injection rate</i> , (b) Grafik <i>Injection Rate vs BHP</i>	60
Gambar III.24	<i>Step Rate Test</i> P dan Q Terhadap T (<i>R. Keck</i>)	61
Gambar III.25	Skematik dari Pelaksanaan <i>Step Rate Test</i>	61
Gambar III.26	Plot P vs Akar Waktu (<i>R. Keck</i>)	62
Gambar III.27	<i>Backflow Test</i>	63

Gambar III.28	Grafik <i>Pressure</i> dan <i>Rate vs Time</i> untuk <i>Minifrac</i> (R. Keck)	64
Gambar III.29	Grafik Pola Tekanan pada <i>Hydraulic fracturing</i>	65
Gambar III.30	Kehilangan Tekanan pada 40 lb/1000 gal <i>Guar System</i>	66
Gambar III.31	Profil Konsentrasi <i>Proppant</i> pada <i>Tip Screen Out</i>	72
Gambar III.32	Grafik McFuire-Sikora untuk Menunjukkan Kenaikan Produktivitas	75
Gambar III.33	Grafik Hubungan r_w' dan F_{cd}	77
Gambar IV.1	Profil Sumur "RM"	82
Gambar IV.2	Profil Sumur "HS"	83
Gambar IV.3	Sensitivitas <i>Proppant</i> untuk Sumur "RM"	96
Gambar IV.4	Sensitivitas <i>Proppant</i> untuk Sumur "HS"	96
Gambar IV.5	<i>Breakdown Test</i> Sumur RM	101
Gambar IV.6	<i>Regression Analysis</i> pada <i>Breakdown Test</i> Sumur RM	101
Gambar IV.7	<i>Breakdown Test</i> Sumur HS	101
Gambar IV.8	<i>Regression Analysis Breakdown Test</i> Sumur HS	102
Gambar IV.9	<i>Step Rate Test</i> Sumur RM	103
Gambar IV.10	<i>Step Rate Diagnostic</i> Sumur RM	103
Gambar IV.11	<i>Step Down Diagnostic</i> Sumur RM	104
Gambar IV.12	<i>Step Rate Test</i> Sumur HS	104
Gambar IV.13	<i>Step Rate Diagnostic</i> Sumur HS	105
Gambar IV.14	<i>Step Down Diagnostic</i> Sumur RM	105
Gambar IV.15	<i>Minifrac</i> Sumur RM	106
Gambar IV.16	<i>Regression Analysis Minifrac</i> Sumur RM	107
Gambar IV.17	<i>Minifrac Matching</i> Sumur RM	107
Gambar IV.18	<i>Minifrac</i> Sumur HS	109
Gambar IV.19	<i>Regression Analysis Minifrac</i> Sumur RM	109
Gambar IV.20	<i>Minifrac Matching</i> Sumur RM	110
Gambar IV.21	<i>Main fracturing</i> Sumur RM	111
Gambar IV.22	Hasil <i>Mainfrac</i> Sumur RM	112
Gambar IV.23	<i>Mainfrac</i> Sumur HS	113
Gambar IV.24	Hasil <i>Mainfrac</i> Sumur HS	114
Gambar IV.25	Grafik r_w'/X_f vs F_{cd} Sumur RM Perfo A	134
Gambar IV.26	Grafik r_w'/X_f vs F_{cd} Sumur RM Perfo B	136
Gambar IV.27	Grafik r_w'/X_f vs F_{cd} Sumur HS	138
Gambar IV.28	Kurva IPR Sumur RM sebelum <i>Hydraulic fracturing</i>	142
Gambar IV.29	Kurva IPR Sumur RM A setelah <i>Hydraulic fracturing</i>	145
Gambar IV.30	Kurva IPR Sumur RM B setelah <i>Hydraulic fracturing</i>	148
Gambar IV.31	Perbandingan Kurva IPR Sumur RM A dan RMB Sebelum dan Setelah <i>Hydraulic fracturing</i>	150
Gambar IV.32	Perbandingan Kurva IPR Sumur RM Sebelum dan Setelah <i>Hydraulic fracturing</i>	150
Gambar IV.33	Kurva IPR Sumur HS sebelum <i>Hydraulic fracturing</i>	153
Gambar IV.34	Kurva IPR Sumur HS setelah <i>Hydraulic fracturing</i>	156
Gambar IV.35	Perbandingan Kurva IPR Sumur RM Sebelum dan Setelah <i>Hydraulic fracturing</i>	156

DAFTAR TABEL

Tabel II-1	Data Lapangan Sumur “RM” dan “HS”	13
Tabel III-1	<i>Complementary Error Function</i>	39
Tabel III-2	Persamaan untuk Mendapatkan Panjang Rekahan (L), Lebar Rekahan Maksimum (w), dan Tekanan Injeksi (P) jika Laju Injeksi Konstan	45
Tabel III-3	Konstanta C_n untuk Masing-Masing A_n	79
Tabel IV-1	Data Lapangan Sumur “RM” dan “HS”	84
Tabel IV-2	Data Reservoir Sumur “RM” dan “HS”	84
Tabel IV-3	Data Kompleksi Sumur “RM” dan “HS”	85
Tabel IV-4	Data Perforasi Sumur “RM” dan “HS”	85
Tabel IV-5	Data Mekanika Batuan pada Sumur “RM”	85
Tabel IV-6	Data Mekanika Batuan pada Sumur “HS”	86
Tabel IV-7	<i>Frac Fluid Properties</i> Sumur “RM” dan “HS”	86
Tabel IV-8	<i>Additive</i> pada <i>Frac Fluid</i> Sumur “RM”	87
Tabel IV-9	<i>Additive</i> pada <i>Frac Fluid</i> Sumur “HS”	87
Tabel IV-10	<i>Proppant Properties</i> Sumur “RM”	89
Tabel IV-11	<i>Proppant Properties</i> Sumur “HS”	89
Tabel IV-12	Desain <i>Final Schedule</i> untuk <i>MainFrac</i> Sumur RM	99
Tabel IV-13	Desain <i>Final Schedule</i> untuk <i>MainFrac</i> Sumur RM	101
Tabel IV-14	<i>Design Actual Pumping Schedule</i> Sumur RM	102
Tabel IV-15	Hasil Aktual Geometri Rekahan Sumur RM	103
Tabel IV-16	<i>Design Actual Pumping Schedule</i> Sumur HS	104
Tabel IV-17	Hasil Aktual Geometri Rekahan Sumur HS	105
Tabel IV-18	Data Geometri Rekahan Sumur RM (Perforasi A)	106
Tabel IV-19	Tabel Xf Iterasi Sumur RM Perforasi A	108
Tabel IV-20	Data Geometri Rekahan Sumur RM (Perforasi B)	109
Tabel IV-21	Tabel Xf Iterasi Sumur RM Perforasi B	111
Tabel IV-22	Data Geometri Rekahan Sumur HS	112
Tabel IV-23	Tabel Xf Iterasi Sumur HS	114
Tabel IV-24	Data Perhitungan Volume Fluida Perekah Sumur RM	115
Tabel IV-25	Data Perhitungan Volume Fluida Perekah Sumur HS	117
Tabel IV-26	Data Perhitungan Massa <i>Proppant</i> Sumur RM	119
Tabel IV-27	Data Perhitungan Massa <i>Proppant</i> Sumur HS	120
Tabel IV-28	Data Perhitungan Tekanan Injeksi di Permukaan Sumur “RM”	121
Tabel IV-29	Data Perhitungan Tekanan Injeksi di Permukaan Sumur “HS”	123
Tabel IV-30	Data Perhitungan Permeabilitas Sumur RM Perforasi A	126
Tabel IV-31	Data Perhitungan Permeabilitas Sumur RM Perforasi B	127
Tabel IV-32	Data Perhitungan Permeabilitas Sumur HS	129
Tabel IV-33	Data Perhitungan Indeks Produktivitas Sumur RM Perforasi A	130

Tabel IV-34	Tabulasi Perbandingan Harga Evaluasi <i>Productivity Index</i> Sumur RM Perforasi A	132
Tabel IV-35	Data Perhitungan Indeks Produktivitas Sumur RM Perforasi B	132
Tabel IV-36	Tabulasi Perbandingan Harga Evaluasi <i>Productivity Index</i> Sumur RM Perforasi B	134
Tabel IV-37	Data Perhitungan Indeks Produktivitas Sumur HS	134
Tabel IV-38	Tabulasi Perbandingan Harga Evaluasi <i>Productivity Index</i> Sumur HS	136
Tabel IV-39	Data Produksi Sumur RM Sebelum Pelaksanaan <i>Hydraulic fracturing</i>	137
Tabel IV-40	Hasil Perhitungan Laju Alir Sumur RM Sebelum <i>Hydraulic fracturing</i>	138
Tabel IV-41	Data Produksi Sumur RM Setelah Pelaksanaan <i>Hydraulic fracturing</i>	140
Tabel IV-42	Hasil Perhitungan Laju Alir Sumur RM Setelah <i>Hydraulic fracturing</i>	141
Tabel IV-43	Data Produksi Sumur HS Sebelum Pelaksanaan <i>Hydraulic fracturing</i>	143
Tabel IV-44	Hasil Perhitungan Laju Alir Sumur HS Sebelum <i>Hydraulic fracturing</i>	145
Tabel IV-45	Data Produksi Sumur HS Setelah Pelaksanaan <i>Hydraulic fracturing</i>	146
Tabel IV-46	Hasil Perhitungan Laju Alir Sumur HS Setelah <i>Hydraulic fracturing</i>	148

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Post Job Report Sand Fracturing Baker Hughes	168
Lampiran B	Post Job Report Sand Fracturing PT Bukitapit Bumi Persada	179
Lampiran C	Cadangan Lapisan Pre-TAF	191

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN		Halaman
PI	Productivity Index	2
IPR	Inflow Performance Relationship	2
TAF	Talang Akar Formation	10
NW	North West	12
CBA	Cibulakan Atas	13
HPG	Hydropropyl Guar Gum	34
CMHPG	Carboxymetyl Hydropropyl Guar Gum	34
HEC	Hydroxy Ethyl Cellulose	34
ISIP	Instantenos Shut-In Pressure	63
HHP	Hydraulic Horse Power	68
TSO	Tip Screen Out	70
K2P	Kelipatan Kenaikan Produktivitas	75
WC	Water Cut	78
BHTP	Bottomhole Treatment Pressure	123
WHTP	Wellhed Treating Pressure	123
FOI	Fold of Increase	132
BOPD	Barell Oil Per Day	135
BFPD	Barell Fluid Per Day	135

LAMBANG

K_{avg}	Permeabilitas Rata-Rata	4
X_f	Panjang Rekahan	4
W_w	Lebar Rekahan	4
H_f	Tinggi Rekahan	4
k	Permeabilitas batuan	14
r_w	Jari-Jari Efektif Sumur	14

S	Skin	17
re	Jari Jari Pengurasan	17
σ	Stress	18
F	Gaya yang Bekerja	18
A	Luas Bidang Kontak	18
ε	Strain	19
L	Tinggi Awal Material	19
δx	Perubahan Tinggi/Panjang Material	19
Co	Compressive Strength	20
ν	Poisson Ratio	22
G	Modulus Shear	24
K_{Ic}	Fracture Toughness	24
θ	Besar Sudut Deformasi	25
K	Modulus Bulk	25
ρ	Densitas Batuan	25
g	Tekanan Overburden	25
τ	Shear Stress	28
$\dot{\gamma}$	Shear Rate	28
μ	Viskositas	28
τ_y	Yield Point	28
η	Fluid Efficiency	31
C _{tot}	<i>Total leak-off coefient</i>	31
q	Laju Injeksi	38
t	Waktu	38
erfc	Complementary Error Function	39
S _p	Spurt Loss	43
P _{net}	Net Pressure	44
W _{kf}	Konduktivitas Rekahan	49
P _{wf}	Tekanan Alir Dasar Sumur	50
V _f	Volume Rekahan	53
M _p	Massa <i>Proppant</i>	56
ϕ	Porositas	56

P_{fp}	Friksi Perforasi	67
G_{prf}	Gradien Rekah Formasi	67
F_{cd}	Dimensionless Fracture Conductivity	76
P_s	Tekanan Statis Sumur	79
k_f	Permeabilitas rekahan	126
h	Ketebalan	126