

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
PRAKATA.....	v
RINGKASAN .....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
I.1 Latar Belakang Masalah .....	1
I.2 Maksud dan Tujuan .....	2
I.3 Batasan Masalah .....	2
I.4 Metodologi.....	2
I.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN UMUM LAPANGAN KOTA BATAK .....	6
II.1. Letak Geografis Lapangan Kota Batak .....	6
II.2. Geologi Regional Lapangan Kota Batak.....	7
II.3. Riwayat Sumur FA-91 Lapangan Kota Batak.....	10
BAB III <i>LITERATURE REVIEW</i> .....	11
BAB IV TEORI DASAR <i>HYDRAULIC FRACTURING</i> .....	13
IV.1. Mekanika Batuan.....	13
IV.1.1. <i>Stress dan Strain</i> .....	13
IV.1.2. <i>Poisson's Ratio</i> .....	15
IV.1.3. <i>Modulus Young (E)</i> .....	15
IV.1.4. <i>Modulus Shear (G)</i> .....	16
IV.1.5. <i>Modulus Bulk (K)</i> .....	17

IV.1.6. <i>Overburden Stress</i> ( $\sigma_v$ ) .....	18
IV.1.7. Arah Rekahan .....	19
IV.2. Geometri Rekahan .....	20
III.2.1. Model 2D .....	20
IV.3. Rheologi Fluida Perekah .....	26
III.3.1. <i>Leak-Off (Fluid Loss)</i> .....	30
III.3.2. Hidrolika Fluida Perekah .....	32
IV.4. Fluida Perekah dan <i>Additive</i> .....	36
IV.4.1. Sifat Fluida Perekah .....	36
IV.4.2. Komposisi Fluida Perekah .....	37
IV.4.3. Jenis Fluida Perekah Dasar .....	39
IV.5. <i>Proppant</i> (Material Pengganjal) .....	43
IV.5.1. <i>Proppant Pack Conductivity</i> .....	43
IV.5.2. Sifat Fisik <i>Proppant</i> .....	44
IV.5.3. Jenis-jenis <i>Proppant</i> .....	48
IV.5.4. Transportasi <i>Proppant</i> .....	51
IV.6. Evaluasi Indeks Produktivitas (PI) .....	53
IV.6.1. Metode <i>Cinco-Ley, Samaniago and Dominique</i> .....	53
IV.7. Pelaksanaan <i>Hydraulic Fracturing</i> .....	55
IV.7.1. <i>Breakdown Test</i> .....	55
IV.7.2. <i>Step Rate Test</i> .....	55
IV.7.3. <i>Minifrac</i> .....	56
IV.7.4. <i>Re-design Simulation</i> .....	57
IV.7.5. <i>Main Frac</i> .....	58
IV.8. Penentuan <i>Inflow Performance Relationship</i> (IPR) .....	58
IV.9. Indikator Keekonomian .....	61
<b>BAB V. EVALUASI HASIL STIMULASI <i>HYDRAULIC FRACTURING</i></b> .....	<b>65</b>
V.1. Pengumpulan Data Sumur FA-91 .....	66
V.2. Evaluasi Perencanaan <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur FA-91 .....	68
V.2.1. Evaluasi Pemilihan Fluida Perekah .....	68
V.2.2. Evaluasi Pemilihan <i>Proppant</i> .....	69
V.3. Evaluasi Pelaksanaan <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur FA-91 .....	70
V.3.1. <i>Mini Fall of Test</i> .....	70
V.3.2. <i>Step Rate Test</i> .....	71

V.3.3. <i>Calibration Injection</i> .....	72
V.3.4. <i>Redesign Simulation</i> .....	73
V.3.5. <i>Main Frac</i> .....	74
V.4. Evaluasi Pelaksanaan <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur FA-91 .....	75
V.4.1. Evaluasi Geometri Rekahan .....	75
V.4.2. Perhitungan Tekanan Injeksi di Permukaan .....	79
V.4.3. Perhitungan Volume Fluida Perekah.....	82
V.4.4. Perhitungan Massa <i>Proppant</i> .....	83
V.4.5. Evaluasi Produksi .....	84
V.4.6. Perhitungan Pay Out Time .....	91
BAB VI PEMBAHASAN.....	94
BAB VII KESIMPULAN .....	99
DAFTAR RUJUKAN .....	100
LAMPIRAN.....	102

## DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1. <i>Flowchart</i> Penelitian .....	4
Gambar II.1. Peta Letak Lapangan Kota Batak .....	6
Gambar II.2. Stratigrafi Regional Ckeungan Sumatera Tengah .....	8
Gambar IV.1. Skematik <i>Strain</i> Akibat Gaya F .....	14
Gambar IV.2. Deformasi Benda pada Arah x dan y .....	15
Gambar IV.3. Tegangan Geser pada Bidang Material .....	16
Gambar IV.4. Perubahan Volume Material Akibat Tekanan Eksternal .....	17
Gambar IV.5. Arah Rekahan .....	19
Gambar IV.6. Model Radial .....	21
Gambar IV.7. Model Geometri PKN .....	22
Gambar IV.8 Model Geometri KGD .....	24
Gambar IV.9. Model Rheologi Beberapa Jenis Fluida .....	27
Gambar IV.10. Hubungan <i>Shear Rate</i> dan <i>Shear Stress</i> Fluida <i>Power Law</i> pada Skala Log .....	28
Gambar IV.11. <i>Apparent Viscosity Power Law Fluid</i> pada Setiap Harga <i>Shear Rate</i> .....	29
Gambar IV.12. Pengaruh <i>Shear Rate</i> terhadap Viskositas fluida Pada Kondisi Temperatur .....	30
Gambar IV.13 Petunjuk Pemilihan Fluida Perekah untuk Sumur Gas .....	42
Gambar IV.14 Petunjuk Pemilihan Fluida Perekah untuk Sumur Minyak .....	42
Gambar IV.15. Variasi Harga Permeabilitas terhadap Ukuran <i>Proppant</i> .....	45
Gambar IV.16. Tabel <i>Roundness</i> dan <i>Sphericity</i> Krumbein dan Sloss .....	47
Gambar IV.17. Konduktivitas vs <i>Closure Stress</i> .....	48
Gambar IV.18 Grafik Hubungan $rw'/xf$ dan $Fcd$ .....	54
Gambar IV.19. Grafik Hubungan Laju Produksi terhadap Tekanan .....	59
Gambar V.1 Profil Sumur FA-91 .....	65
Gambar V.2 <i>Mini Fall of Test</i> Sumur FA-91 .....	70
Gambar V.3 <i>Step Rate &amp; Steap Down Test</i> Sumur FA-91 .....	71
Gambar V.4 <i>Step Rate Analysis Plot</i> Sumur FA-91 .....	71
Gambar V.5. <i>Step Down Analysis Plot</i> Sumur FA-91 .....	72
Gambar V.6 <i>Calibration Decline Analysis Plot</i> Sumur FA-91 .....	72
Gambar V.7 Hasil <i>Re-Design Simulation</i> Sumur FA-91 .....	73
Gambar V.8 Grafik <i>Main Frac</i> Sumur FA-91 .....	75
Gambar V.9 Hasil <i>Main Frac</i> Sumur FA-91 .....	75
Gambar V.10. <i>Fracture Conductivity</i> Sumur FA-91 vs Sumur Pembanding .....	79
Gambar V.11 Grafik $rw'/Xf$ vs $Fcd$ .....	86
Gambar V.12. Perbandingan Kurva IPR Sebelum dan Setelah <i>Hydraulif Fracturing</i> .....	90
Gambar V.13 Perbandingan Kurva IPR <i>Rod-Shaped Proppant</i> vs Konvensional <i>Proppant</i> .....	90

## DAFTAR TABEL

Tabel IV-1. Konstanta Cn Untuk Masing-Masing An.....	60
Tabel V-1. Data Reservoir .....	66
Tabel V-2. Data Kompleksi Sumur FA-91 .....	67
Tabel V-3. Data Perforasi Sumur FA-91 .....	67
Tabel V-4. Data Mekanika Batuan .....	67
Tabel V-5. <i>Frac Fluid Properties</i> Sumur FA-91 .....	68
Tabel V-6. <i>Proppant Properties</i> pada Sumur FA-91.....	69
Tabel V-7. <i>Re-design Pumping Schedule</i> Sumur FA-91 .....	73
Tabel V-8. <i>Input Surface Treatment Pumping Schedule</i> Sumur FA-91 .....	74
Tabel V-9. Data Perhitungan Geometri Rekahan .....	76
Tabel V-10. Tabel Xf Iterasi Sumur FA-91.....	78
Tabel V-11. <i>Fracture Conductivity</i> Sumur FA-91 dan Sumur Pembanding.....	79
Tabel V-12. Data Perhitungan Tekanan Injeksi di Permukaan .....	79
Tabel V-13. Data Perhitungan Volume Fluida Perekah .....	82
Tabel V-14. Data Perhitungan <i>Massa Proppant</i> .....	84
Tabel V-15. Data Perhitungan Permeabilitas Formasi Rata-Rata.....	85
Tabel V-16. Data Perhitungan Indeks Produktivitas .....	86
Tabel V-17. Data Perhitungan IPR Metode Pudjo Sukarno Sumur FA-91 .....	88
Tabel V-18. Tabulasi Nilai Hasil Pwf vs Qo Setelah <i>Hydraulic Fracturing</i> Sumur FA-91.....	89
Tabel V-19. <i>Cost Hydraulic Fracturing</i> Sumur FA-91 .....	91

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Summary Table of MainFrac Sumur KB-410.....	103
Lampiran B	Summary Table of MainFrac Sumur KB-427.....	104
Lampiran C	Summary Table of MainFrac Sumur KB-354.....	105

## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

<b>SINGKATAN</b>		Halaman
BHTP	<i>Bottomhole Treatment Pressure</i>	87
BPM	<i>Barrel Per Minute</i>	73
ESP	<i>Electric Submersible Pump</i>	61
FCD	<i>Fractur Conductivity Dimensionless</i>	59
GPM	<i>Gallon Per Minute</i>	88
HHP	<i>Horse Power Pompa</i>	88
IPR	<i>Inflow Performance Relationship</i>	60
MD	<i>Middle Depth Data</i>	66
KCL	<i>Kalium Chlorida</i>	73
KGD	<i>Khristianovich, Zheltov, Geertsma, dan de Klerk</i>	22
PI	<i>Productivity Index</i>	3
PKN	<i>Perkins, Kern and Nordgren</i>	2
POT	<i>Pay Out Time</i>	
WHTP	<i>Wellhead Treating Pressure</i>	87
<b>LAMBANG</b>		
<i>A</i>	Luas, m <sup>2</sup>	13
<i>C</i>	Koefisien Leak-off	38
<i>Ct</i>	Koefisien fluid dalam (m/det <sup>1/2</sup> )	28
<i>D</i>	Diameter sebelum mengalami deformasi (ft)	15
<i>d*</i>	Diameter setelah mengalami deformasi (ft)	15
<i>E</i>	Modulus Young (psi)	16
<i>E'</i>	Plane-strain Moudulus	16
$\epsilon$	Strain	16
$\epsilon_x$	Axial Strain	14

$\epsilon_y$	Lateral Strain	14
F	Gaya (lbs)	13
G	Modulus Shear	16
G	Percepatan gravitasi (lb/ft <sup>2</sup> )	19
H	Kedalaman (ft)	19
H <sub>f</sub>	Tinggi rekahan (ft)	26
I*	Panjang setelah mengalami deformasi (ft)	14
I	Panjang sebelum mengalami deformasi (ft)	14
K	Modulus Bulk (psi)	17
K'	Consistency Index	32
n'	Power law index	32
P	Densitas batuan (lb/ft <sup>2</sup> )	19
q <sub>i</sub>	Laju injeksi (bbl/min)	24
q <sub>o</sub>	Laju alir minyak, bopd	59
Sp	Spurt Loss (m)	28
T	Waktu	28
W <sub>max</sub>	Lebar rekahan maksimum (inch)	24
w <sup>-</sup>	Lebar rekahan rata-rata (inch)	24
X <sub>f</sub>	Panjang rekahan (ft)	27
θ	Besar sudut deformasi (radian)	17
M	Viskositas fluida perekah (Kpa min)	26
V	Poisson ratio	15
Σ	Stress	13
Σ <sub>v</sub>	Overburden stress	18