

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
RINGKASAN	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Maksud dan Tujuan	3
1.5 Hipotesa	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II STUDI PUSTAKA	5
2.1 Studi Literatur.....	5
2.2 Kebaruan Studi	11
BAB III TINJAUAN LAPANGAN	13
3.1 Lokasi Penelitian	13
3.2 Geologi dan Stratigrafi Lapangan Penelitian	14
3.2.1 <i>Petroleum</i> Sistem.....	19
3.3 Sejarah Pemboran dan Produksi Lapangan Penelitian	21
BAB IV DASAR TEORI DAN METODOLOGI	23
4.1 Perforasi	23
4.1.1 Teknik Perforasi Konvensional (Bahan Peledak).....	23
4.1.2 Teknik Perforasi Abrasif Melalui <i>Coiled Tubing</i>	24
4.1.2.1 Alat-alat dan Bahan Yang Digunakan Dalam Teknik	

Perforasi Abrasif.....	25
4.1.2.2 Pekerjaan Perforasi Abrasif.....	27
4.1.2.3 Hasil Lubang Teknik Perforasi Abrasif.....	28
4.1.2.4 <i>Step Down Rate Test</i>	30
4.2 <i>Near wellbore damage</i> (Kerusakan di area dekat lubang sumur)	33
4.2.1 <i>Perforation Friction</i> atau gesekan perforasi.....	34
4.2.2 Tortuositas	36
4.2.3 <i>Debris cuttings</i> dari <i>perforating gun</i>	39
4.2.4 <i>Skin</i> akibat perforasi	40
4.3 <i>Young Modulus</i>	43
4.4 Porositas, Permabilitas dan Kerapatan Formasi	44
4.5 Metodologi	46
BAB V PENGUMPULAN, PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA	50
5.1 Pengumpulan Data.....	50
5.1.1 Profil Sumur Penelitian	50
5.1.1.1 Sumur TR-003 (Teknik Perforasi Konvensional)	50
5.1.1.2 Sumur NV-004 (Teknik Perforasi Abrasif).....	52
5.1.2 Data Lubang Perforasi	54
5.1.2.1 Data Kedalaman Perforasi	55
5.1.2.2 Data Jumlah dan Diameter Lubang Perforasi.....	57
5.1.3 Karakteristik Formasi Khuff-C.....	59
5.1.3.1 Data Porositas dan Tegangan Batuan	59
5.1.3.2 Data <i>Young Modulus</i>	60
5.1.4 Data <i>Step Down Rate Test</i>	62
5.1.4.1 Data <i>Step Down Rate Test</i> Sumur TR-003	62
5.1.4.2 Data <i>Step Down Rate Test</i> Sumur NV-004	63
5.2 Pengolahan Dan Analisa Data	64
5.2.1 Seleksi Kandidat Sumur Untuk Perforasi Abrasif.....	64
5.2.1.1 Profil Sumur	65
5.2.1.2 Karakteristik Formasi	67
5.2.1.2.1 Permabilitas, Porositas dan Tegangan Batuan.....	68
5.2.1.2.2 <i>Young Modulus</i>	69
5.2.1.3 Pertimbangan Kerusakan Yang Terjadi Akibat Pekerjaan Perforasi.....	71
5.2.2 Perencanaan Pekerjaan Perforasi.....	74
5.2.2.1 Perencanaan Pekerjaan Perforasi Sumur TR-003.....	74
5.2.2.2 Perencanaan Pekerjaan Perforasi Sumur NV-004	76
5.2.3 Pelaksanaan Pekerjaan Perforasi	84
5.2.3.1 Teknik Perforasi Konvensional	84
5.2.3.2 Teknik Perforasi Abrasif	85
5.2.4 Analisa Data Hasil <i>Step Down Rate Test</i>	87
5.2.4.1 Analisa data <i>step down rate test</i> pada sumur TR-003	89
5.2.4.1.1 Analisa data <i>software step down rate test stage #2</i> ... 90	
5.2.4.1.2 Analisa data <i>software step down rate test stage #4</i> ... 93	
5.2.4.2 Analisa data <i>step down rate test</i> pada sumur NV-004	96

5.2.4.2.1	Analisa data <i>software step rate down test stage</i> #2...	97
5.2.4.2.2	Analisa data <i>software step rate down test stage</i> #5.	100
5.2.4.3	Perbandingan Data Analisa Sumur TR-003 dan NV-004	104
5.2.5	Analisa Kerusakan di Area Dekat Lubang Sumur (<i>NWB damage</i>)....	105
5.2.5.1	Analisa Gesekan Perforasi.....	105
5.2.5.1.1	Analisa gesekan perforasi hasil dari teknik perforasi konvensional pada sumur TR-003.....	106
5.2.5.1.2	Analisa gesekan perforasi hasil dari teknik perforasi abrasif pada sumur NV-004	110
5.2.5.2	Analisa Tortuositas	113
5.2.5.2.1	Tortuositas pada sumur TR-003	113
5.2.5.2.2	Tortuositas pada sumur NV-004.....	115
5.2.5.3	Analisa <i>Debris Cuttings</i>	117
5.2.5.3.1	Analisa <i>Debris Cuttings</i> teknik perforasi konvensional pada sumur TR-003.....	117
5.2.5.3.2	Analisa <i>Debris Cuttings</i> teknik perforasi abrasif pada sumur NV-004.....	118
5.2.5.4	Analisa <i>Skin</i>	120
5.2.5.4.1	Analisa <i>Skin</i> hasil perforasi konvensional pada sumur TR-003	120
5.2.5.4.2	Analisa <i>Skin</i> hasil perforasi abrasif pada sumur NV-004	122
5.2.6	Tabel Lengkap Perbandingan Teknik Perforasi Konvensional vs. Abrasif.....	123
5.2.7	Optimasi Pekerjaan Stimulasi Akibat Dari Hasil Pelubangan Perforasi.....	126
5.2.7.1	Optimasi <i>Net Pressure</i>	127
5.2.7.2	Optimasi <i>sand slug</i>	128
5.2.7.3	Optimasi fluida kental (<i>viscous fluid</i>).....	130
5.2.7.4	Optimasi tekanan dan laju aliran	131
BAB VI	PEMBAHASAN.....	132
6.1	Gesekan Perforasi	132
6.2	Tortuositas	134
6.3	<i>Debris Cuttings</i>	135
6.4	<i>Skin</i>	135
6.5	Parameter Penelitian Pembanding Lainnya	135
6.6	Penanggulangan Dampak Kerusakan Akibat Hasil Pelubangan Perforasi..	136
BAB VII	KESIMPULAN.....	137
DAFTAR PUSTAKA	139
DAFTAR SIMBOL	141
LAMPIRAN	144

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Lapangan Haradh tempat lokasi sumur TR-003 dan NV-004	13
Gambar 3.2 Pergerakan antara <i>Western Tethys</i> dengan lempeng Euroasia	14
Gambar 3.3 Struktur Lapisan Saudi Arabia	15
Gambar 3.4 Stratigrafi Saudi Arabia sampai era <i>early</i> Jurassic	16
Gambar 3.5 Petroleum Sistem Saudi Arabia	19
Gambar 4.1 Ilustrasi perforasi konvensional (kiri), perforating gun (kanan)	24
Gambar 4.2 Proses <i>HydraJet</i> saat pembuatan lubang perforasi.....	24
Gambar 4. 3 <i>Coiled Tubing</i>	25
Gambar 4. 4 Alat <i>HydraJet</i>	25
Gambar 4.5 Ilustrasi pekerjaan perforasi abrasif	28
Gambar 4.6 Diameter dan Panjang Rata-Rata Perforasi Abrasif.....	29
Gambar 4.7 Simulasi panjang penetrasi perforasi abrasif	29
Gambar 4.8 Konsep <i>net pressure</i>	31
Gambar 4.9 Model plot input dan analisa <i>Step Down Rate Test</i>	33
Gambar 4.10 Evolusi koefisien debit keluaran dengan geometri perforasi.	35
Gambar 4.11 Hasil lubang perforasi ideal pada pipa sumur	35
Gambar 4.12 Hasil perforasi pada sumur horizontal dengan bahan peledak.....	36
Gambar 4.13 Jalur rekahan tortuositas.....	37
Gambar 4.14 Sudut defleksi terdapat orientasi perforasi.....	38
Gambar 4.15 Hasil <i>cutting debris</i> dari bahan peledak.....	39
Gambar 4.16 Penyumbatan terowongan perforasi oleh <i>debris cutting</i>	40
Gambar 4.17 Parameter <i>formation damage</i> akibat perforasi pada sumur	41
Gambar 4.18 Porositas dan permeabilitas batuan	45
Gambar 4.19 Diagram Metodologi Penelitian	49
Gambar 5.1 Diagram Sumur TR-003	51
Gambar 5.2 Diagram Sumur NV-004.....	53
Gambar 5.3 Diagram BHA <i>gun perforator</i>	57
Gambar 5.4 Alat <i>BHA Hydrajet Perforator</i> yang digunakan pada sumur.....	58

Gambar 5.5 Wireline downhole tractor.....	65
Gambar 5.6 Ilustrasi aplikasi <i>wireline tractor</i> di sumur horizontal.....	66
Gambar 5.7 Ilustrasi aplikasi <i>coiled tubing</i> di sumur horizontal.....	67
Gambar 5.8 Ilustrasi pembersihan lubang sumur horizontal dengan coiled.....	67
Gambar 5.9 Perforasi dan dampaknya terhadap formasi.....	72
Gambar 5.10 Kondisi batuan sebelum dan setelah perforasi konvensional.....	73
Gambar 5.11 Kondisi batuan sebelum dan setelah perforasi abrasif.....	73
Gambar 5.12 Set up wireline unit di lapangan.....	84
Gambar 5.13 Ilustrasi ledakan dan pelubangan teknik perforasi konvensional....	84
Gambar 5.14 <i>Set up coiled tubing unit</i> di lapangan.....	85
Gambar 5.15 Aliran sinyal listrik menuju bahan peledak hingga terbentuknya.	106
Gambar 5.16 Posisi bahan peledak pada sumur horizontal.....	107
Gambar 5.17 Perbedaan diameter lubang perforasi akibat <i>phasing</i> dan posisi ..	107
Gambar 5.18 Diagram <i>BHA gun perforator</i> tanpa centralizer.....	108
Gambar 5.19 Lubang perforasi ideal pada pipa produksi.....	109
Gambar 5.20 Profil lubang perforasi yang sempurna pada sumur TR-003 dan NV-004 dilihat menggunakan <i>downhole camera</i>	109
Gambar 5.21 Profil lubang perforasi yang tidak sempurna pada sumur TR-003 dilihat menggunakan <i>downhole camera</i>	110
Gambar 5.22 Semburan fluida abrasif yang keluar dari nozel.....	110
Gambar 5.23 Alat BHA Hydrajet Perforator yang dilengkapi dengan <i>stabilizer</i>	111
Gambar 5.24 Hasil lubang perforasi dari teknik perforasi abrasif.....	112
Gambar 5.25 Semburan abrasif dan hasil terowongan perforasi abrasif.....	112
Gambar 5.26 Turbulensi fluida pada terowongan perforasi.....	118
Gambar 5.27 <i>Splashback</i> dan pengikisan badan luar alat <i>Hydrajet</i> saat proses perforasi abrasif.....	119
Gambar 5.28 Pengikisan yang terjadi pada bagian dalam alat <i>HydraJet</i> dan foto nozel diambil dari bagian dalam alat.....	119
Gambar 5.29 Perubahan sudut tepian lubang perforasi hasil pemompaan <i>Sand slug</i>	129
Gambar 5.30 Evolusi koefisien debit keluaran dengan geometri perforasi.....	129
Gambar 5.31 <i>Viscous Frac Fluid</i>	130

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Matrix Penelitian dan Kebaruan Studi.....	12
Tabel 4.1 Data pemilihan jenis pasir.....	26
Tabel 4.2 Komposisi fluida abrasif.....	27
Tabel 4.3 Sudut perforasi.....	42
Tabel 4.4 Koefisien korelasi <i>skin</i> vertikal.....	42
Tabel 4.5 Nilai koefisien C_1 dan C_2	43
Tabel 4.6 Kekerasan batuan formasi berdasarkan nilai <i>Young / Elastic Modulus</i>	44
Tabel 4.7 Nilai porositas.....	46
Tabel 4.8 Nilai permeabilitas.....	46
Tabel 5.1 Detail sumur TR-003 sebelum dilakukan perforasi bahan peledak ...	52
Tabel 5.2 Detail sumur NV-004 sebelum dilakukan perforasi abrasif	54
Tabel 5.3 Data Kedalaman Perforasi Sumur TR-003	55
Tabel 5.4 Detail Perforasi Pada Sumur NV-004.....	56
Tabel 5.5 Perforasi Penelitian	62
Tabel 5.6 Nilai permeabilitas	68
Tabel 5.7 Nilai porositas	68
Tabel 5.8 Karakter batuan formasi TR dan NV berdasarkan nilai <i>Young / Elastic Modulus</i>	71
Tabel 5.9 Rencana kedalaman perforasi pada sumur TR-003	76
Tabel 5.10 Rencana kedalaman perforasi pada sumur NV-004.....	77
Tabel 5.11 Jadwal pemompaan untuk pembersihan sumur	80
Tabel 5.12 Jadwal <i>hydrajetting stage</i> #1	81
Tabel 5.13 Jadwal <i>hydrajetting stage</i> #2 - 3	82
Tabel 5.14 Jadwal <i>hydrajetting stage</i> # 4 - 6	83
Tabel 5.15 Kedalaman perforasi yang dianalisa pada sumur TR-003	89
Tabel 5.16 Laju aliran vs tekanan gesekan <i>step down rate test stage</i> #2 sumur TR-003.....	90
Tabel 5.17 Perhitungan secara teori laju aliran vs tekanan gesekan.....	92

Tabel 5.18 Laju aliran vs tekanan gesekan <i>step down rate test</i> <i>stage #4</i> sumur TR-003	93
Tabel 5.19 Perhitungan secara teori laju aliran vs tekanan gesekan	95
Tabel 5.20 Kedalaman perforasi yang dianalisa pada sumur NV-004	96
Tabel 5.21 Laju aliran vs tekanan gesekan <i>step down rate test</i> <i>stage #2</i> sumur NV	98
Tabel 5.22 Perhitungan secara teori laju aliran vs tekanan gesekan	100
Tabel 5.23 Laju aliran vs tekanan gesekan <i>step down rate test</i> <i>stage #5</i> sumur NV-004	101
Tabel 5.24 Perhitungan secara teori laju aliran vs tekanan gesekan	103
Tabel 5.25 Kekerasan batuan formasi sumur TR <i>stage #2</i> dan #4 berdasarkan nilai <i>Young / Elastic Modulus</i>	115
Tabel 5.26 Perbandingan nilai tortuositas <i>stage #2</i> dan <i>stage #4</i> sumur TR-003	115
Tabel 5.27 Kekerasan batuan formasi sumur NV-004 <i>stage #2</i> dan #5 berdasarkan nilai <i>Young / Elastic Modulus</i>	116
Tabel 5.28 Perbandingan nilai tortuositas <i>stage #4</i> (TR-003) dengan <i>stage #2</i> (NV-004)	117
Tabel 5.29 Perbedaan teknik perforasi konvensional dan abrasif	124
Tabel 5.29 Perbedaan teknik perforasi konvensional dan abrasif (lanjutan)	124
Tabel 5.29 Perbedaan teknik perforasi konvensional dan abrasif (lanjutan)	124
Tabel 5.30 Laju Aliran saat <i>formation break</i> dan <i>step up rate test</i>	127
Tabel 5.31 Tekanan-tekanan akibat laju aliran	127
Tabel 5.32 P_{net} akibat masing-masing laju aliran	128

DAFTAR GRAFIK

Grafik 3.1 Decline Curve Produksi Lapangan Migas Ghawar	22
Grafik 4.1 Grafik tekanan gesekan dan nilai ISIP	31
Grafik 5.1 Porositas dan Tegangan Minimum Horizontal Sumur TR-003	60
Grafik 5.2 Porositas dan Tegangan Minimum Horizontal Sumur NV-004	60
Grafik 5.3 Data <i>Young Modulus</i> Sumur TR-003	61
Grafik 5.4 Data <i>Young Modulus</i> Sumur NV-004	61
Grafik 5.5 Grafik <i>step down rate test stage #2</i> pada sumur TR-003	62
Grafik 5.6 Grafik <i>step down rate test stage #4</i> pada sumur TR-003	63
Grafik 5.7 Grafik <i>step down rate test stage #2</i> pada sumur NV-004	63
Grafik 5.8 Grafik <i>step down rate test stage #5</i> pada sumur NV-004	64
Grafik 5.9 Porositas dan Tegangan Minimum Horizontal Sumur TR-003	69
Grafik 5.10 Porositas dan Tegangan Minimum Horizontal Sumur NV-004	69
Grafik 5.11 Data <i>Young Modulus</i> Sumur TR-003	70
Grafik 5.12 Data <i>Young Modulus</i> Sumur NV-004	70
Grafik 5.13 Tekanan pada nozel berdasarkan laju aliran	78
Grafik 5.14 Simulasi tekanan BHP vs. kedalaman	78
Grafik 5.15 Grafik <i>hydrajetting stage #2 cluster #1, #2 dan #3</i> pada sumur NV-004	85
Grafik 5.16 Grafik <i>hydrajetting stage #2 cluster #4 dan #5</i> pada sumur NV-004	86
Grafik 5.17 Grafik <i>step down rate test stage #2</i> pada sumur TR-003	90
Grafik 5.18 Grafik potongan <i>step down rate test stage #2</i> pada sumur TR-003	91
Grafik 5.19 Grafik <i>step down rate test stage #4</i> pada sumur TR-003	93
Grafik 5.20 Grafik potongan <i>step down rate test stage #4</i> pada sumur TR-003	94
Grafik 5.21 Grafik gesekan perforasi <i>stage #2 dan stage #4</i> pada sumur TR-003	96
Grafik 5.22 Grafik <i>step down rate test stage #2</i> pada sumur NV-004	97

Grafik 5.23 Grafik potongan <i>step down rate test stage #2</i> pada sumur NV-004	98
Grafik 5.24 Grafik <i>step down rate test stage #4</i> pada sumur NV-004.....	100
Grafik 5.25 Grafik potongan <i>step down rate test stage #2</i> pada sumur NV-004	101
Grafik 5.26 Gesekan Perforasi <i>stage #2</i> dan <i>#5</i> pada Sumur NV-004	103
Grafik 5.27 Gesekan Perforasi sumur TR-003 vs. NV-004.....	104
Grafik 5.28 Tortuositas sumur TR-003 vs. NV-004	104
Grafik 5.29 Data distribusi porositas dan tegangan horizontal minimum Sumur TR-003 <i>stage #2</i> dan <i>#4</i>	113
Grafik 5.30 Data <i>Young Modulus</i> Sumur TR-003 <i>stage #2</i> dan <i>#4</i>	114
Grafik 5.31 Data <i>Young Modulus</i> Sumur NV-004 <i>stage #2</i> dan <i>#5</i>	116

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Kronologi Permasalahan Pada Sumur di Lapangan Haradh	144
Lampiran B-1. Profil Eksisting Sumur TR-003	145
Lampiran B-2. Profil Eksisting Sumur NV-004	146
Lampiran C-1. Simulasi <i>software</i> GOHFER <i>step rate test stage</i> #2 TR-003.....	147
Lampiran C-2. Simulasi <i>software</i> GOHFER <i>step rate test stage</i> #4 TR-003.....	148
Lampiran C-3. Simulasi <i>software</i> GOHFER <i>step rate test stage</i> #2 NV-004....	149
Lampiran C-4. Simulasi <i>software</i> GOHFER <i>step rate test stage</i> #5 NV-004.....	150
Lampiran D-1. <i>3 1/8" MILLENNIUM™ Express RDX Charges</i>	151
Lampiran D-2. <i>Hydra-Jet™ TS</i>	153