

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	ii
<b>PERNYATAAN .....</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	iv
<b>SARI .....</b>	v
<b>ABSTRACT .....</b>	vi
<b>DAFTAR ISI .....</b>	vii
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	xi
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	xii
 <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	 1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Lokasi Penelitian .....	2
1.4 Lingkup Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
1.6 Peneliti Terdahulu.....	4
 <b>BAB II GEOLOGI REGIONAL .....</b>	 6
2.1 Geologi Regional .....	6
2.2 Stratigrafi Regional .....	8
 <b>BAB III DASAR TEORI .....</b>	 11
3.1. Profil Tekanan Bawah Permukaan .....	11
3.1.1. Tekanan Hidrostatik .....	12
3.1.2. Tekanan Overburden .....	13
3.1.3. Tekanan Pori .....	14

3.1.4. Tekanan Rekah .....	17
3.2. Perhitungan Tekanan Bawah Permukaan .....	17
3.2.1. Perhitungan Tekanan Overburden .....	20
3.2.2. Tren Kompaksi Normal.....	22
3.2.3. Perhitungan Tekanan Pori .....	24
3.2.4. Perhitungan Tekanan Rekah .....	25
3.3. Sifat Mekanika Batuan .....	26
3.3.1. Stress dan Strain .....	26
3.3.2. Poisson Ratio .....	28
3.4. Kestabilan Lubang Bor .....	29
3.4.1. Besaran Stress Relatif dan Rezim Patahan .....	29
3.4.2. Maximum Horizontal Stress .....	31
3.4.3. Shear Failure Gradient/Collapse Pressure .....	31
3.5. Seismik Multiatribut .....	33
3.6. Mud Window Concept .....	35
3.7. Ketidakstabilan Dan Permasalahan Lubang Bor .....	38
3.8. Drillworks Software .....	46
3.9. X-Ray Diffraction .....	48
3.10. Hipotesis .....	49
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>51</b>
4.1. Data dan Alat .....	51
4.2. Tahapan Penelitian .....	52
<b>BAB V ANALISIS DATA DAN INTERPRETASI.....</b>	<b>57</b>
5.1. Analisis Tekanan Bawah Permukaan Pada Sumur DRF-1 .....	57
5.1.1. Analisis Overburden Pressure Gradient .....	57
5.1.2. Analisis Normal Pore Pressure .....	58
5.1.3. Analisis Pore Pressure Gradient .....	60
5.1.4. Analisis Fracture Pressure Gradient .....	61
5.1.5. Hasil Analisis Tekanan Bawah Permukaan Sumur DRF-1 .....	63

5.2. Analisis Sifat Mekanika Batuan Pada Sumur DRF-1 .....	65
5.2.1. Analisis In-Situ Stress (Minimum Horizontal Stress dan Maximum Horizontal Stress) .....	65
5.2.2. Analisis Shear Failure Gradient .....	66
5.3. Analisis Tekanan Bawah Permukaan Pada Sumur DRF-2 .....	68
5.3.1. Analisis Overburden Pressure Gradient .....	68
5.3.2. Analisis Normal Pore Pressure .....	69
5.3.3. Analisis Pore Pressure Gradient .....	71
5.3.4. Analisis Fracture Pressure Gradient .....	72
5.3.5. Hasil Analisis Tekanan Bawah Permukaan Sumur DRF-2.....	74
5.4. Analisis Sifat Mekanika Batuan Pada Sumur DRF-2.....	76
5.4.1. Perhitungan In-Situ Stress (Minimum Horizontal Stress dan Maximum Horizontal Stress) .....	76
5.4.2. Perhitungan Shear Failure Gradient .....	77
5.5. Analisis Tekanan Bawah Permukaan Pada Sumur DRF-17 .....	78
5.5.1. Analisis Overburden Pressure Gradient .....	78
5.5.2. Analisis Normal Pore Pressure .....	80
5.5.3. Analisis Pore Pressure Gradient .....	81
5.5.4. Analisis Fracture Pressure Gradient .....	82
5.5.5. Hasil Analisis Tekanan Bawah Permukaan Sumur DRF-2.....	84
5.6. Analisis Sifat Mekanika Batuan Pada Sumur DRF-17 .....	85
5.6.1. Perhitungan In-Situ Stress (Minimum Horizontal Stress dan Maximum Horizontal Stress).....	85
5.6.2. Perhitungan Shear Failure Gradient .....	86
5.7. Analisis XRD (X-Ray Diffraction).....	87
5.7.1. Analisis Data XRD Sumur DRF-17 .....	88
5.7.2. Analisis Data XRD Sumur DRF-24 .....	91
5.8. Model 3D Geomekanika.....	98
5.8.1. Ketersediaan Data Seismik.....	98
5.8.2. Interpretasi Struktur Seismik.....	99

5.8.3. Konversi Struktur Waktu ke Kedalaman ( Time to Depth Conversion) .....	102
5.8.4. Seismik Atribut Tomography Sebagai Variabel Sekunder .....	102
5.8.5. Permodelan 3D Geologi .....	103
5.8.6. Pembuatan Model 3D Geomekanika.....	105
<b>BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>107</b>
6.1. Evaluasi Pressure Window Profile dan Problem Pemboran Lapangan DRF .....	107
6.1.1. Evaluasi Pressure Window Profile dan Problem Pemboran Sumur DRF-1 .....	107
6.1.2. Evaluasi Pressure Window Profile dan Problem Pemboran Sumur DRF-2 .....	112
6.1.3. Evaluasi Pressure Window Profile dan Problem Pemboran Sumur DRF-17 .....	117
6.2. Model 3D Geomekanika.....	121
<b>BAB VII KESIMPULAN .....</b>	<b>126</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>128</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>132</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Data Densitas Batuan (Zoback, 2007.).....	14
Tabel 3.2 Konversi satuan American-Metric dalam prediksi tekanan bawah permukaan (Zhang, 2011)....	18
Tabel 3.3 Stress Regime Pada Berbagai Jenis Patahan (Zoback, 2007.) .....	30
Tabel 3.4 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lubang Bor (Pasic, et al. 2007) .....	38
Tabel 4.1 Data Sumur Yang Tersedia Pada Lapangan DRF .....	51
Tabel 5.1 Variasi Nilai Salinitas dan Gradien Tekanan Hidrostatik (INTEQ, 1996).....	59
Tabel 5.2 Data Poisson Ratio Sumur DRF-1 .....	62
Tabel 5.3 Data Poisson Ratio Sumur DRF-2.....	73
Tabel 5.4 Data Poisson Ratio Sumur DRF-17.....	83
Tabel 5.5 Mineral Lempung Teridentifikasi (Pertamina, 2013).....	90
Tabel 5.6 List Sampel Pada Sumur DRF-24 .....	91
Tabel 6.1 Problem Pemboran Pada Sumur DRF-1 .....	104
Tabel 6.2 Data Mud Weight Actual Sumur DRF-1 .....	107
Tabel 6.3 Data Mud Weight Recommended Sumur DRF-1 .....	108
Tabel 6.4 Problem Pemboran Pada Sumur DRF-2.....	109
Tabel 6.5 Data Mud Weight Actual Sumur DRF-2.....	111
Tabel 6.6 Data Mud Weight Recommended Sumur DRF-2 .....	112
Tabel 6.7 Problem Pemboran Pada Sumur DRF-17.....	114
Tabel 6.8 Data Mud Weight Actual Sumur DRF-17 .....	116
Tabel 6.9 Data Mud Weight Recommended Sumur DRF-17 .....	117

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Lokasi Penelitian (Pertamina, 2015) .....	2
Gambar 2.1 Kerangka Tektonik Regional Cekungan Jawa Timur Utara (Pertamina-Amerada Hess Indonesia, 1999 dalam Pertamina, 2015).....	7
Gambar 2.2 Elemen Tektonik Regional Cekungan Jawa Timur Utara (Pertamina-Amerada Hess Indonesia, 1999 dalam Pertamina, 2015).....	8
Gambar 2.3 Kolom Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara (Pringgopawiro, 1983).....	10
Gambar 3.1 Profil Tekanan Bawah Permukaan (INTEQ, 1996.).....	11
Gambar 3.2 Interval Transit Time Vs Depth – Sonic Log (INTEQ, 1996.) .....	19
Gambar 3.3 Shale Resistivity Vs Depth (INTEQ, 1996.) .....	20
Gambar 3.4 Harga Poisson's ratio pada berbagai litologi (Zoback, 2006) .....	25
Gambar 3.5 Skema Shear Stress dan Normal Stress (Fjaer, 1992) ...	26
Gambar 3.6 Skema Strain (Fjaer, 1992).....	27
Gambar 3.7 Besar Ketiga Stress Utama dan Arah Rekahan (Fjaer, 1992) .....	27
Gambar 3.8 Perhitungan Poisson Ratio (Fjaer, 1992).....	28
Gambar 3.9 Kondisi Patahan dan Sifatnya (Zoback, 2007).....	30
Gambar 3.10 Harga Mud Weight Yang Optimal (Li, et al. 2012 dalam Berg 2012) .....	36
Gambar 3.11 Mud Window Without Rock Mechanical Properties (Pertamina, 2012).....	37
Gambar 3.12 Mud Window With Rock Mechanical Properties (Pertamina, 2012).....	37
Gambar 3.13 Kondisi pemboran pada daerah yang mengalami rekahan	

	alami atau tersesarkan (Pasic et al. 2007) .....	39
Gambar 3.14	Kondisi pemboran pada daerah yang tertekan secara tektonik (Pasic et al. 2007) .....	40
Gambar 3.15	Ketidakstabilan lubang bor pada litologi shale akibat tekanan disekitar lubang pemboran (Bradley, 1979 dalam Fjaer, 1992) .....	41
Gambar 3.16	Ketidakstabilan lubang bor akibat runtuhnya lubang pemboran ( Last dan McLean, 1995 dalam Nauroy, 2011) .....	42
Gambar 3.17	Efek dari berat lumpur pemboran terhadap stress disekitar lubang pemboran (Pasic et al. 2007).....	43
Gambar 3.18	Pipe Sticking (Prassl, 2003) .....	45
Gambar 3.19	Skema X-Ray Diffraction (Wilson, 1987 dalam Pertamina, 2013).....	49
Gambar 4.1	Diagram Alir Penelitian.....	56
Gambar 5.1	Log densitas hasil analisis menggunakan metode miller sumur DRF-1 yang telah digabung dengan log densitas asli (track kiri), serta data log densitas asli dan log densitas miller (kanan) .....	57
Gambar 5.2	Hasil perhitungan OBG, track kiri merupakan log RHOB, track kanan merupakan OBG dengan satuan ppg pada sumur DRF-1 .....	58
Gambar 5.3	Hasil evaluasi normal pore pressure pada sumur DRF-1 ..	59
Gambar 5.4	Hasil analisis gradien tekanan pori metode Eaton dengan eksponen Eaton 3 (garis merah PP pada track kedua) pada sumur DRF-1 . .....	61
Gambar 5.5	Hasil analisis Fracture gradient ditunjukkan dengan kurva berwarna biru pada track kedua pada sumur DRF-1 .....	62
Gambar 5.6	Overpressure zone pada Cekungan Jawa Timur Utara secara regional (Ramdhan, et al. 2013) .....	63
Gambar 5.7	Hasil analisis tekanan bawah permukaan pada sumur DRF-1. Oval berwarna biru merupakan zona	

	overpressure, sedangkan kotak merah adalah kurva fracture gradient dan LOT/FIT .....	64
Gambar 5.8	Hasil analisis maximum horizontal stress (SHG) dengan kurva berwarna orange dan minimum horizontal stress (ShG) dengan kurva berwarna ungu tua pada sumur DRF-1 .....	66
Gambar 5.9	Hasil analisis shear failure gradient (SFG) dengan kurva berwarna kuning pada sumur DRF-1 .....	67
Gambar 5.10	Log densitas asli dengan kurva berwarna ungu (track kiri), track kanan merupakan log densitas hasil analisis menggunakan metode miller pada sumur DRF-2.....	68
Gambar 5.11	Hasil perhitungan OBG, track kiri merupakan log RHOB, track kanan merupakan OBG dengan satuan ppg pada sumur DRF-2 .....	69
Gambar 5.12	Hasil evaluasi normal pore pressure pada sumur DRF-2 ..	70
Gambar 5.13	Hasil analisis gradien tekanan pori metode Eaton dengan eksponen Eaton 0.4 (garis merah PP pada track kedua) pada sumur DRF-2. ....	72
Gambar 5.14	Hasil analisis Fracture gradient ditunjukkan dengan kurva berwarna biru (track pertama) pada sumur DRF-2.....	74
Gambar 5.15	Hasil analisis tekanan bawah permukaan pada sumur DRF-2. Oval berwarna biru merupakan zona overpressure, sedangkan kotak merah adalah kurva fracture gradient dan LOT/FIT .....	75
Gambar 5.16	Hasil analisis maximum horizontal stress (SHG) dengan kurva berwarna orange dan minimum horizontal stress (ShG) dengan kurva berwarna hijau pada sumur DRF-2 ..	77
Gambar 5.17	Hasil analisis shear failure gradient (SFG) dengan kurva berwarna kuning pada sumur DRF-2 .....	78
Gambar 5.18	Log densitas asli dengan kurva berwarna ungu (track kiri), track kanan merupakan log densitas hasil analisis menggunakan metode miller (kurva berwarna kuning)	



	pada sumur DRF-17 .....	79
Gambar 5.19	Hasil perhitungan OBG, track kiri merupakan log RHOB, track kanan merupakan OBG dengan satuan ppg pada sumur DRF-17 .....	80
Gambar 5.20	Hasil evaluasi normal pore pressure pada sumur DRF-17.	81
Gambar 5.21	Hasil analisis gradien tekanan pori metode Eaton dengan eksponen Eaton 0.4 (garis merah pada track kedua) pada sumur DRF-17. ....	82
Gambar 5.22	Hasil analisis Fracture gradient yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru (track pertama) pada sumur DRF-17	83
Gambar 5.23	Hasil analisis tekanan bawah permukaan pada sumur DRF-17. Oval berwarna biru merupakan zona overpressure .....	84
Gambar 5.24	Hasil analisis maximum horizontal stress (SHG) dengan kurva berwarna orange dan minimum horizontal stress (ShG) dengan kurva berwarna hitam pada sumur DRF-17	86
Gambar 5.25	Hasil analisis shear failure gradient (SFG) dengan kurva berwarna kuning pada sumur DRF-17 .....	87
Gambar 5.26	Pola Difraksi Sinar X Perlakuan Angin Kering (air dry) Kedalaman 970 ft sampel sumur DRF-17 .....	88
Gambar 5.27	Pola Difraksi Sinar X Perlakuan Ethylene Glycol Kedalaman 970 ft sampel sumur DRF-17 .....	89
Gambar 5.28	Pola Difraksi Sinar X Perlakuan Angin Kering (air dry) Kedalaman 3100 ft sampel sumur DRF-17 .....	89
Gambar 5.29	Pola Difraksi Sinar X Perlakuan Ethylene Glycol Kedalaman 3100 ft sampel sumur DRF-17 .....	90
Gambar 5.30	Grafik XRD Sampel Formasi Lidah .....	92
Gambar 5.31	Grafik XRD Sampel Formasi Mundu .....	92
Gambar 5.32	Grafik XRD Sampel Formasi Ledok .....	93
Gambar 5.33	Grafik XRD Sampel Formasi Wonocolo .....	93
Gambar 5.34	Grafik XRD Sampel Formasi Ngrayong .....	94

Gambar 5.35	Grafik XRD Sampel Formasi Tuban .....	94
Gambar 5.36	Pie Chart Kehadiran Mineral Lempung Pada Sampel Formasi Lidah.....	95
Gambar 5.37	Pie Chart Kehadiran Mineral Lempung Pada Sampel Formasi Mundu .....	96
Gambar 5.38	Pie Chart Kehadiran Mineral Lempung Pada Sampel Formasi Ledok.....	96
Gambar 5.39	Pie Chart Kehadiran Mineral Lempung Pada Sampel Formasi Wonocolo .....	97
Gambar 5.40	Pie Chart Kehadiran Mineral Lempung Pada Sampel Formasi Ngrayong .....	97
Gambar 5.41	Pie Chart Kehadiran Mineral Lempung Pada Sampel Formasi Tuban.....	98
Gambar 5.42	Basemap data seismik dan seismik yang digunakan pada lapangan DRF (kotak berwarna merah) .....	99
Gambar 5.43	Hasil picking major dan minor fault pada lapangan DRF.	100
Gambar 5.44	Pola arah umum struktur geologi Jawa Timur Utara menurut Musliki (1991) .....	100
Gambar 5.45	Hasil picking horizon pada Inline 6350 yang melalui Sumur DRF-1 dan DRF-17 .....	101
Gambar 5.46	Hasil picking horizon pada Xline 12890 yang melalui Sumur DRF-1 dan DRF-17 .....	101
Gambar 5.47	Kenampakan Seismik Atribut Tomography .....	103
Gambar 5.48	Langkah – langkah Pembuatan Model 3D Geologi.....	104
Gambar 5.49	Model Struktur Lapangan DRF .....	104
Gambar 5.50	Model 3D Geologi Lapangan DRF .....	105
Gambar 5.51	Langkah - langkah permodelan 3D Geomekanika .....	106
Gambar 5.52	Variogram yang digunakan (kiri) dan Atribut Seismik Tomografi (kanan).....	106
Gambar 6.1	Pressure window sumur DRF-1 (track kanan) dari hasil analisa menggunakan DrillWork Software.....	108

Gambar 6.2	Hasil analisis safe operating pressure window pada sumur DRF-1 kedalaman 2500ft menggunakan DrillWork Software.....	111
Gambar 6.3	Hasil analisis safe operating pressure window pada sumur DRF-1 kedalaman 5000ft menggunakan DrillWork Software .....	112
Gambar 6.4	Pressure window sumur DRF-2 (track kanan) dari hasil analisa menggunakan DrillWork Software. ....	113
Gambar 6.5	Hasil analisis safe operating pressure window pada sumur DRF-2 kedalaman 2500ft menggunakan DrillWork Software.....	116
Gambar 6.6	Hasil analisis safe operating pressure window pada sumur DRF-2 kedalaman 5400ft menggunakan DrillWork Software .....	116
Gambar 6.7	Pressure window sumur DRF-17 (track kanan) dari hasil analisa menggunakan DrillWork Software. ....	118
Gambar 6.8	Hasil analisis safe operating pressure window pada sumur DRF-17 kedalaman 1500ft menggunakan DrillWork Software.....	120
Gambar 6.9	Hasil analisis safe operating pressure window pada sumur DRF-17 kedalaman 3600ft menggunakan DrillWork Software .....	121
Gambar 6.10	Hasil Permodelan 3D Geomekanika Lapangan DRF Untuk Properti Pore pressure.....	122
Gambar 6.11	Penampang Model Berarah Barat Daya - Timur Laut untuk Formasi Mundu dan Ledok (Kiri) dan Formasi Wonocolo, Ngrayong dan Tuban (Kanan).....	123
Gambar 6.12	Hasil Model Properti Pore Pressure Sumuran. Track I Merupakan Lithologi, Track II Merupakan data Log Properti dan Track II Merupakan Hasil Model 3D Sumuran .....	123

Gambar 6.13 Hasil Permodelan 3D Geomekanika Menggunakan Metode Blind Test Untuk Properti Pore pressure.....	124
Gambar 6.14 Penampang Model Berarah Barat Daya - Timur Laut untuk Formasi Mundu dan Ledok (Kiri) dan Formasi Wonocolo, Ngrayong dan Tuban (Kanan) Menggunakan Metode Blind Test.. .....	125
Gambar 6.15 Hasil Model Properti Pore Pressure Metode Blind Test. Track I Merupakan Lithologi, Track II Merupakan data Log Properti dan Track III Merupakan Hasil Model 3D Sumuran.....	125