

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
SURAT IJIN PENGGUNAAN DATA .....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
SARI.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xx
DAFTAR TABEL.....	xx
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Lokasi Penelitian .....	3
1.5. Batasan Penelitian .....	4
1.6. Luaran Penelitian .....	4
1.7. Penelitian Terdahulu.....	5
1.8. Manfaat dan Keaslian Penelitian .....	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Geologi Regional Cekungan Tarakan.....	7
2.1.1. Tektonik Regional Cekungan Tarakan.....	7
2.1.2. Tatanan Struktur regional.....	10
2.1.3. Stratigrafi Cekungan Tarakan.....	13
2.1.4. Sejarah Sedimentasi Cekungan Tarakan.....	17
2.2. Terminologi Dasar Tekanan Bawah Permukaan.....	18
2.2.1. Tekanan Pori/ <i>Pore pressure</i> .....	19
2.2.2. Tekanan Normal/ <i>Hydrostatic pressure</i> .....	19

2.2.3 Tekanan <i>Overburden</i> .....	20
2.2.4. Tekanan Efektif.....	20
2.2.5. Tekanan <i>Fracture</i> .....	21
2.2.6. Tekanan Abnormal / <i>Overpressure</i> .....	21
2.2.6.1. Mekanisme Pembebanan ( <i>Loading</i> ).....	22
2.2.6.2. Mekanisme Non-Pembebanan ( <i>Unloading</i> ).....	23
2.3. Metode Prediksi Tekanan Pori.....	25
2.3.1. Metode Prediksi Tekanan Pori Eaton.....	26
2.3.2. Mendeteksi Karakteristik <i>Overpressure</i> Menggunakan Data Sumur..	27
2.3.2.1. Respon Data Log Terhadap Mekanisme <i>Loading</i> .....	28
2.3.2.2. Respon Data Log Terhadap Mekanisme <i>Unloading</i> .....	29
2.3.3. Prediksi Tekanan Pori Menggunakan Data Seismik.....	31
2.3.4. Definisi Kecepatan.....	32
<b>BAB 3. HIPOTESIS DAN METODE PENELITIAN</b> .....	34
3.1. Hipotesis.....	34
3.2. Data Dan Peralatan.....	34
3.2.1. ....	34
Data.....	
3.    3.2.1. ....	37
Peralatan.....	
3.3. Tahapan Penelitian.....	37
3.3.1. Tahap Pengumpulan Data .....	37
3.3.2. Tahap Pengolahan Data .....	38
3.3.3. Tahap Penyajian Data dan Analisis.....	39
3.3.4. Diagram Alir Penelitian Data .....	39
<b>BAB 4. PENYAJIAN DAN ANALISIS DATA PENELITIAN</b> .....	41
4.1. Batuan Induk dan Hidrokarbon.....	41
4.2. Reservoir Daerah Penelitian.....	43
4.3. Struktur Daerah Penelitian.....	44
4.4. Pemodelan Tekanan Pori.....	52
4.4.1. Menghitung Faktor Eksponen Eaton dan Kalibrasi Data Tekanan.....	52

4.4.2. Pemodelan Kecepatan Terhitung.....	61
4.4.2.1. Pemodelan Kecepatan Data Seismik.....	63
4.4.2.2. Pemodelan Kecepatan Menggunakan Data Checkshot.....	65
4.4.2.3. Kalibrasi Hasil Pemodelan Kecepatan.....	66
4.4.3. Menghitung Nilai Kecepatan Normal.....	69
4.4.4. Menghitung Nilai Tekanan Normal / <i>Hydrostatic Pressure</i> .....	72
4.4.5. Menghitung Nilai <i>Overburden Pressure</i> .....	73
4.4.6. Menghitung Nilai Tekanan Pori Menggunakan Metode Eaton.....	74
BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	78
5.1. Struktur Daerah Penelitian.....	78
5.2. Prediksi Tekanan Pori Daerah Penelitian .....	81
5.3. Mekanisme Geologi Penyebab Overpressure di Daerah Penelitian .....	89
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN.....	103
DAFTAR PUSTAKA.....	104

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1.</b> Nilai tekanan terhadap kedalaman di Sumur “B” menunjukkan terjadi kenaikan tekanan pori yang signifikan/overpressure mulai Formasi Umur Pliosen (Target Finder Ltd., 2007). .....	2
<b>Gambar 1.2.</b> Nilai tekanan terhadap kedalaman di Sumur “D” tidak menunjukkan kenaikan tekanan pori yang signifikan mulai Formasi Umur Pliosen, nilainya naik normal sesuai pertambahan kedalaman (Target Finder Ltd., 2007).....	2
<b>Gambar 1.3.</b> Lokasi penelitian di Area “Pandawa”, Cekungan Tarakan, Kalimantan, ditandai dengan garis warna merah (Google Earth, 2015).....	4
<b>Gambar 2.1.</b> Lokasi Cekungan Tarakan dan Sub- Cekungan Tarakan, geometrinya relatif berarah barat-timur dan terbagi atas 4 Sub-Cekungan , yaitu Sub-Cekungan Tidung, Tarakan, Berau dan Muara (Pertamina- BPPKA, 1997).....	8
<b>Gambar 2.2.</b> Kerangka tektonik regional Kalimantan dan Sulawesi yang menunjukkan sejarah pembukaan Cekungan Tarakan yang menjadi tren arah struktur regional (Pertamina-BPPKA, 1997).....	9
<b>Gambar 2.3.</b> Penampang seismik regional yang menunjukkan struktur sesar normal, growth fault dan sesar mendatar banyak ditemui di Cekungan Tarakan (Noon dkk, 2003).....	12
<b>Gambar 2.4.</b> Stratigrafi regional Cekungan Tarakan. Objektif utama penelitian adalah Formasi Tarakan Umur Pliosen (Heriyanto dkk,1992)....	15
<b>Gambar 2.5.</b> Perbandingan pola pengendapan pada Formasi Pliosen dan Pleistosen (Pertamina-BPPKA, 1997).....	17
<b>Gambar 2.6.</b> Kurva yang menunjukkan hubungan antara tekanan hidrostatik, tekanan overburden, tekanan pori dan overpressure terhadap kedalaman (Dutta, 2002)....	19
<b>Gambar 2.7.</b> Perbedaan respon tekanan terhadap beberapa mekanisme pembentuk overpressure, mulai dari kondisi normal, mekanisme pembebanan dan mekanisme non pembebanan (Bowers, 2002).....	23

<b>Gambar 2.8.</b> Efek dari pemanasan terhadap kenaikan tekanan pori, dimana jika dipanaskan maka tekanan pori akan meningkat (Osborne dan Swarbrick, 1998).....	25
<b>Gambar 2.9.</b> Kurva normal compaction trend (NCT) dari log porositas yang digunakan untuk melakukan estimasi besaran overpressure (Ramdhan, 2011).....	28
<b>Gambar 2.10.</b> Pola data log yang menunjukkan karakteristik overpressure yang disebabkan oleh mekanisme loading, yang ditandai dengan tegasan efektif relatif konstan seiring dengan bertambahnya kedalaman (Bowers dan Katsube, 2002 dalam Ramdhan, 2011).....	29
<b>Gambar 2.11.</b> Pola data log yang menunjukkan karakteristik overpressure yang disebabkan oleh mekanisme unloading, ditandai dengan tegasan efektif yang berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman pada zona overpressure (Bowers dan Katsube, 2002 dalam Ramdhan, 2011).....	30
<b>Gambar 2.12.</b> Pengaruh undercompaction dan unloading terhadap plot kecepatan dan tekanan efektif memperlihatkan asumsi hubungan empiris antara tekanan efektif dengan kecepatan (Bowers, 1995)..	31
<b>Gambar 2.13.</b> Deskripsi perhitungan kecepatan rata-rata / average velocity, dimana nilainya didapatkan dari total jarak dibagi total waktu penjalaran gelombang yang melewati suatu medium (dimodifikasi dari Sheriff dan Geldart, 2006).....	32
<b>Gambar 2.14.</b> Deskripsi perhitungan kecepatan interval / interval velocity, nilainya diperoleh dengan membagi jarak dengan waktu pada tiap lapisan geologi (dimodifikasi dari Sheriff dan Geldart, 2006).....	33
<b>Gambar 3.1.</b> Data seismik 3D Area “Pandawa” dengan luas area 30 km x 30 km, telah melalui pengolahan data sampai tahap PSTM (Pre Stack Time Migration).....	35
<b>Gambar 3.2.</b> Data stacking velocity seismik 3D Area “Pandawa”, produk dari pengolahan data seismik dengan interval 500 m x 500 m.....	36
<b>Gambar 4.1.</b> Batuan sumber dari sumur “B” & “D” yang menunjukkan nilai TOC 2 % dan HI rata-rata 150 mgHC/gTOC (Studi internal, tidak	42

dipublikasikan).	43
<b>Gambar 4.2.</b> Gradien geotermal Cekungan Tarakan yang nilainya bervariasi dari rentang 3°/100m sampai dengan 5°/100m (Corelab, 1996). Daerah penelitian ditandai dengan kotak merah..	45
<b>Gambar 4.3.</b> Data log sumur A mulai dari Formasi Umur Pliosen yang memperlihatkan kualitas reservoir daerah penelitian. Nilai porositas rata - rata 25% dan permeabilitas umumnya melebihi 1 Darcy. ..	46
<b>Gambar 4.4.</b> Data log sumur B mulai dari Formasi Umur Pliosen-Miosen yang memperlihatkan kualitas reservoir daerah penelitian. Nilai porositas rata - rata 25% dan permeabilitas umumnya melebihi 1 Darcy.....	47
<b>Gambar 4.5.</b> Data log sumur D mulai dari Formasi Umur Pliosen yang memperlihatkan kualitas reservoir daerah penelitian. Nilai porositas rata - rata 25% dan permeabilitas umumnya melebihi 1 Darcy... ..	48
<b>Gambar 4.6.</b> Struktur regional di Cekungan Tarakan menunjukkan tren patahan turun dan listrik sebagai akibat gaya pemekaran, daerah penelitian terletak di kotak merah (Corelab, 1996).... ..	49
<b>Gambar 4.7.</b> Penampang seismik regional arah barat-timur yang memperlihatkan struktur regional di Cekungan Tarakan, menunjukkan tren patahan turun dan listrik (Hidayati, 2007). .....	50
<b>Gambar 4.8.</b> Well seismic tie di Area “Pandawa” dari sumur “B” memperlihatkan korelasi yang baik antara sintetik seismogram dengan data seismik. ....	51
<b>Gambar 4.9.</b> Interpretasi horison dan sesar arah barat- timur dari data seismik yang memperlihatkan sesar turun akibat dari gaya peregangan regional, menyebabkan ruang akumulasi sedimen tebal. ....	52
<b>Gambar 4.10.</b> Interpretasi horison dan sesar arah utara- selatan dari data seismik memperlihatkan delapan horison yang telah diinterpretasi di Area “Pandawa”. .....	53
<b>Gambar 4.11.</b> Data tekanan aktual untuk mengkalibrasi model tekanan di sumur A yang meliputi data berat lumpur (mudweight), data Leak Off Test (LOT), tes perforasi, tes tekanan, data casing, dan total gas. ....	

<b>Gambar 4.12.</b> Data tekanan aktual untuk mengkalibrasi model tekanan di sumur B yang meliputi data berat lumpur (mudweight), data Leak Off Test (LOT), tes perforasi, tes tekanan, data casing, dan total gas. ....	54
<b>Gambar 4.13.</b> Data tekanan aktual untuk mengkalibrasi model tekanan di sumur D yang meliputi data berat lumpur (mudweight), data Leak Off Test (LOT), tes perforasi, tes tekanan, data casing, dan total gas. ....	55
<b>Gambar 4.14.</b> Proses pemisahan data log batupasir dengan batulempung untuk mendapatkan data hanya di lapisan batulempung, diharapkan dari sifatnya yang impermeabel akan terekam sejarah overburden yang mencerminkan tekanan porinya. ....	57
<b>Gambar 4.15.</b> Hasil plot log sonic-log resistivitas memperlihatkan tren NCT untuk masing masing log, dimana dari plot terlihat tren kompaksi kecepatan dan resistivitas normalnya. ....	58
<b>Gambar 4.16.</b> Hasil perhitungan prediksi tekanan litostatik, tekanan hidrostatik, dan tekanan pori dari data sumur menggunakan persamaan Eaton(1975). ....	59
<b>Gambar 4.17.</b> Data tekanan aktual sumur meliputi data berat lumpur (mudweight), data Leak Off Test (LOT), tes perforasi, tes tekanan, data casing, dan total gas untuk mengkalibrasi data prediksi tekanan dari data sumur. ....	59
<b>Gambar 4.18.</b> Proses kalibrasi data sumur untuk mendapatkan koefisien Eaton, dilakukan dengan mengatur sedemikian rupa agar nilai prediksi tekanan nilainya mendekati nilai tekanan aktual, didapatkan nilai koefisien 2, resistivitas bernilai 1. ....	61
<b>Gambar 4.19.</b> Data stacking velocity seismik 3D Area “Pandawa” hasil dari pemrosesan data seismik yang digunakan sebagai data primer pada pemodelan tekanan pori. ....	64
<b>Gambar 4.20.</b> Data interval velocity seismik 3D Area “Pandawa” hasil dari konversi menggunakan metode Dix yang telah dipandu dari model geologi hasil interpretasi seismik. ....	65
<b>Gambar 4.21.</b> Data interval velocity hasil dari pemodelan menggunakan	66

data checkshot di Area “Pandawa”, dengan melakukan upscaling kecepatan rata-rata setiap sumur didistribusikan dengan teknik co-kriging menggunakan tren dari kecepatan rata-rata hasil perhitungan dari stacking velocity. . . . .	
<b>Gambar 4.22.</b> Data interval velocity di Area “Pandawa” setelah dikalibrasi menggunakan data kecepatan checkshot sumur sebagai data final kecepatan sebagai masukan utama pada pemodelan tekanan pori. ....	68
<b>Gambar 4.23.</b> Proses perhitungan untuk mendapatkan volume dalam domain kedalaman dengan mengalikan data volume kecepatan final dengan data volume dalam domain waktu. . . . .	69
<b>Gambar 4.24.</b> Data volume kecepatan normal di Area “Pandawa” yang merupakan asumsi data kecepatan normal tanpa adanya anomali, dimana nilainya bertambah sesuai dengan pertambahan kedalaman. ....	71
<b>Gambar 4.25.</b> Data volume tekanan normal di Area “Pandawa” yang dihasilkan dari perkalian antara volume kedalaman dengan faktor kemiringan 0.433 psi/ft. ....	72
<b>Gambar 4.26.</b> Data volume densitas di Area “Pandawa” yang didapatkan dengan mengalikan volume kecepatan pada persamaan hubungan kecepatan-densitas. ....	75
<b>Gambar 4.27.</b> Data volume tekanan overburden di Area “Pandawa” yang didapatkan menggunakan persamaan Terzaghi dengan mengalikan volume densitas terhadap percepatan gravitasi ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ).....	76
<b>Gambar 4.28.</b> Data volume prediksi tekanan pori di Area “Pandawa” yang didapatkan dengan menghitung semua volume model tekanan litostatik, tekanan hidrostatik, kecepatan normal dan kecepatan terhitung ke dalam persamaan Eaton (1975),setelah dikalibrasi dengan data tekanan aktual. . . . .	77
<b>Gambar 5.1.</b> Peta struktur waktu marker Early Pliocene-3 di Area “Pandawa” memperlihatkan kompartemen struktur yang dipisahkan sesar mayor eskensial berarah baratdaya-timurlaut. ....	79
<b>Gambar 5.2.</b> Peta struktur waktu marker Early Pliocene-2 di Area	80



“Pandawa” memperlihatkan kompartemen struktur yang dipisahkan sesar mayor eskensial berarah baratdaya-timurlaut. ....	
<b>Gambar 5.3.</b> Peta struktur waktu marker Early Pliocene-1 di Area	81
“Pandawa” memperlihatkan kompartemen struktur yang dipisahkan sesar mayor eskensial berarah baratdaya-timurlaut. ....	
<b>Gambar 5.4.</b> Penampang melintang kecepatan interval diantara sumur B-A-E-D-P yang memperlihatkan gambaran distribusi nilai kecepatan interval secara vertikal dan horizontal. Garis putus-putus menunjukkan batas Formasi Umur Pliosen yang menjadi objektif penelitian. ....	83
<b>Gambar 5.5.</b> Penampang melintang tekanan pori dengan satuan tekanan psi diantara sumur B-A-E-D-P , terdapat perbedaan karakter tekanan pori dimana area timur relatif tinggi mulai dari umur Pliosen Awal, sedangkan di area barat nilai tekanan pori relatif rendah ketika memasuki umur Pliosen Awal. Garis putus-putus menunjukkan kedalaman top overpressure. ....	84
<b>Gambar 5.6.</b> Penampang tekanan pori dengan satuan tekanan mudweight diantara sumur B-A-E-D- P terdapat perbedaan karakter tekanan pori dimana area timur relatif tinggi mulai dari umur Pliosen Awal, sedangkan di area barat nilai tekanan pori relatif rendah ketika memasuki umur Pliosen Awal. Garis putus-putus menunjukkan kedalaman top overpressure. ....	85
<b>Gambar 5.7.</b> Slice dari volume penampang tekanan pori 3D mulai pada interval Pliose Awal memperlihatkan distribusi zona tekanan pori yang nilainya tinggi pada area sumur “A” dan “B”, sedangkan pada area sumur “C”-“P” nilainya relatif rendah. ....	86
<b>Gambar 5.8.</b> Slice dari volume penampang tekanan pori 3D mulai dari interval Pliosen Akhir memperlihatkan distribusi zona tekanan pori yang nilainya tinggi pada area sumur “A” dan “B”, sedangkan pada area sumur “C”-“P” nilainya relatif rendah. ....	87
<b>Gambar 5.9.</b> Profil prediksi tekanan pori sumur “P” dengan membuat ekstraksi profil tekanan pori dari volume tiga dimensi tekanan pori,	89

diprediksi terdapat 3 zona yang berpotensi terdapat kenaikan tekanan pori.	
<b>Gambar 5.10.</b> Respon tekanan efektif terhadap dua mekanisme utama <i>overpressure</i> (Bowers, 2002).	91
<b>Gambar 5.11.</b> Skema hubungan tekanan efektif-kecepatan untuk menjelaskan kondisi tekanan normal, mekanisme <i>loading</i> dan <i>unloading</i> (Bowers, 2002).	91
<b>Gambar 5.12.</b> Plot data tekanan pori, kecepatan, dan tekanan efektif terhadap kedalaman pada sumur B yang menunjukkan terdapat 3 tren berbeda, yaitu tren normal, tren <i>loading</i> dan tren <i>unloading</i> .	93
<b>Gambar 5.13.</b> Plot data tekanan pori, kecepatan, dan tekanan efektif terhadap kedalaman pada sumur A yang menunjukkan terdapat 3 tren berbeda, yaitu tren normal, tren <i>loading</i> dan tren <i>unloading</i> .	94
<b>Gambar 5.14.</b> Daerah penelitian yang berwarna kotak merah diendapkan pada lingkungan delta, yang memungkinkan terjadinya sedimentasi yang cepat sehingga menyebabkan kondisi <i>overpressure</i> (Corelab, 1996).	95
<b>Gambar 5.15.</b> Peta <i>paleogross</i> lingkungan pengendapan di Cekungan Tarakan, daerah penelitian yang berwarna kotak merah diendapkan pada lingkungan prodelta, yang memungkinkan terjadinya sedimentasi yang cepat sehingga menyebabkan kondisi <i>overpressure</i> (Studi internal, tidak dipublikasikan).	96
<b>Gambar 5.16.</b> Peta ketebalan regional Formasi Pliosen, garis putus-putus menunjukkan batas area penelitian, yang termasuk area dengan Formasi Pliosen yang sangat tebal di Cekungan Tarakan (Studi internal, tidak dipublikasikan).	97
<b>Gambar 5.17.</b> Gradien geotermal Cekungan Tarakan (Corelab, 1996) daerah penelitian ditandai dengan kotak merah, nilai gradien untuk sumur B adalah 3.1 (Corelab, 1996).	99
<b>Gambar 5.18.</b> Data log sumur “B pada kedalaman 2000-2800m pada kedalaman dimulainya top <i>overpressure</i> , tepatnya pada tren kenaikan tekanan pori kedua, tidak terdapat indikasi adanya hidrokarbon.	100
<b>Gambar 5.19.</b> Data log sumur “B pada kedalaman diatas 3000m atau	100

tepatnya pada tren kenaikan tekanan pori ketiga, terlihat bahwa ketika terdapat terdapat indikasi adanya hidrokarbon. ....

**Gambar 5.20.** Peta ketebalan efektif batuan sumber di Cekungan 101

Tarakan. Daerah penelitian ditandai dengan kotak warna merah dekat dengan Sub-cekungan yang diharapkan sebagai suplai utama penghasil hidrokarbon di Cekungan Tarakan. ....

## DAFTAR GRAFIK

<b>Grafik 4.1.</b> Crossplot sebelum kalibrasi terlihat tren perbedaan antara kecepatan interval dengan kecepatan seismik yang masih lebar. . . . .	67
<b>Grafik 4.2.</b> Crossplot setelah kalibrasi mendapatkan tren perbedaan antara kecepatan interval sumur dengan seismik yang tidak terlalu lebar. . . . .	68
<b>Grafik 4.3.</b> Crossplot antara volume kedalaman dengan volume kecepatan interval terkalibrasi. . . . .	70
<b>Grafik 4.4.</b> Crossplot hubungan antara kecepatan dengan densitas dari data sumur menggunakan persamaan Gardner untuk mendapatkan volume densitas, didapatkan densitas. . . . .	73

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1.</b> Kelengkapan data sumur Area “Pandawa” . . . . .	36
<b>Tabel 3.2.</b> Kelengkapan data tekanan Area “Pandawa” . . . . .	36
<b>Tabel 4.1.</b> Kedalaman top overpressure di Area “Pandawa” . . . . .	56