

**PEMODELAN PREDIKSI TEKANAN PORI MENGGUNAKAN  
METODE EATON'S BERDASARKAN DATA *INTERVAL*  
*VELOCITY* PADA LAPANGAN HIDROKARBON “ERTIGA”,  
CEKUNGAN SUMATERA SELATAN**

(Skripsi)

Oleh

**M. REZA SYAPUTRA**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA  
2017**

## **ABSTRACT**

### **PORE PRESSURE PREDICTION MODELLING USING EATON'S METHOD BASED ON INTERVAL VELOCITY DATA ON HIDROKARBON FIELD "ERTIGA", SOUTH SUMATRA BASIN**

By

**M. REZA SYAPUTRA**

Pore pressure prediction is important in exploration and drilling processes. Pore pressure prediction is used to optimize drilling of exploration wells, such as well casing design, drilling mud weight estimation, and anticipation for mitigation of drill disaster due to overpressure zone and abnormal pressure. The determination of conventional pore pressure used only wireline log data, making the pore pressure obtained was only limited vertically and could not determine the value of pressure laterally. Thus, velocity data derived directly from the seismic data was required to transformed it into pressure using the method developed by Eaton's to obtain a vertical and lateral pressure distribution. The ERTIGA field has a high enough pressure value contrast from the Gumai Formation seal rock to the Miocene Carbonate reservoir rock in the Baturaja Formation. The results of pore pressures showed the 2D and 3D pressure distribution which used as a reference in optimizing the drilling process at the South Sumatra Basin ERTIGA Field. Based on the results of interpatation and analysis, the result of pore pressure prediction was 1D and 2D in the range of values of 1583.277 to 2438.162 psi at wells TK-01, then 1628.075 to 2923.607 psi at TK-02 wells, and 1579.984 to 2336.721 psi at TK-04 wells. So that the drilling process at Ertiga Field of Sumatera Selatan Basin can run well and optimally.

Keywords :Pore Pressure, Overpressure, Eaton's method, Velocity derived from seismic.

## **ABSTRAK**

# **PEMODELAN PREDIKSI TEKANAN PORI MENGGUNAKAN METODE EATON’S BERDASARKAN DATA *INTERVAL VELOCITY* PADA LAPANGAN HIDROKARBON “ERTIGA”, CEKUNGAN SUMATERA SELATAN**

Oleh

**M. REZA SYAPUTRA**

Prediksi tekanan pori merupakan sesuatu yang penting dalam proses eksplorasi dan pengeboran. Prediksi tekanan pori digunakan untuk optimalisasi pengeboran sumur-sumur eksplorasi, seperti perencanaan *casing design* sumur, estimasi berat lumpur pengeboran, dan antisipasi untuk mitigasi terhadap bencana pengeboran akibat zona *overpressure* dan *abnormal pressure*. Proses dalam penentuan tekanan pori secara konvensional hanya menggunakan data *wireline logs*, menjadikan tekanan pori yang didapatkan hanya terbatas secara vertikal dan tidak bisa menentukan nilai tekanan secara lateral. Maka, dibutuhkan data kecepatan yang diturunkan langsung dari data seismik yang mempunyai resolusi lateral yang kemudian ditransformasikan kedalam tekanan menggunakan metode yang dikembangkan oleh Eaton’s untuk mendapatkan distribusi tekanan secara vertikal dan lateral. Lapangan ERTIGA memiliki kontras nilai tekanan yang cukup tinggi dari batuan *seal* Formasi Gumai menuju batuan reservoir Miocene Karbonat pada Formasi Baturaja. Hasil dari tekanan pori akan menunjukkan distribusi tekanan secara 2D dan 3D yang nantinya akan digunakan sebagai referensi dalam mengoptimalkan proses pengeboran pada Lapangan ERTIGA Cekungan Sumatera Selatan. Berdasarkan hasil interpretasi dan analisis didapatkan hasil prediksi tekanan pori secara 1D dan 2D pada kisaran nilai 1583.277 sampai 2438.162 psi pada sumur TK-01, kemudian 1628.075 sampai 2923.607 psi pada sumur TK-02, dan 1579.984 sampai 2336.721 psi pada sumur TK-04. Sehingga proses pengeboran pada Lapangan Ertiga Cekungan Sumatera Selatan dapat berjalan dengan baik dan optimal.

Kata Kunci : Tekanan Pori, *Overpressure*, Eaton’s, Kecepatan Seismik.

**PEMODELAN PREDIKSI TEKANAN PORI MENGGUNAKAN  
METODE EATON’S BERDASARKAN DATA *INTERVAL  
VELOCITY* PADA LAPANGAN HIDROKARBON “ERTIGA”,  
CEKUNGAN SUMATERA SELATAN**

**Skripsi**

**Oleh**

**M. REZA SYAPUTRA**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**KEMENTRIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2017**

Judul Skripsi

: **PEMODELAN PREDIKSI TEKANAN PORI  
MENGUNAKAN METODE EATON'S  
BERDASARKAN DATA *INTERVAL VELOCITY*  
PADA LAPANGAN HIDROKARBON "ERTIGA"  
CEKUNGAN SUMATERA SELATAN**

Nama Mahasiswa

: **M. Reza Syaputra**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315051034

Jurusan

: Teknik Geofisika

Fakultas

: Teknik

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

**Bagus Sapte Mulyatno, S.Si., M.T.**  
NIP 19700120 200003 1 001

**Karyanto, S.Si., M.T.**  
NIP 19691230 199802 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

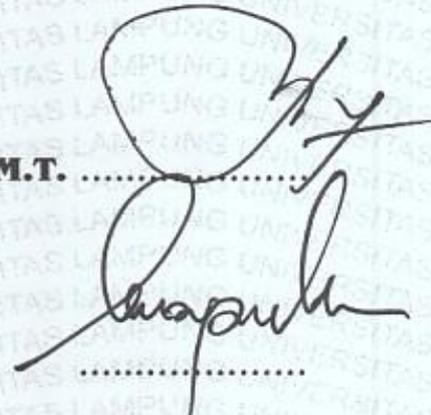
**Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.**  
NIP 19720912 199903 1 001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua**

**: Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.** .....



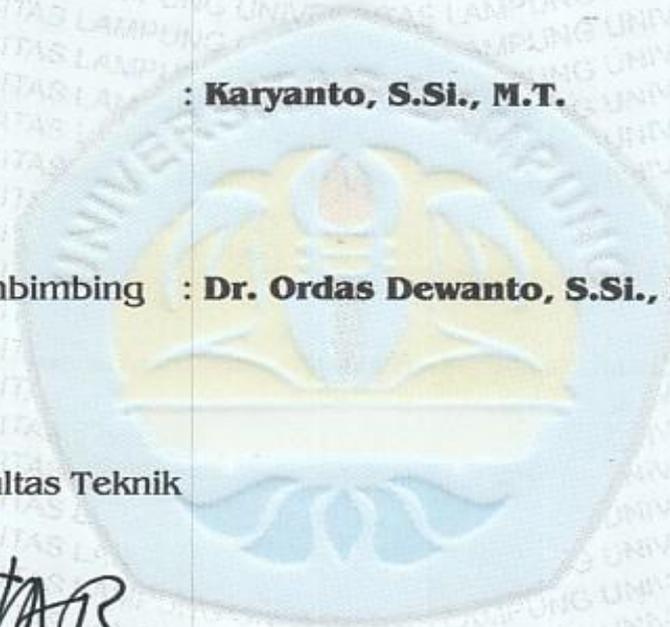
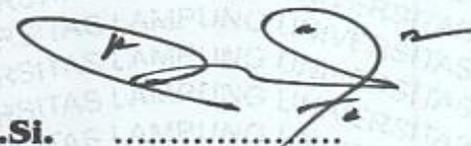
**Sekretaris**

**: Karyanto, S.Si., M.T.** .....

**Penguji**

**Bukan Pembimbing**

**: Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.** .....



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Dr. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.**

**NIP 19620717 198730 1 002** 

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 28 Agustus 2017**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 28 Agustus 2017

Yang Membuat Pernyataan,



**M. Reza Saputra**  
NPM. 1315051034

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di desa Teluk Kual, Kabupaten Tebo Provinsi Jambi pada tanggal 10 Agustus 1995, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Syafri dan Ibu Sumarniati. Penulis mengawali pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 06/VIII Teluk Kual, Kabupaten Tebo Provinsi Jambi dan diselesaikan pada tahun 2007. Penulis melanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 2 Tebo, Provinsi Jambi, yang diselesaikan pada tahun 2010, kemudian pada tahun 2013 penulis menyelesaikan Sekolah Menengah Atas yang ditempuh di SMA Negeri 2 Tebo, Provinsi Jambi.

Pada tahun 2013 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur ujian tulis SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif menjadi Eksekutif Muda (Eksmud) di BEM FT (Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik) periode 2013/2014. Selain itu juga Penulis aktif dalam organisasi kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HIMA TG BHUWANA) pada tahun 2014/2015 sampai periode tahun 2015/2016 sebagai anggota dan komisi disiplin bidang Kaderisasi. Pada tahun

2015/2016 penulis juga aktif sebagai anggota *American Association of Petroleum Geologist* (AAPG UNILA SC) dan anggota *Society Exploration of Geophysicist* (SEG SC UNILA). Dan jabatan yang terakhir dipegang oleh penulis adalah diamanahkan menjadi Wakil Presiden *American Association of Petroleum Geologist* Universitas Lampung Student Chapter, serta dewan istimewa HIMA TG BHUWANA. Selama menjadi Mahasiswa juga, penulis pernah diamanahkan menjadi Asisten Praktikum mata kuliah geologi dasar, eksplorasi geolistrik, dan eksplorasi geomagnetik,

Pada tanggal 13 September – 7 Oktober 2016, penulis menjalani Kerja Praktek (KP) di PT. Pertamina UTC (*Upstream Technology Center*), Jakarta tentang pengolahan data metode seismik dengan judul **“Pengolahan Data Seismik 2D Land Pre-Stack Time Migration pada Cekungan Jawa Timur Menggunakan Software Omega 2015”**. Kemudian pada bulan Februari 2017 melakukan penelitian sebagai bahan penyusunan Tugas Akhir (TA) di PT. Pertamina EP fungsi Paku Gajah Development Project (PGDP), Jakarta Selatan dan mengambil tema penelitian tentang penentuan *Pore Pressure* dan *Overpressure* bawah permukaan. Hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada tanggal 28 Agustus 2017 dengan skripsi yang berjudul **“Pemodelan Prediksi Tekanan Pori Menggunakan Metode Eaton’s Berdasarkan data Interval Velocity pada Lapangan Hidrokarbon ERTIGA, Cekungan Sumatera Selatan”**.

## PERSEMBAHAN



ATAS RIDHO ALLAH SWT DAN DENGAN SEGALA KERENDAHAN HATI

KUPERSEMBAHKAN KARYA KECIL INI KEPADA:

*Bapakku tercinta SYAFRI dan Ibuku tersayang SUMARNIATI, terimakasih untuk setiap pengorbanan, peluh keringat, kesabaran, kasih dan sayang, serta doa yang tiada henti untuk kesuksesanku, karena tiada kata seindah lantunan doa dan tiada doa yang paling khusyuk selain doa yang terucap dari kedua orang tua. terimalah persembahan bakti dan cintaku untuk bapak dan ibu tercinta.*

*Adik-adik ku tersayang, RISKA RIA RAHMANIA dan ROSSA ANISYA PUTRI*

*Seluruh Keluarga Besar ku yang selalu mendoakan dan mendukung serta menantikan keberhasilanku.*

TEKNIK GEOFISIKA UNIVERSITAS LAMPUNG 2013  
KELUARGA BESAR TEKNIK GEOFISIKA UNIVERSITAS LAMPUNG  
ALMAMATER TERCINTA UNIVERSITAS LAMPUNG

## MOTTO

**“Orang besar bukan orang yang otaknya sempurna, tetapi orang yang mengambil sebaik-baiknya dari otak yang tidak sempurna”**

**(Rasulullah SAW)**

**“Jangan takut jatuh, karena yang tidak pernah memanjatlah yang tidak pernah jatuh. Jangan takut gagal, karena yang tidak pernah gagal hanyalah orang-orang yang tidak pernah melangkah. Jangan takut salah, karena dengan kesalahan yang pertama kita dapat menambah pengetahuan untuk mencari jalan yang benar pada langkah kedua”**

**(Buya Hamka)**

**“Dua hari yang terpenting dalam hidup adalah hari dimana anda dilahirkan dan hari dimana anda menemukan alasan dari hal tersebut”**

**(Mark Twain)**

**“Berbuat baik, dan bermanfaat bagi semua”**

**(Penulis)**

**“Supayo disisik disiangi dengan teliti, dak ado silang yang idak sudah, dak ado kusut yang idak selesai”**

**(Penulis)**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi ini mengangkat judul “**Pemodelan Prediksi Tekanan Pori Menggunakan Metode Eaton’s Berdasarkan Data *Interval Velocity* pada Lapangan Hidrokarbon ERTIGA, Cekungan Sumatera Selatan**”. Skripsi ini merupakan hasil penelitian Tugas Akhir yang penulis laksanakan di PT Pertamina EP Fungsi Paku Gajah Development Project (PGDP) dan Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan Skripsi ini. Penulis pun menyadari masih terdapat kekurangan di dalam Skripsi ini, sehingga sangat diharapkan dan ditunggu kritik dan saran yang membangun. Semoga semua yang tertulis di dalam Skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada siapapun, baik kalangan umum maupun akademisi untuk kemajuan ilmu pengetahuan serta kedaulatan Energi Negeri.

**Penulis**

**M. Reza Syaputra**

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan ridho-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Pemodelan Prediksi Tekanan Pori Menggunakan Metode Eaton’s Berdasarkan Data *Interval Velocity* pada Lapangan Hidrokarbon ERTIGA, Cekungan Sumatera Selatan**”. Penulis berharap, karya yang merupakan wujud kerja dan pemikiran maksimal serta didukung dengan bantuan dan keterlibatan berbagai pihak ini akan dapat bermanfaat di kemudian hari.

Banyak pihak yang terlibat dalam dan memberikan kontribusi ilmiah, spiritual, dan informasi baik secara langsung maupun tidak langsung hingga terbentuk skripsi ini. Pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. **Allah SWT**, Tuhan Yang Maha Esa. Berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis diperkenankan untuk menimba ilmu hingga saat ini sehingga dapat menyusun dan menyelesaikan Skripsi ini dengan baik.
2. Kedua Orang tua penulis **Bapak Syafri** dan **Ibu Sumarniati** yang selalu memberikan doa, dukungan, cinta, semangat dan kepercayaan dalam bentuk lahir maupun batin. Terima kasih untuk semua yang sudah diberikan, semoga Allah SWT selalu melindungi dan memberkahi.
3. Adik-adik ku, **Riska Ria Rahmania** dan **Rossa Anisya Putri**, terima kasih untuk semangat dan canda tawa nya, semoga Abang bisa selalu menjaga dan menjadi contoh yang baik untuk kalian.
4. Bapak **Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
5. Bapak **Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika yang telah memberikan motivasi selama masa perkuliahan.

6. Bapak **Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.**, selaku Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang selalu memberi support, motivasi serta banyak membantu selama proses perkuliahan dan penyusunan Skripsi ini, sehingga dapat lebih baik lagi.
7. Bapak **Karyanto, S.Si., M.T.**, selaku Pembimbing II yang telah memberikan ilmu, nasehat, saran dan koreksi-koreksi pada penulisan skripsi ini.
8. Bapak **Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.**, selaku Penguji yang selalu memberikan ilmu, kritikan, saran dan nasehat dalam proses penyelesaian skripsi.
9. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung, **Bapak Syamsurijal Rasimeng., S.Si., M.Si., Bapak Karyanto, S.Si., M.T., Bapak Dr. H. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si., Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D., Bapak Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T., Bapak Alimuddin Muchtar, M.Si., Bapak Rustadi, M.T., Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T., Bapak Nandi H., M.Si., Bapak I Gede Boy, M.Eng., Bapak Rahmat Catur W, M.Eng., dan Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.**, yang telah memberikan ilmu yang luar biasa.
10. **PT Pertamina EP Fungsi Paku Gajah Development Project (PGDP)**, yang telah memberikan kesempatan, fasilitas dan data penelitian yang menunjang keberhasilan penulis dalam melakukan penelitian Tugas Akhir.
11. Bapak **Yudi Herdiana** selaku pembimbing lapangan di Pertamina EP yang banyak memberikan pengetahuan, wawasan, serta motivasi untuk terus berkarya dan menyelesaikan Skripsi ini.
12. **Keluargaku**, Saudara seperjuangan **Teknik Geofisika Angkatan 2013**, terima kasih telah memberi semangat, dukungan dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini. Teruntuk **Egi, Dwi, Wuri, Kholilur, Abdi, Feni, Reza, Shiska, Nafis, Atikah, Ulfa, Farkhan, Suryadi, Kurnia, Nico, Aji, Widia, Yeni, Noris, Aloy, Fajri, Udin, Alicya, Dian, Endah, Harris, Herlin, Hanun, Eci, Nur Syabana, Ravide, Edy, Winda, Rafi, Cahaya, Imbron, Deswita, Dody, Yasrifa, Bunga, Pipit, Priesta, Putu, Ririn, Ryan, Helton, Haidar dan Agung**. Kalian adalah candu, warna dan cerita baru yang akan selalu menjadi bagian terpenting bagi hidup penulis. **Terima Kasih**.

13. **Sahabatku, Zona Nyaman TG'13, Kholil, Nafis, Aloy, Egi, Dwi, Ujep, Niko, Edy, Putu, Ryan, Kurnia, Udin, Fajar, Bujang Harris, Aji, Farkhan, Pak Komti Suryadi, Sule, Wuri, Bunga, Winda, Eci, Shiska dan Deswita** yang selalu memberikan semangat dan motivasinya, karena kalian adalah tempat berbagi Kafein walau hanya secangkir, dan tempat berbagi Nikotin walau hanya sebatang.
14. **Wuri Andari**, Terima kasih telah menjadi tempat curhat yang teduh dan tempat bersandar yang tangguh, Sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
15. Teman seperjuangan pengerjaan Tugas Akhir Pertamina EP, **Yeni Yunita, Daanah Caesaria, Chandra Darmawan, Khoirun Nisa dan Rosa Linda Mahadita** yang telah banyak membantu dan memberikan motivasi untuk menyelesaikan penelitian Tugas Akhir.
16. **Khodijah Hanun dan Yeni Yunita** teman seperjuangan tugas akhir Tekanan Pori di Jurusan. Terima kasih atas ilham dan *sharing*-annya.
17. Bang **Edo Pratama, S.T.**, dan Bang **Raynaldo Aristiawan P, S.T.**, Duo Jambi yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan menjadi “Abang” yang baik di tanah rantau ini.
18. **Aditya Hari Prabowo, Toni Munandar, Rendra Taufik, M. Ghofir S dan Kania Khadafi Putra**, Sahabat dan Keluarga kosan yang selalu memberi dukungan serta canda tawa.
19. Kakak-kakak serta adik tingkat Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya banggakan.
20. Dan semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua.

Bandar Lampung, Agustus 2017  
**Penulis**

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRACT</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	vii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ix
<b>MOTTO</b> .....	x
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>SANWACANA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	3
C. Batasan Masalah Penelitian .....	4
D. Manfaat Penelitian .....	4

## II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Lokasi Daerah Penelitian .....	5
B. Cekungan Sumatera Selatan.....	6
1. Kerangka Tektonik .....	6
2. Struktur Geologi Regional.....	7
3. Stratigrafi Regional .....	8
C. Petroleum System Cekungan Sumatera Selatan.....	13
1. Batuan Induk ( <i>Source Rock</i> ).....	13
2. Kematangan ( <i>Maturity</i> ) .....	14
3. Batuan Reservoir.....	14
4. Batuan Penutup.....	15
5. Jenis Perangkap .....	15
6. Waktu dan Migrasi .....	16

## III. TEORI DASAR

A. Konsep Tekanan .....	17
1. Tekanan Hidrostatik .....	18
2. Tekanan <i>Overburden</i> .....	18
3. <i>Fracture Pressure</i> (Tegasan Horizontal Minimum).....	19
4. Tekanan Efektif .....	19
5. Tekanan Pori.....	20
B. Mekanisme Terjadinya Tekanan Bawah Permukaan .....	21
1. <i>Loading</i> .....	21
2. <i>Unloading</i> .....	22
C. Mekanisme dan proses operasional pengeboran .....	24
1. <i>Background Gas</i> .....	24
2. <i>Conection Gas</i> .....	25
3. Runtuhan ( <i>Caving</i> ) .....	25
4. Sirkulasi Hilang ( <i>loss circulation</i> ).....	25
5. <i>Kick</i> .....	25
6. <i>Blowout</i> .....	26
D. Data <i>Logging While Drilling</i> (LWD) .....	26

1. Log Gamma Ray.....	26
2. Log Porositas Densitas .....	27
3. Log Sonik .....	28
E. Data <i>Wireline Formation Tester</i> .....	30
F. DST ( <i>Drill Steam Test</i> ) .....	31
G. <i>Mud Logging Unit</i> .....	32
1. <i>Mudweight</i> .....	32
2. <i>Gas While Drilling</i> .....	32
H. Metode Prediksi Tekanan Pori .....	34
1. Metode Eaton (1975).....	34
2. Metode Bowers (1995).....	37
3. Metode <i>Equivalent Depth</i> .....	37
H. Definisi Kecepatan Seismik .....	38
1. Kecepatan RMS ( $V_{rms}$ ) .....	38
2. Kecepatan interval ( $V_{int}$ ) .....	39
3. Kecepatan rata-rata ( $V_{avg}$ ).....	39

#### IV. METODELOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	41
B. Perangkat .....	42
C. Data Penelitian .....	42
1. Data <i>Stacking Velocity XYZ</i> .....	42
2. Data Sumur .....	43
3. Geologi Regional.....	43
4. Data <i>Marker</i> Regional .....	44
D. Pengolahan Data.....	45
1. Penentuan Prediksi Tekanan Pori Berdasarkan Data Sumur .....	45
2. Penentuan Prediksi Tekanan Pori Berdasarkan Data Kecepatan Seismik .....	47
E. Diagram Alir .....	49

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan kecepatan.....	51
B. Pemodelan tekanan pori.....	54
1. Perhitungan tekanan <i>overburden</i> .....	54
2. Perhitungan tekanan efektif.....	56
3. Perhitungan Tekanan Pori.....	58
C. Analisis prediksi tekanan berdasarkan data sumur.....	60
1. Sumur TK-01.....	60
2. Sumur TK-02.....	62
3. Sumur TK-04.....	64
D. Analisis prediksi tekanan pori berdasarkan data kecepatan Seismik.....	66
1. Lintasan seismik Inline 1082 dan Xline 5122 (Sumur TK-01).....	66
2. Lintasan seismik inline 1114 dan Xline 5042 (sumur TK-02).....	68
3. Lintasan seismik Inline 1034 dan Xline 5082 (Sumur TK-04 dan TK-05).....	71
4. Lintasan Seismik Xline 5082 (Sumur TK-03 dan TK-04).....	73

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	75
B. Saran.....	76

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Lokasi daerah penelitian .....	5
<b>Gambar 2.</b> Peta tektonik cekungan sumatera selatan .....	6
<b>Gambar 3.</b> Struktur geologi regional cekungan sumsel.....	8
<b>Gambar 4.</b> Stratigrafi regional cekungan sumatera selatan .....	10
<b>Gambar 5.</b> Arah migrasi dan kemungkinan perangkap pada Formasi Talang akar dan Baturaja.....	16
<b>Gambar 6.</b> Play Hidrokarbon pada bagian utara dan tengah .....	16
<b>Gambar 7.</b> Konsep tekanan bawah permukaan .....	17
<b>Gambar 8.</b> Prinsip Terzaghi tentang tekanan efektif .....	20
<b>Gambar 9.</b> Mekanisme penyebab <i>overpressure</i> akibat <i>undercompaction</i> .....	21
<b>Gambar 10.</b> Mekanisme penyebab <i>overpressure</i> akibat <i>unloading</i> .....	23
<b>Gambar 11.</b> Log Gamma Ray .....	26
<b>Gambar 12.</b> Kurva sonik terhadap kedalaman.....	30
<b>Gambar 13.</b> Grafik <i>pressure vs time</i> pengukuran <i>Wireline formation tester</i> .....	30
<b>Gambar 14.</b> Grafik <i>pressure vs time</i> pada pengukuran DST.....	32
<b>Gambar 15.</b> Deteksi <i>overpressure</i> dengan <i>liberated gas</i> .....	33

<b>Gambar 16.</b> Ilustrasi Metode Eaton.....	36
<b>Gambar 17.</b> Perbandingan kecepatan interval dan rms .....	40
<b>Gambar 18.</b> Data <i>stacking velocity</i> .....	43
<b>Gambar 19.</b> Horison waktu dari <i>marker</i> regional.....	44
<b>Gambar 20.</b> Diagram alir .....	50
<b>Gambar 21.</b> Kecepatan Interval (a) dan kecepatan rata-rata (b) yang dihitung menggunakan persamaan Dix's dari data <i>stacking velocity</i> .....	53
<b>Gambar 22.</b> Perhitungan tekanan <i>overburden</i> berdasarkan data sumur ...	55
<b>Gambar 23.</b> Pemodelan 3D tekanan <i>overburden</i> .....	55
<b>Gambar 24.</b> Perhitungan tekanan efektif berdasarkan data sumur .....	57
<b>Gambar 25.</b> Pemodelan 3D tekanan efektif.....	57
<b>Gambar 26.</b> Perhitungan tekanan pori berdasarkan data sumur .....	59
<b>Gambar 27.</b> Pemodelan 3D Tekanan pori .....	59
<b>Gambar 28.</b> Plot prediksi tekanan pori dan berat lumpur pengeboran Terhadap kedalaman pada sumur TK-01 .....	61
<b>Gambar 29.</b> Plot prediksi tekanan pori dan berat lumpur pengeboran terhadap kedalaman pada sumur TK-02 .....	63
<b>Gambar 30.</b> Plot prediksi tekanan pori dan berat lumpur pengeboran terhadap kedalaman pada sumur TK-04 .....	65
<b>Gambar 31.</b> Penampang tekanan pori pada Inline 1082 (a) Xline 5122 (b), dan melewati sumur TK-01 .....	68
<b>Gambar 32.</b> Penampang tekanan pori pada Inline 1114 (a) Xline 5042 (b), dan melewati sumur TK-02.....	70

<b>Gambar 33.</b> Penampang tekanan pori pada Inline 1034 (a)	
Xline 5082 (b), dan melewati sumur TK-04 dan TK-05 .....	72
<b>Gambar 34.</b> Penampang tekanan pori pada Xline 5082, dan melewati	
sumur TK-04 dan TK-03 .....	74

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Pelaksanaan Kegiatan Penelitian.....	39
<b>Tabel 2.</b> Kelengkapan data Sumur.....	41

## **I. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Industri minyak dan gas bumi memegang peranan penting dalam perkembangan ekonomi dunia, dan menunjang pembangunan setiap negara. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil memicu kegiatan eksploitasi secara terus menerus, sehingga diperlukan kegiatan eksplorasi yang dapat mempertahankan produksi minyak dan gas bumi secara konstan untuk kepentingan kedepan.

Ketersediaan cadangan minyak dan gas bumi menurun dari waktu ke waktu, sampai tahun 2016 cadangan Minyak bumi di Indonesia hanya mampu bertahan selama 12 tahun dan gas bumi selama 37.8 tahun (SKKMIGAS, 2016). Hal ini tentu akan menjadi masalah yang besar jika tidak ditanggulangi dengan cepat dan tepat mengingat kebutuhan yang sangat besar terhadap sumber daya alam tersebut, dan eksplorasi merupakan ujung tombak dan salah satu solusi untuk terus memenuhi kebutuhan akan sumber daya alam tersebut.

Keberhasilan dalam kegiatan eksplorasi didukung oleh banyak faktor, seperti persiapan teknikal yang matang, logistik yang tepat, serta persiapan non teknis lainnya. Persiapan teknikal meliputi aspek-aspek geologi dan geofisika yang

menghasilkan analisa secara komprehensif tentang prospek suatu lapangan sebelum dilakukannya pengeboran.

Salah satu aspek teknikal yang harus dipersiapkan secara matang adalah keakuratan dalam memprediksi tekanan pori, menurut Siregar dkk. (2013) dimana tekanan pori merupakan tekanan yang diakibatkan oleh “fluida” yang terperangkap didalam batuan, hasil dari prediksi tekanan pori disuatu wilayah eksplorasi dapat dipergunakan untuk berbagai keperluan seperti analisis migrasi hidrokarbon, kapasitas tudung perangkap, kemampuan suatu reservoir dan konektivitasnya, analisa dari bahaya pengeboran serta proses perencanaan casing sumur. Ketepatan dalam memprediksi tekanan pori juga akan sangat berpengaruh terhadap waktu pengeboran, estimasi lumpur pengeboran, biaya, dan keselamatan.

Prediksi tekanan pori secara konvensional dilakukan berdasarkan data logging yaitu log *sonic*, densitas, gamma ray dan resistivitas, kelemahan dari penggunaan data logging untuk melakukan prediksi tekanan pori adalah prediksi hanya bisa dilakukan pada interval kedalaman data sumur tersebut, dan hanya mampu melakukan prediksi secara vertikal, sedangkan nilai prediksi dan distribusi tekanan secara lateral tidak bisa diketahui, dan tidak bisa mengevaluasi dan mengoptimalkan pengeboran untuk sumur eksplorasi berikutnya (Sayers, dkk, 2002).

Salah satu metode yang digunakan dalam kegiatan eksplorasi adalah metode seismik refleksi. Metode seismik refleksi ini selain digunakan untuk melakukan pencitraan bawah permukaan pada kegiatan eksplorasi, dapat juga digunakan pada tahapan produksi dan prediksi tekanan pori. Prediksi tekanan pori menggunakan

metode seismik refleksi di lakukan dengan menurunkan nilai kecepatan ( $V_{rms}$ ) untuk mendapatkan kecepatan interval ( $V_{int}$ ) setiap lithologi, metode seismik sangat diandalkan karena kemampuan menampilkan kondisi bawah permukaan secara lateral maupun vertikal dengan baik.

Penelitian ini dilakukan pada lapangan “ERTIGA” yang masuk kedalam cekungan Sumatera Selatan dan difokuskan pada formasi Gumai dan Baturaja, dimana formasi Gumai dengan lithologi utama *shale* (serpih) yang berfungsi sebagai *seal* (tudung) terindikasi mempunyai tekanan pori yang abnormal, dan formasi Baturaja dengan lithologi utama berupa *limestone* (Gamping) yang berfungsi sebagai reservoir hidrokarbon.

Berdasarkan hal diatas, penelitian ini dilakukan untuk membuat model prediksi tekanan pori pada lapangan “ERTIGA” untuk mengetahui penyebaran tekanan secara lateral dan vertikal pada daerah tersebut, serta mengoptimalkan kegiatan pengeboran sumur eksplorasi dengan menggunakan kecepatan interval ( $V_{int}$ ) yang diturunkan dari data seismik refleksi yang kemudian ditransformasikan menjadi tekanan pori.

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan tekanan pori pada formasi Gumay dan Baturaja menggunakan data *velocity interval* dan data log gamma ray, densitas, serta sonic.
2. Mengestimasi penggunaan berat lumpur pengeboran pada sumur eksplorasi berdasarkan hasil tekanan pori.

3. Menganalisis distribusi tekanan secara lateral dan vertikal.

### **C. Batasan Masalah Penelitian**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah melakukan pemodelan prediksi tekanan pori pada daerah sumur eksplorasi menggunakan metode Eaton's berdasarkan data *Velocity Interval*, Log Sonic, gamma ray, dan densitas, yang kemudian divalidasi dengan data tekanan langsung DST (*Drill Steam Test*) dan berfokus pada formasi Gumai dan Baturaja.

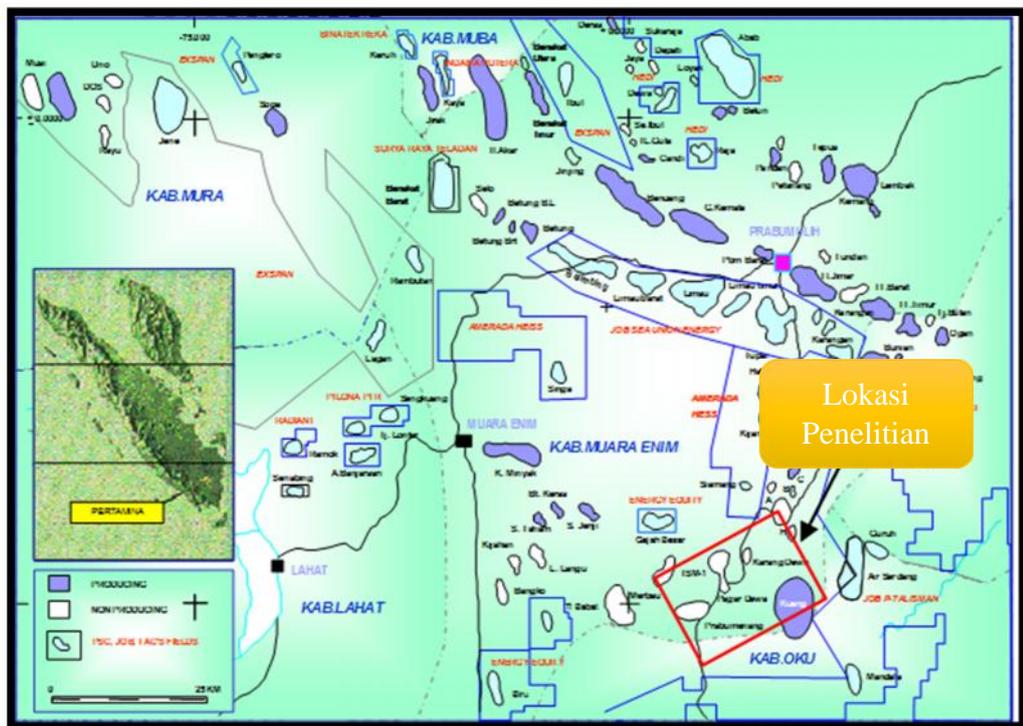
### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian adalah hasil dari pemodelan dan prediksi tekanan pori pada lapangan ERTIGA dapat dijadikan sebagai acuan dalam melakukan pengeboran dan estimasi lumpur pengeboran pada sumur eksplorasi selanjutnya dalam satu area yang sama.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Lokasi daerah penelitian

Lapangan “ERTIGA” yang menjadi daerah penelitian dalam Tugas Akhir ini terletak di cekungan Sumatera Selatan (*South Sumatera Basin*). Cekungan ini terletak dibagian selatan pulau Sumatera, dibatasi oleh Pegunungan Tigapuluh di bagian Utara, Pegunungan Bukit Barisan disebelah Barat, serta tinggian Palembang dan Lampung di bagian Timur.

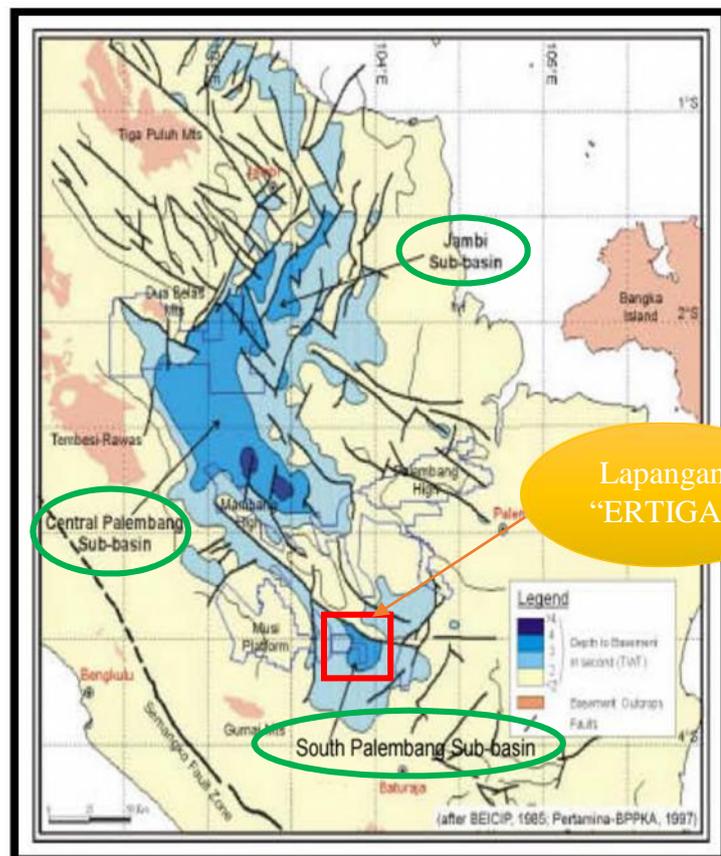


Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian (Pertamina, 2016)

## B. Cekungan Sumatera Selatan

### 1. Kerangka Tektonik

Cekungan Sumatera Selatan adalah cekungan busur belakang berumur Miosen Tengah-Pleistosen yang terbagi kedalam tiga sub-cekungan besar, yaitu sub-cekungan Jambi, sub-cekungan Palembang Tengah, dan sub-cekungan Palembang Selatan (**Gambar 2.**), kerangka tektonik dari cekungan ini didominasi oleh tiga periode tektonik yang penting, yaitu periode ekstensi pada Eosen Awal sampai Miosen Awal, periode tektonik tenang pada Miosen Awal sampai Pliosen Awal, dan periode tektonik kompresi pada Plio-Pleistosen.



**Gambar 2.** Peta Tektonik Cekungan Sumatera Selatan (Pertamina-BPPKA, 1997)

## 2. Struktur Geologi Regional

Menurut Ginger dan Fielding (2005) menjelaskan sejarah pengisian Cekungan Sumatera Selatan dengan membagi kedalam tiga fase yang mengontrol perkembangan struktur di Cekungan Sumatera Selatan yaitu sebagai berikut :

### a) *Syn-Rift Megasequence*

Sumatera Selatan mengalami fase ekstensional selama Eosen hingga Oligosen awal. Fase ekstensional ini menghasilkan pembentukan sejumlah *graben* yang memiliki geometri *half graben* dan orientasi yang dipengaruhi oleh sifat heterogenitas batuan dasar. Terdapat tiga sistem *graben* yang berkembang di Cekungan Sumatera Selatan selama fase *syn-rift* yaitu pola Jambi, pola Sunda, dan pola Sumatera.

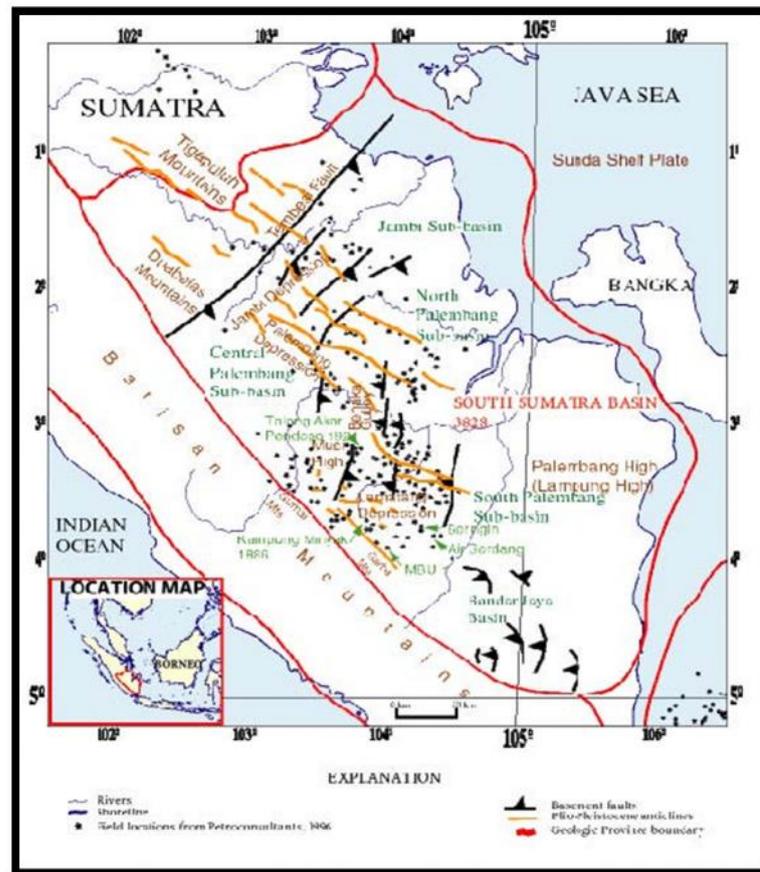
### b) *Post-Rift Megasequence*

Fase ini berlangsung sejak Oligosen hingga Miosen. Pada fase ini cekungan sudah lebih stabil dibandingkan fase sebelumnya, sehingga intensitas aktivitas tektonik mulai turun. Selama fase ini secara stratigrafi dicirikan oleh endapan *meandering fluvial* pada bagian bawah yang diikuti oleh delta dan endapan laut dangkal.

### c) *Syn-Orogenic / Inversi Megasequence*

Fase ini berlangsung selama Pliosen hingga Pleistosen, pada fase ini terjadi orogenesis Bukit Barisan dan reaktifasi sesar-sesar normal yang terbentuk selama umur Paleogen. Selain itu, pada fase ini menyebabkan terbentuknya antiklin-

Antiklin yang memiliki sumbu berorientasi barat laut-tenggara dan berperan sebagai perangkap bagi hidrokarbon,



**Gambar 3.** Struktur Geologi Regional Cekungan Sumatera Selatan (Bishop, 2001)

### 3. Stratigrafi Regional

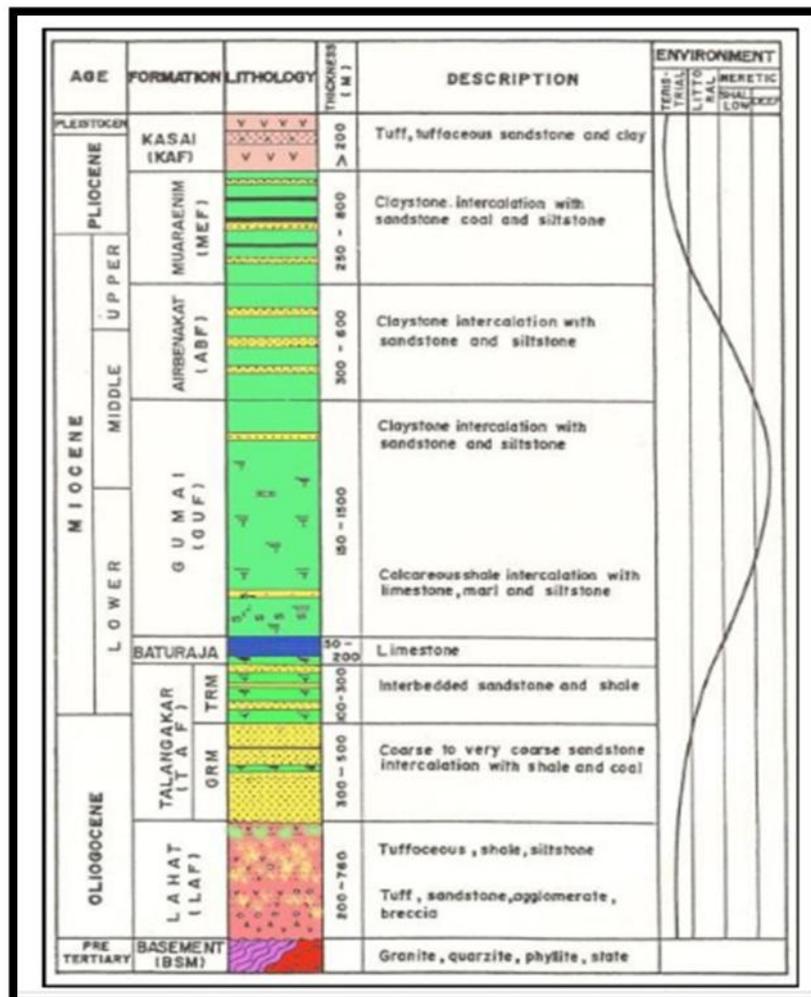
Secara umum, sedimentasi di Cekungan Sumatera Selatan merupakan suatu daur lengkap yang terdiri dari seri transgresi dan regresi (De Coster, 1974). Penjelasan dari fasa-fasa tersebut adalah sebagai berikut :

- ) Fasa Transgresi, ditandai dengan pengendapan kelompok Telisa secara tidak selaras di atas batuan dasar berumur Pra Tersier. Selama pengendapan yang terjadi pada fasa transgresi, penurunan dasar cekungan lebih cepat daripada

proses sedimentasi, sehingga terbentuk urutan fasies non marin, transisi, laut dangkal dan laut dalam (De Coster, 1974).

) Fasa Regresi, ditandai dengan pengendapan kelompok Palembang. Pada fasa ini, pengendapan lebih cepat daripada penurunan dasar cekungan, sehingga terbentuk urutan yang berkebalikan dengan fasa transgresi, yaitu fasies laut dangkal, transisi, dan non marin (De Coster, 1974).

Urutan stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan dari tua ke muda adalah Batuan dasar, Formasi Lahat, Formasi Talang Akar, Formasi Baturaja, Formasi Gumai, Formasi Air Benakat, Formasi Muara Enim, Formasi Kasai, dan Endapan Kuartar (Gambar 4.).



Gambar 4. Stratigrafi Regional Cekungan Sumatera Selatan (Bishop, 2001)

**a) Batuan Dasar**

Batuan dasar yang tersingkap di pegunungan Gumai terdiri dari dua unit batuan yang hubungan satu dengan yang lainnya tidak jelas. Kedua unit tersebut adalah Formasi Saling dan Formasi Lingsing. Formasi Saling terutama terdiri dari breksi vulkanik yang terpilah buruk, tuf dan aliran lava basaltis-andesitis, teralterasi secara hidrotermal menjadi *greenstone*. Pada formasi ini terdapat tiga perselingan batugamping *reefal* abu-abu, dengan fosil berumur Mesozoikum seperti koral *Lovcenipora* dan Gastropoda *Nerinea*. Formasi Lingsing terdiri dari serpih dan sabak abu-abu hitam dengan sisipan batuan andesitik-basaltik, rijang, dan batu gamping *Orbitulina* berumur Kapur Awal (Darman dan Sidi, 2000).

**b) Formasi Lahat**

Formasi Lahat diendapkan secara tidak selaras di atas batuan dasar, merupakan lapisan tebal mencapai 3350 m yang terdiri dari Breksi vulkanik andesitik, tuf, endapan lahar, dan aliran lava, di bagian tengah terdapat batu pasir kuarsa. Formasi terdiri dari 3 anggota yaitu

- ) Anggota Tuf Kikim Bawah
- ) Anggota Batupasir Kuarsa
- ) Anggota Tuf Kikim Atas

**c) Formasi Talang Akar**

Formasi ini diendapkan secara selaras diatas Formasi Lahat, berumur Oligosen Akhir hingga Miosen Awal. Bagian bawah formasi ini terdiri dari batupasir kasar, serpih, batu lempung, batu lanau, dan sisipan batubara. Bagian atasnya berupa

perselingan antara batupasir dan serpih. Batupasir umumnya berukuran sangat halus sampai kasar, *argillaceous* hingga *calcareous* dengan porositas dan permeabilitas yang buruk hingga baik. Formasi Talang Akar bagian bawah merupakan *reservoir* dengan kualitas paling baik di Cekungan Sumatera Selatan (Wahab dan Purnomo, 1982).

#### **d) Formasi Baturaja**

Formasi ini diendapkan secara selaras di atas Formasi Talang Akar dengan ketebalan 200 – 250 meter. Litologi terdiri dari batugamping terumbu, kalkarenit dengan sisipan serpih gampingan (Gafoer dkk., 1992). Batugamping ditemukan ditempat yang berbeda-beda didekat dasar formasi Gumai yang biasanya berkedudukan pada Formasi Baturaja. Berkembang pada fasies laut dangkal pada bagian yang lebih bawah dari serpih formasi Gumai/Telisa dan seharusnya ditetapkan sebagai anggota dari formasi ini. Permukaan singkapan dari batugamping Formasi Baturaja ditemukan diberbagai tempat disekitar Pegunungan Gumai, umur Formasi Baturaja adalah Miosen Awal (Darman dan Sidi, 2000).

#### **e) Formasi Gumai**

Nama Formasi Gumai didasarkan pada penampang sepanjang pegunungan Gumai, sementara nama Formasi Telisa didasarkan pada Sungai Telisa dekat Sarolangun, Jambi. Formasi Gumai menandai terjadinya transgresi maksimum di Cekungan Sumatera Selatan, diendapkan secara selaras diatas Formasi Baturaja pada lingkungan laut dalam.

Ketebalan Formasi Gumai sangat bervariasi, dari beberapa ratus meter hingga 3000 m. Formasi ini dikontrol oleh subsiden diferensial. Pada area cekungan yang tebal, formasi ini setara secara lateral dengan bagian atas Formasi Talang Akar, Formasi Baturaja, dan Formasi Palembang Bawah (Tobler, 1906 *op. Cit.* Darman dan Sidi, 2000).

#### **f) Formasi Air Benakat**

Formasi Air Benakat diendapkan secara selaras di atas Formasi Gumai dan karakter litologinya mencirikan awal terjadinya fasa regresi di Cekungan Sumatera Selatan. Ketebalan Formasi Air Benakat bervariasi antara 100-1300 meter dan berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir, lingkungan pengendapannya adalah laut dangkal. Formasi ini terdiri atas perselingan batulempung dengan batupasir dan sisipan batulanau. Batulempung berwarna abu-abu sampai coklat dan abu-abu kebiruan, berlapis baik dengan tebal lapisan berkisar antara 15 dan 40 cm, umumnya gampingan dan karbonatan. Ketebalan Formasi Air Benakat bervariasi antara 100 – 1000 m dan berumur Miosen Tengah sampai Miosen Akhir (Darman dan Sidi, 2000).

#### **g) Formasi Muara Enim**

Formasi Muara Enim diendapkan secara selaras di atas Formasi Air Benakat pada lingkungan laut dangkal, dataran delta dan non-marin. Litologi terdiri dari batupasir, batulanau, batulempung berfosil berwarna kuning kelabu dengan sisipan batubara mengandung oksida besi berupa kongkresi dan lapisan tipis. Ketebalan

Formasi Muara Enim mencapai 500 sampai 1000 meter, formasi ini berumur Miosen Akhir sampai Pliosen Awal (Darman dan Sidi, 2000).

#### **h) Formasi Kasai**

Formasi ini diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Muara Enim, berumur Pliosen Akhir sampai Plistosen. Litologi terdiri dari batupasir tufan dan tefra riolitik di bagian bawah. Bagian atas terdiri dari tuf pumice kaya kuarsa, batupasir, dan konglomerat, banyak dijumpai sisa tumbuhan dan lapisan tipis lignit dan kayu tersilifikasi. Litologi formasi ini merupakan hasil erosi dari Formasi yang lebih tua, dan mempunyai ketebalan 300 sampai 500 meter (Darman dan Sidi, 2000).

### **C. Petroleum System Cekungan Sumatera Selatan**

#### **1. Batuan Induk (*Source Rock*)**

Hidrokarbon di Cekungan Sumatera Selatan berasal dari batuan induk yang potensial berasal dari batulempung hitam Formasi Lemat (DeCoster, 1974), lignin (batubara), batulempung Formasi Talang Akar dan batulempung Formasi Telisa/Gumai. Formasi Lemat mengalami perubahan fasies yang cepat ke arah lateral sehingga bertindak sebagai batuan induk dengan kandungan material organik 1,2 – 3 % landaian suhu berkisar 4,8 – 5,3 derajat Celcius C/100 m, sehingga kedalaman pembentukan minyak yang komersil terdapat pada kedalaman 2000-3000 meter. Sistem pemanasan batuan induk di Cekungan Sumatera Selatan adalah akibat panas yang dihasilkan oleh bidang-bidang sesar yang terbuka pada *graben* / *half graben*, sehingga cukup untuk menghasilkan hidrokarbon. Potensi *Source Rock*

didominasi oleh tipe kerogen II/III yang berasal dari bahan tanaman, dengan minor-leptinite, alga dan komponen exinite (Laporan Internal Pertamina, 2016).

## **2. Kematangan (*Maturity*)**

Gradien geotermal rata-rata di Cekungan Sumatera Selatan adalah 2.89° F per 100 feet Dengan asumsi generasi *threshold oil* 250°F, kedalaman rata-rata atas *oil window* di Cekungan Sumatera Selatan adalah 1700 m (5600 kaki). Dengan asumsi generasi *threshold gas* 300 derajat F, kedalaman rata-rata ke window gas atas adalah sekitar pada 2300 m (7300 kaki). Kematangan hidrokarbon dari Lemat dan Formasi Talang Akar dimulai pada Miosen Akhir, yang dipengaruhi oleh aliran panas yang meningkat terkait dengan proses tektonik Miosen Akhir, dan memasuki gas window pada Pliosen atau Pliosen Akhir. Hidrokarbon yang terjebak juga mungkin kembali bermigrasi mengikuti orogeny Pliosen-Pleistosen (Laporan Internal Pertamina, 2016).

## **3. Batuan Reservoar**

Penghasil minyak dan gas utama di cekungan Sumatera Selatan adalah batupasir pada waktu Eosen-Oligosen dari Formasi Talang Akar, karbonat *reef* dari Formasi Baturaja dan batu pasir Formasi Air Benakat. Seri batupasir dari Talang Akar yang dikembangkan di bagian bawah formasi ini, sebagai hasil dari *metasediment rock leaching*. Kisaran porositas adalah 18% sampai 30%. Batuan karbonat Formasi Baturaja dapat dibagi menjadi dua kelompok seperti fasies laguna didominasi oleh foraminifera besar bentik dengan tekstur wackstones, dan fasies reefal terutama terdiri dari coral, alga merah, moluska, foraminifera besar bentonik yang

berkembang di *wackstones* atau *packstones*. Batupasir Formasi Gumai pada Miosen Awal juga terbukti sebagai penghasil minyak utama dan gas di Sumatera Selatan Basin (Pertamina, 2017). Pada Sub-cekungan Jambi, produksi terbesar terdapat pada batuan reservoir Formasi Air Benakat, Formasi Telisa/Gumai memiliki interval reservoir dan lapisan penutup bagi Reservoir Baturaja. Pada Sub-cekungan Palembang produksi minyak terbesar terdapat pada batuan Reservoir Formasi Talang Akar dan Baturaja.

#### **4. Batuan Penutup**

Intraformational Serpih dan batulempung dalam Talang Akar dan Formasi Gumai memberikan penutup utama pada batuan reservoir. Litologi serpih yang berasal dari Formasi Gumai Bawah dapat bertindak sebagai batuan penutup regional untuk target reservoir yang lebih tua (Talang Akar batupasir dan kemungkinan Baturaja Limestone). Selain itu, terjadinya perubahan fasies ke arah lateral atau adanya sesar-sesar dapat juga bertindak sebagai batuan penutup. Formasi Air Benakat dianggap sebagai batuan penutup yang kurang baik karena terdiri dari pasir dan silts.

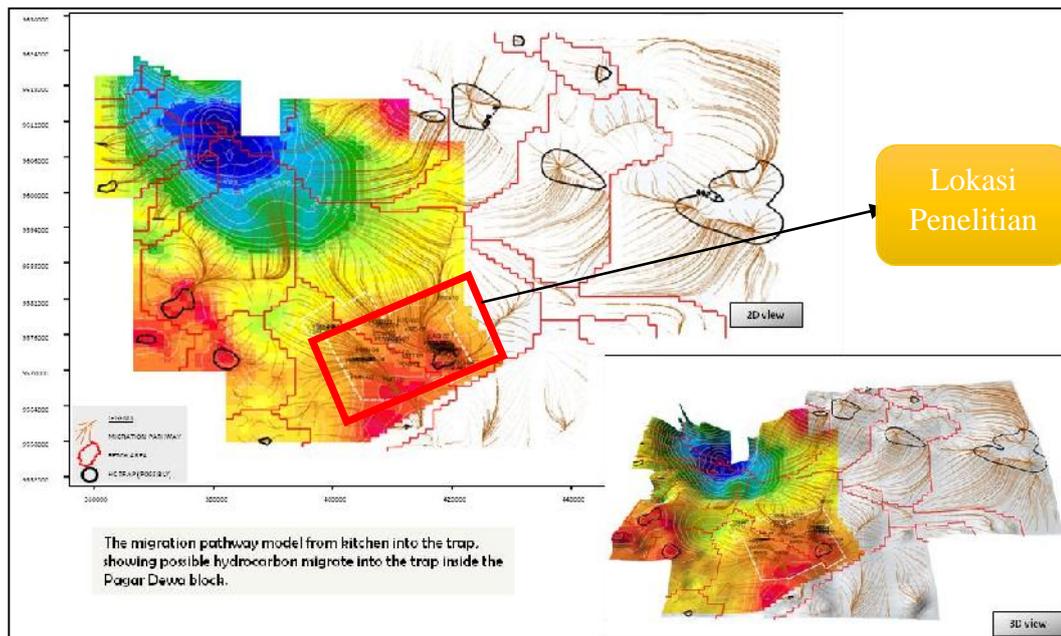
#### **5. Jenis Perangkap**

Pada umumnya perangkap hidrokarbon di Cekungan Sumatera Selatan merupakan struktur antiklinal dari suatu antiklinorium yang terbentuk pada Plio-Pleistosen seperti Formasi Palembang Tengah. Struktur sesar, baik normal maupun geser dapat bertindak sebagai perangkap minyak. Perangkap stratigrafi terjadi pada batugamping terumbu Formasi Baturaja, bentuk kipas Formasi Lemat, bentuk

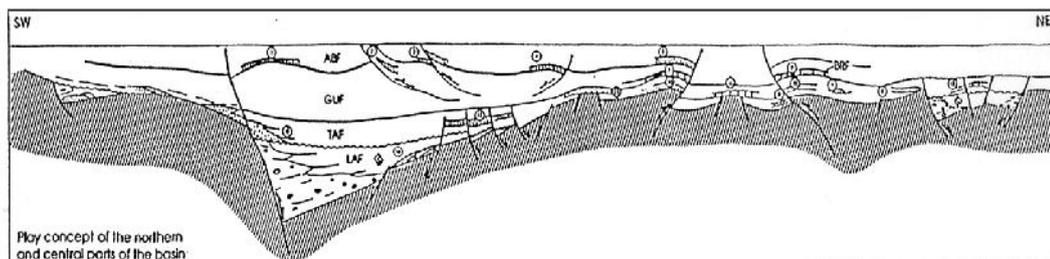
membaji Formasi Palembang Bawah dan Formasi Talang Akar dan Lemat dari batupasir karena perubahan fasies pada Formasi Talang Akar.

## 6. Waktu dan Migrasi

Migrasi minyak bumi yang terjadi pada daerah ini berasal dari dalaman Lematang yang terletak pada bagian Barat laut daripada daerah penelitian. Waktu (*timing*) batuan induk menggenerasikan minyak bumi dapat diinterpretasikan pada waktu awal miosen – miosen tengah, yang menyebabkan minyak bermigrasi sebelum perangkat struktur berkembang pada daerah penelitian.



**Gambar 5.** Arah Migrasi dan kemungkinan perangkat pada Formasi Talang Akar dengan Formasi Baturaja (Pertamina, 2016).

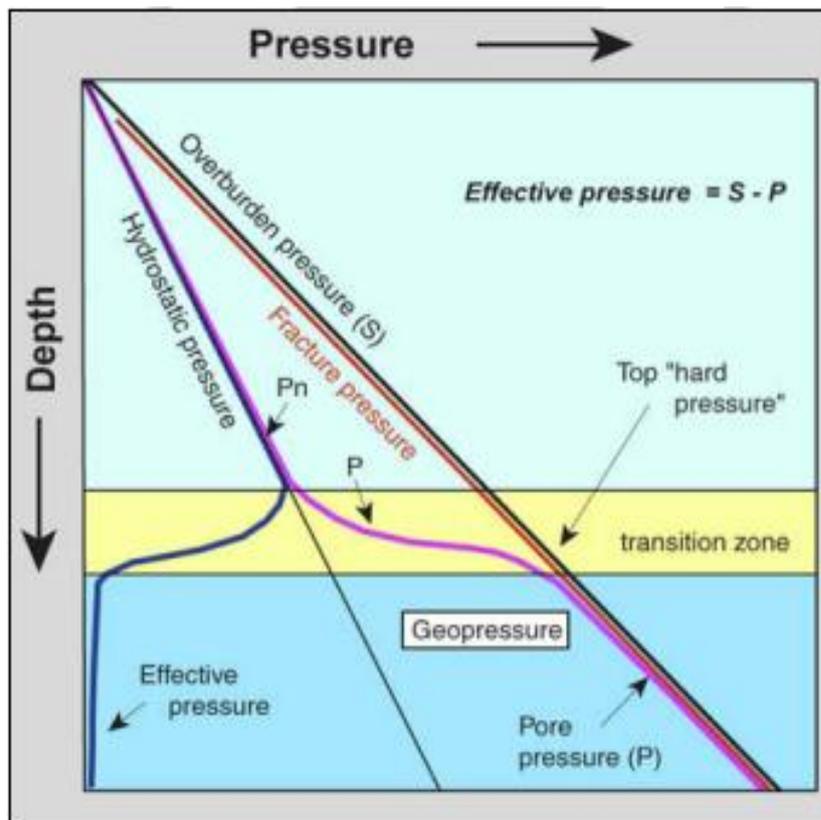


**Gambar 6.** Play Hidrokarbon pada bagian utara dan tengah (De Coster, 1974)

### III. TEORI DASAR

#### A. Konsep Tekanan

Dalam Kegiatan eksplorasi minyak dan gas bumi, ada beberapa konsep tekanan yang digunakan yaitu tekanan normal, atau tekanan hidrostatik normal, tekanan abnormal, tekanan *overburden* dan tekanan *fracture*.



Gambar 7. Konsep Tekanan Bawah Permukaan (Dutta, 2000)

## 1. Tekanan Hidrostatik

Tekanan Hidrostatik merupakan tekanan yang diakibatkan oleh berat fluida yang berada didalam pori-pori batuan. Nilai tekanan hidrostatik untuk setiap fluidanya akan berbeda-beda. Untuk air tawar yang memiliki densitas 1 gr/cc, nilai gradien tekanan hidrostatiknya sebesar 0.433 psi/ft.

Tekanan hidrostatik yang diakibatkan tinggi kolom air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = \rho_w g z \dots\dots\dots(1)$$

Atau apabila dalam persamaan gradien menjadi :

$$\frac{d}{d} = \rho_w g \dots\dots\dots(2)$$

Dengan,

$P$  = tekanan fluida (tekanan hdrostatik)

$\rho_w$  = densitas air

$g$  = percepatan gravitasi ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

$z$  = Ketinggian kolom air (dihitung dari datum)

## 2. Tekanan *Overburden*

Tekanan *Overburden* atau tegasan vertikal merupakan tekanan yang dihasilkan akibat dari pembebanan material sedimen yang berada diatasnya, termasuk fluida yang mengisi pori-pori batuan. Nilai tekanan *overburden* akan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman dan pada umumnya memiliki gradien sebesar 1 psi/ft. Namun, hal ini bergantung pada densitas sedimen yang terendapkan diatasnya. Untuk rata-rata batuan sedimen hingga kedalaman 3 – 4 km, digunakan

nilai asumsi densitas sebesar 2,3 gr/cc (Mouchet dan Mitchell, 1989). Nilai dari tekanan *overburden* bisa didapatkan dari persamaan berikut :

$$\sigma_v = \rho_b g z \dots\dots\dots(3)$$

atau apabila dalam persamaan gradien menjadi :

$$\frac{d\sigma_v}{dz} = \rho_b g \dots\dots\dots(4)$$

dengan,

$\sigma_v$  = Tekanan *overburden*

$\rho_b$  = Densitas bulk batuan

$g$  = percepatan gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$z$  = Ketinggian kolom batuan sedimen (dihitung dari datum)

### **3. Fracture Pressure (Tegasan Horizontal Minimum)**

Tegasan Horizontal Minimum didefinisikan sebagai batas maksimum dari kekuatan batuan sesaat sebelum batuan tersebut pecah (*fract*). Nilai dari tegasan horizontal minimum bisa didapatkan dari pengukuran *Leak Of Test* (LOT) dan *Formation Integrity Test* (FIT). Prediksi dari tegasan ini harus lebih kecil dari dari tekanan *overburden* dan lebih besar dari tekanan pori. Hasil prediksi tersebut dijadikan acuan dalam penentuan berat lumpur pengeboran agar tidak melebihi kekuatan batuan (Juriansyah, 2016).

### **4. Tekanan Efektif**

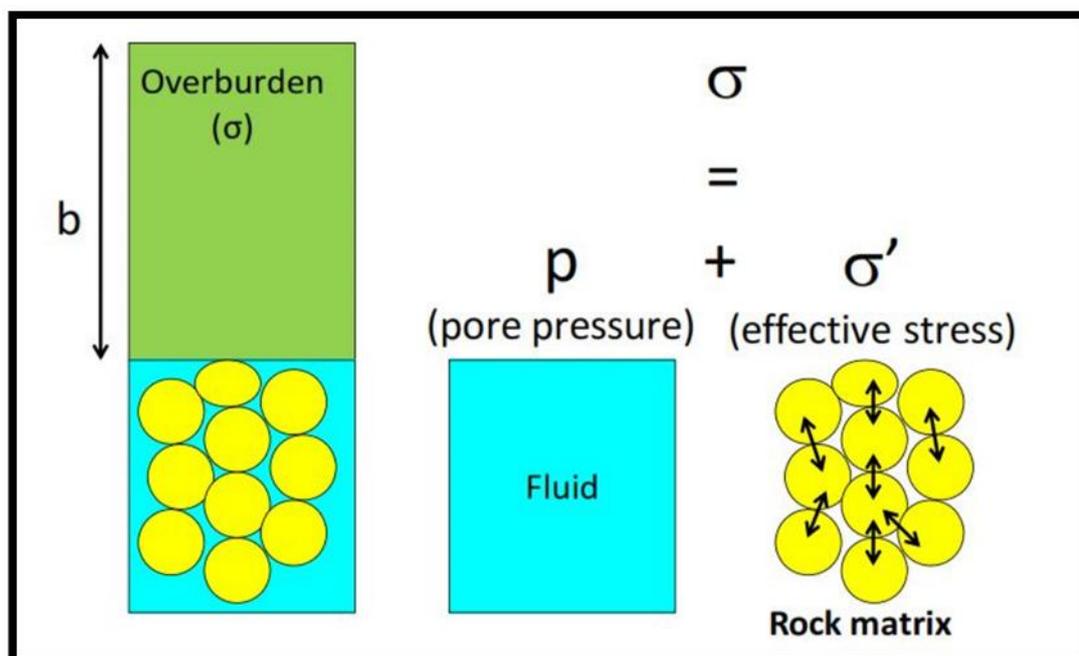
Tekanan efektif didefinisikan sebagai perbedaan antara tekanan *Overburden* dan tekanan pori (Terzaghi dan Peck, 1967).

$$\sigma' = \sigma_v - Pp \dots\dots\dots(5)$$

dimana  $P_o$  adalah total komponen vertikal atau tekanan *overburden* dan  $P_p$  adalah tekanan pori. Tekanan ini merupakan tekanan yang berperan dalam mengontrol proses pemadatan batuan sedimen. Setiap kondisi pada kedalaman yang menyebabkan pengurangan juga akan mengurangi tingkat pemadatan dan mengakibatkan terjadinya geopressure (Yanto, 2011).

## 5. Tekanan Pori

Tekanan pori merupakan tekanan yang diakibatkan oleh fluida yang berada di pori-pori batuan. Garis tekanan pori akan mengikuti garis normal hidrostatik apabila mengalami proses kompaksi normal. Apabila nilai tekanan pori melebihi tekanan normal hidrostatik maka hal tersebut bisa didefinisikan sebagai keadaan *overpressure* begitu pun sebaliknya apabila nilai tekanan pori berada dibawah tekanan hidrostatik maka hal tersebut didefinisikan sebagai keadaan *underpressure* (Juriansyah, 2016).



**Gambar 8.** Prinsip Terzaghi tentang tekanan efektif (Ramdhan, 2017)

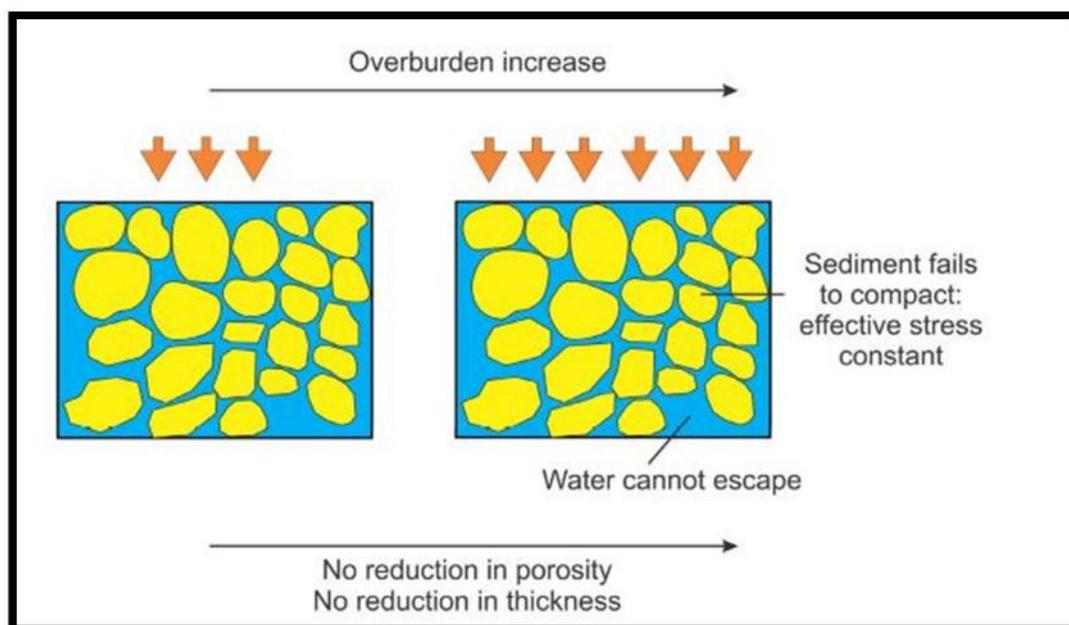
## B. Mekanisme Terjadinya Tekanan Bawah Permukaan

Mekanisme terjadinya tekanan bawah permukaan dapat dibagi menjadi 2 yaitu *loading* dan *unloading*. Perbedaan keduanya yaitu pada *loading* tekanan overburden bertambah tinggi, namun efektif stress tidak bertambah. Sedangkan *unloading* overburden konstan tetapi efektif stress menurun karena meningkatnya tekanan pori.

### 1. Loading

#### a. Undercompaction/Disequilibrium Compaction

*Overpressure* atau tekanan pada mekanisme ini terjadi apabila fluida dalam pori terperangkap dalam formasi dengan permeabilitas termampatkan oleh berat sedimen baru yang terendapkan.



**Gambar 9.** Mekanisme penyebab *overpressure* akibat *undercompaction* (Ramdhan dkk, 2015)

Akibatnya, tekanan yang berlebih pada pori batuan dan fluida terperangkap di dalam pori tersebut. Proses ini yang disebut dengan *undercompaction* atau

*disequilibrium compaction*. Timbulnya *undercompaction* terjadi pada zona transisi dari lingkungan yang dominan pasir ke lingkungan dominan serpih. *Undercompaction* tidak menyebabkan tekanan efektif menurun tetapi membekukan tekanan efektif terhadap waktu.

#### **b. Tectonic Compression**

Pori batuan yang terperangkap oleh tektonik aktif menyebabkan timbulnya *overpressure* yang lebih ekstrim bila dibandingkan dengan *undercompaction*. Jika fluida dalam pori tidak lolos maka tekanan pori akan meningkat dan sedimen akan kehilangan kompaksi. Pada area tektonik aktif, kompaksi tidak hanya disebabkan oleh tekanan efektif vertikal saja tetapi dapat berbagai arah tergantung proses tektonik yang berlangsung (Ramadian, 2010).

## **2. Unloading**

#### **a. Fluid Expansion/Hydrocarbon Generation**

Mekanisme ini terjadi karena batuan sedimen dan fluida yang mengisi pori berada pada lingkungan yang dalam, dimana temperatur juga mengalami kenaikan, maka fluida akan mengembang. Hal ini akan menyebabkan penurunan densitas, dan akibatnya tekanan akan berkurang. *Overpressure* dapat terbentuk di dalam pori batuan akibat mekanisme ekspansi fluida seperti pemanasan, pembentukan hidrokarbon dan ekspansi air akibat diagenesis lempung. Pembentukan hidrokarbon baik kerogen menjadi hidrokarbon. *Overpressure* yang terbentuk disebabkan adanya penambahan volume fluida pada volume pori batuan yang sama. Pada serpih yang merupakan batuan dengan permeabilitas kecil menyebabkan terjadinya

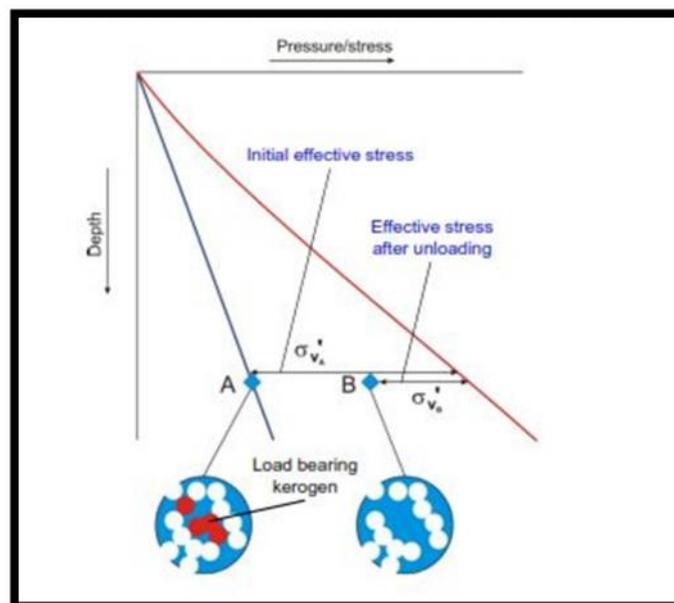
*overpressure* yang tinggi terlebih bila terjadi juga *undercompaction*. Selain itu, tekanan efektif dapat menyebabkan berkurangnya tekanan efektif (*unloading*) ketika pengendapan terus berlangsung. Tekanan yang dihasilkan pada ekspansi fluida berasal dari matriks batuan yang membatasi fluida dalam pori.

### b. Proses Diagenesis Lempung

Proses diagenesis litologi lempung dapat berpengaruh dalam mekanisme *unloading*.



Perubahan smectite menjadi illite terjadi karena pembakaran dengan suhu tinggi (80°) dan cukup potassium maka smectite berubah menjadi illite dan reaksinya menghasilkan silika (semen) dan *bound water* (air yang terikat dalam butir) akan lepas dan berkontribusi terhadap air yang berada di pori sehingga tekanan pori menjadi meningkat.



**Gambar 10.** Mekanisme penyebab *overpressure* akibat *unloading* (Swarbrick, 2002).

### **C. Mekanisme dan Proses Operasional Pengeboran**

Dalam kegiatan pengeboran sumur migas, ada beberapa terminologi atau istilah yang digunakan untuk menjelaskan proses penting yang berlangsung. Semua informasi pengeboran tercantum dalam laporan operasional pengeboran. Aktivitas pengeboran sumur eksplorasi sangat erat hubungannya dengan pengendalian antara tekanan di dalam sumur dengan tekanan pada Formasi yang dibor. Untuk mengontrol hal tersebut, digunakanlah lumpur pengeboran agar selalu terjadi keseimbangan tekanan. Pada proses pengeboran, terdapat dua kondisi terkait penggunaan lumpur pengeboran, yaitu *overbalance*, dan *underbalance*. Kondisi *overbalance* terjadi ketika berat lumpur pengeboran yang digunakan lebih besar dari tekanan Formasi. Sementara itu, kondisi *underbalance* terjadi ketika berat lumpur yang digunakan lebih kecil dari tekanan Formasi. Penggunaan berat lumpur (*mud weight*) haruslah dipantau setiap saat untuk mencegah terjadinya bencana pengeboran (Juriansyah, 2016). Beberapa istilah yang digunakan dalam kegiatan pengeboran yang bisa dijadikan acuan untuk identifikasi keberadaan tekanan abnormal adalah sebagai berikut :

#### **1. *Background gas***

*Background gas* merupakan gas rata-rata yang muncul ketika mata bor menembus lapisan batuan lempung (*clay*). Secara normal, perbedaan antara tekanan lumpur pengeboran dengan tekanan formasi relatif kecil, tetapi apabila memasuki zona *overpressure*, *background gas* akan meningkat secara cepat.

## **2. *Conection gas***

*Conection gas* merupakan gas yang berasal dari formasi dengan volume yang relatif kecil. Gas ini masuk ke dalam lubang pengeboran ketika pompa lumpur berhenti melakukan sirkulasi lumpur ke dalam sumur. Hal ini disebabkan oleh menurunnya nilai *Equivalent Circulation Density* (ECD) ketika pemompaan lumpur ke dalam sumur dihentikan. *Conection gas* mengindikasikan tekanan yang diberikan oleh lumpur pengeboran lebih kecil dari tekanan formasi.

## **3. Runtuhan (*caving*)**

Runtuhan merupakan guguran material / litologi dari formasi yang menempel pada dinding lubang bor. Hal ini diakibatkan oleh tekanan formasi yang lebih besar dari tekanan lubang pengeboran, sekaligus menunjukkan kondisi pengeboran yang *underbalanced*.

## **4. Sirkulasi Hilang (*loss circulation*)**

*Loss circulation* merupakan hilangnya lumpur pengeboran yang diakibatkan oleh masuknya lumpur tersebut ke dalam formasi seperti *cave* dan retakan.

## **5. *Kick***

*Kick* merupakan peristiwa masuknya fluida formasi ke dalam lubang pengeboran pada saat pengeboran sedang berlangsung. Masuknya fluida formasi tersebut mengakibatkan kenaikan tekanan secara mendadak pada lumpur pengeboran. Hal tersebut bisa terjadi apabila tekanan formasi lebih besar dari tekanan lumpur pengeboran

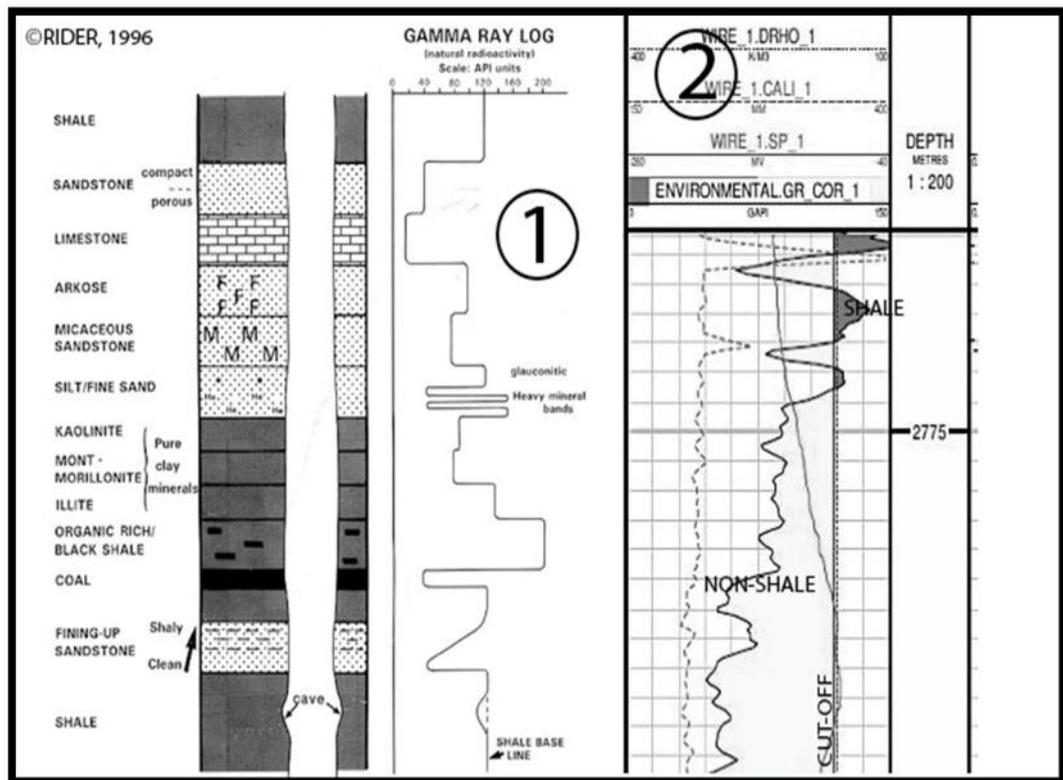
## 6. Blowout

*Blowout* merupakan semburan yang tidak terkendali dari fluida formasi yang diakibatkan oleh aliran fluida tersebut yang masuk kedalam lubang pengeboran secara tidak terkontrol.

### D. Data Logging While Drilling (LWD)

#### 1. Log Gamma ray

Log Gamma ray merupakan log pengukuran yang dilakukan secara pasif dengan sinar radioaktif oleh formasi itu sendiri. Kurva yang dihasilkan menunjukkan besarnya intensitas radioaktif yang terkandung dalam suatu batuan.



**Gambar 11.** Log Gamma ray (Harsono, 1997)

Sinar gamma sangat efektif dalam membedakan zona permeabel dan impermeabel.

Hal itu dikarenakan unsur-unsur radioaktif berpusat di dalam serpih yang sifatnya

tidak impermeabel dan tidak banyak terdapat pada batuan karbonat atau pasir, diabsorpsi oleh atom formasi melalui suatu proses yang disebut fotoelektrik. Jadi gamma ray diabsorpsi secara gradual dan energinya mengalami reduksi setiap kali melewati formasi. Laju absorpsi berbeda sesuai dengan densitas formasi. Formasi yang densitasnya lebih rendah akan terlihat lebih radioaktif (Harsono, 1997).

## **2. Log Porositas Densitas**

Log ini umum digunakan untuk mendeteksi zona gas, menghitung densitas karbon, serta mengevaluasi reservoir *shally-sand* maupun litologi yang kompleks. Log densitas pada log porositas merekam *bulk density* formasi batuan. *Bulk density* merupakan densitas total dari batuan matrik padat dan fluida yang mengisi pori. Pembacaan log untuk interpretasi tekanan abnormal merupakan hasil *cut off* log sinar gamma. Pada kondisi normal, densitas serpih akan bertambah terhadap kedalaman, seiring dengan bertambahnya tekanan pembebanan dan kekompakan batuan. Pada zona abnormal, gagalnya kompaksi serpih akan diikuti oleh tingginya kandungan fluida dalam formasi dan menyebabkan densitas serpih berkurang terhadap kedalaman. Kedalaman puncak *overpressure* ditunjukkan oleh titik defleksi kurva densitas dari keadaan normal menjadi garis densitas abnormal (Ginanjari dan Syahputra, 2014).

Pada log densitas, biasanya nilai log densitas dilakukan konvert terhadap porositas dengan persamaan:

$$\phi = \left( \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m - \rho_f} \right) \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan :

$\rho_m$  = densitas matrik (gr/cm<sup>3</sup>)

$\rho_b$  = densitas bulk (gr/cm<sup>3</sup>)

$\rho_f$  = densitas fluida (gr/cm<sup>3</sup>)

$\phi$  = porositas (%)

### 3. Log Sonik

Log sonik adalah log porositas yang mengukur *interval transite time* dari gelombang suara yang melewati setiap *feet* dari formasi. Secara kuantitatif log sonic digunakan untuk menentukan porositas, menentukan selang kecepatan, dan melakukan kalibrasi seismik. Sedangkan secara kualitatif digunakan untuk menentukan litologi korelasi antar sumur pemboran, dan evaluasi batuan sumber hidrokarbon. Semakin besar log sonik yang ditunjukkan maka semakin kecil gelombang yang merambat pada batuan tersebut. Prinsip kerja dari log sonik adalah suara yang dihasilkan dari transmitter maka gelombang tersebut akan merambat ke dalam formasi. Perambatan suara di dalam formasi tergantung dari matrik batuan, porositas batuan dan fluida dalam pori-pori tersebut (Stoeckel,1989). Interpretasi tekanan abnormal dari log sonik memerlukan pemisahan antara interval transit time serpih dan pasir dengan menggunakan log sinar gamma. Pemisahan ini disebut *sand cut off*. Formasi serpih ditandai dengan nilai gamma ray yang tinggi yaitu lebih besar dari 60 sehingga nilai yang lebih kecil dari batas ini akan dibuang atau dipotong. Selanjutnya interval *transit time* yang dipakai merupakan hasil *sand cut off* log sinar gamma. Memasuki zona tekanan abnormal, porositas serpih semakin

besar dan diikuti dengan bertambahnya interval *transit time* terhadap kedalaman. Kedalaman puncak dari *overpressure* adalah titik defleksi kurva *transit time* dari garis kompaksi normal menuju garis kompaksi abnormal. Sedangkan derajat pembelokannya merupakan selisih interval *transit time* antara dua garis kompaksi tersebut dan hal ini menggambarkan besarnya tekanan abnormal yang terjadi. Selisih pembacaan interval *transit time* didefinisikan sebagai anomali sonik (Ginanjar dan Syahputra, 2014).

Penentuan dengan log sonik yaitu sebagai berikut:

$$\Delta t_n = \Delta t_0 e^{-b} \dots\dots\dots(8)$$

Persamaan di atas dianggap tidak sesuai dengan keadaan bawah permukaan karena *transit time* mendekati 0 berada pada kedalaman yang cukup dalam. Sehingga digunakan rumus alternatif dari Chapman (1983) seperti persamaan di bawah ini.

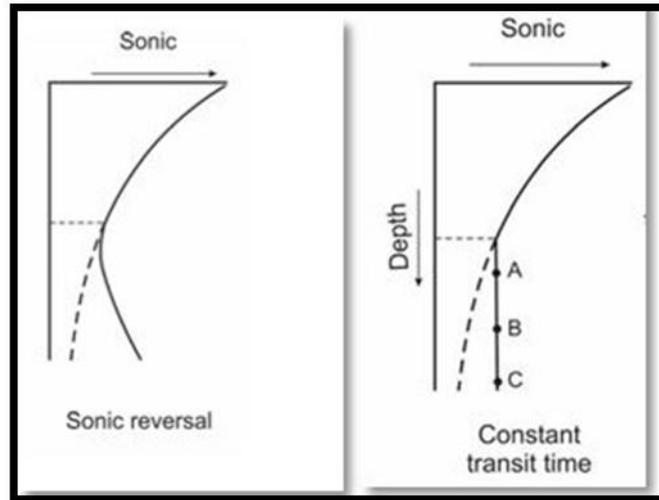
$$\Delta t_n = \Delta t_0 - \Delta t_m )e^{-bz} + \Delta t_m \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

$\Delta t_n$  = *transit time* di NCT ( $\mu$ s /ft)

$\Delta t_0$  = *transit time* di permukaan ( $\mu$ s /ft)

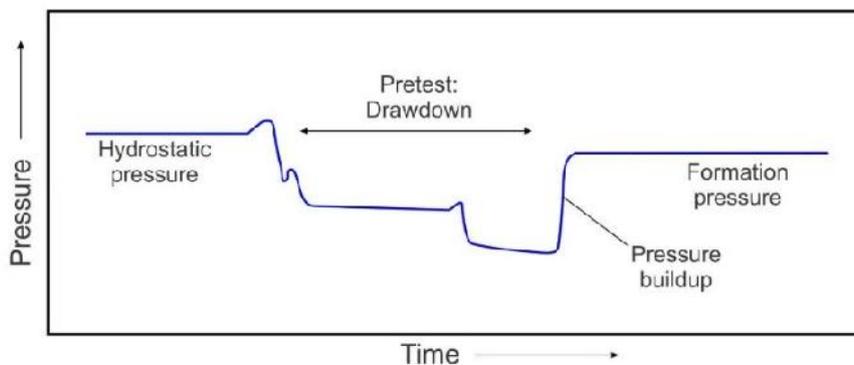
$\Delta t_m$  = *transit time* matrix ( $\mu$ s /ft)



**Gambar 12.** Kurva sonik terhadap kedalaman(Ramdhan, 2017)

### E. Data Wireline Formation Tester

Pengoperasian data log ini dilakukan selama *wireline logging* beroperasi. Ketika *wireline tool* diturunkan ke bawah. Data *RFT (Repeat Formation Tester)* ataupun data *MDT (The Middle Formation Tester)* digunakan untuk mengukur tekanan formasi pada titik-titik tertentu di dinding lubang bor, mengukur gradien fluida di reservoir dan jenis fluida, dan ketika tekanan formasi diukur, sampel fluida formasi juga diambil dan kemudian akan dikonversi dalam gradien fluida minyak, air, dan gas terhadap kedalaman sehingga dapat ditentukan batas-batas reservoir seperti *Oil Water Contact (OWC)*, *Gas Water Contact (GWC)*, dan *Gas Oil Contact (GOC)*.



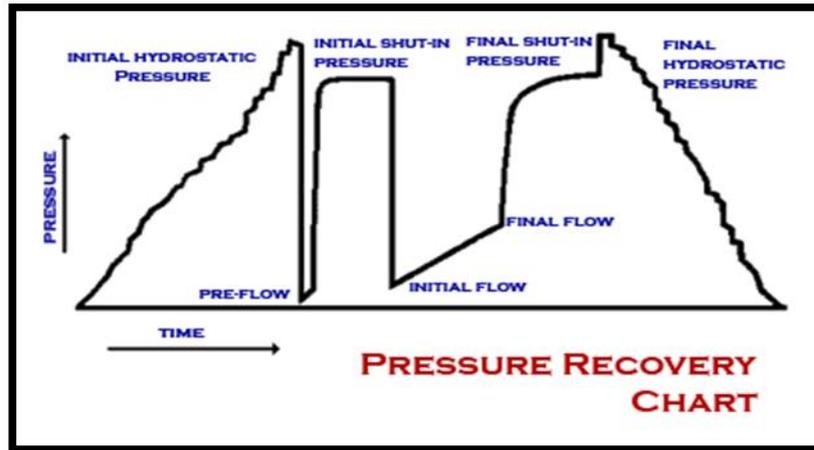
**Gambar 13.** Grafik *Pressure vs time* pengukuran *Wireline formation tester* (Ramdhan, 2017)

Informasi yang dihasilkan dari *wireline formation tester* berupa kedalaman pengukuran, tekanan formasi, *mobility*, sampel fluida dan tingkat keberhasilan pengukuran. Tingkat keberhasilan dibagi menjadi 4 yaitu *Good* (data pengukuran cukup akurat), *NS (Not Stabilised)* merupakan proses dimana proses *build up* ditunggu namun tidak sampai pada titik konstan). Hal ini dilakukan karena pengukuran langsung hanya dilakukan maksimal 20 menit dengan alasan bahwa lubang bor harus segera disirkulasikan lumpur). Selanjutnya adalah *SC (Supercharged)* merupakan data yang lebih tidak akurat bila dibandingkan dengan *NS* karena lumpur masuk ke *tool probe* sehingga yang terbaca adalah tekanan lumpur. Kemudian tingkat keberhasilan selanjutnya adalah *tight* (sangat tidak akurat karena *build up* sangat rendah) (Ramdhan, 2017).

#### **F. DST (*Drill Steam Test*)**

*Drill Steam Test* (DST) digunakan untuk mendapatkan informasi-informasi yang penting secara langsung mengenai kandungan fluida dan karakteristiknya, serta tekanan dan suhu reservoir dari formasi yang ditembus oleh lubang bor sehingga grafik dari DST adalah tekanan dan suhu vs waktu. Data yang penting dari pembacaan pada *wellsite* dan diberikan oleh *engineer* setelah tes sebagai berikut:

1. Tekanan hidrostatik awal Lumpur (IHP)
2. Tekanan awal penutupan (ISIP)
3. Tekanan pada tiap-tiap periode aliran (IFP)
4. Tekanan akhir penutupan (FSIP)
5. Tekanan Lumpur hidrostatik akhir, (FHP)



**Gambar 14.** Grafik *Pressure vs time* pada pengukuran DST (AIFE, 2012)

Chart DST yang baik mempunyai ciri-ciri :

1. *Pressure base line* merupakan garis lurus dan jelas.
2. Tekanan hidrostatik mula-mula dan akhir yang dicatat sama dan tetap terhadap kedalaman serta berat jenis lumpur yang sama.
3. Tekanan aliran dan tekanan *buildup* yang dicatat merupakan kurva yang baik.

### **G. Mud Logging Unit**

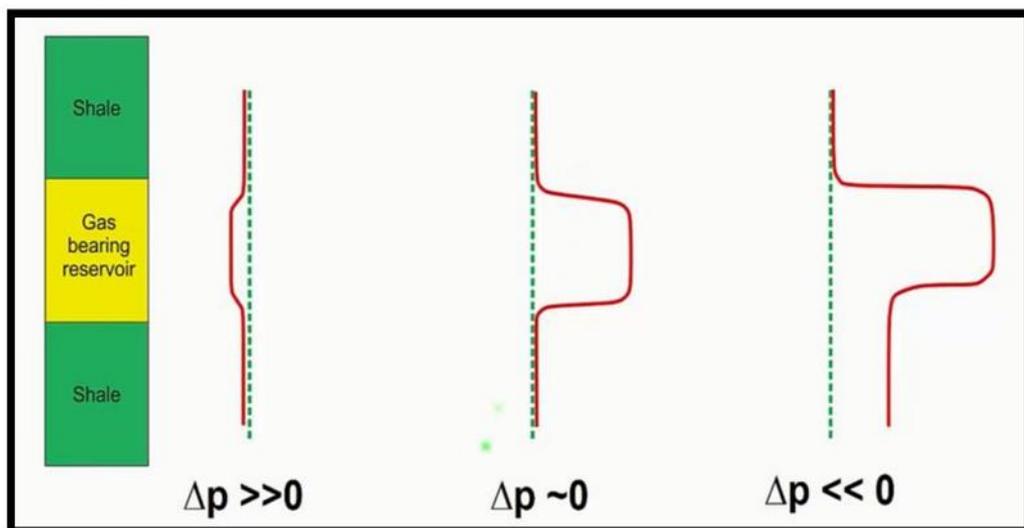
Pada mudlog terdapat data yang bisa digunakan dalam penentuan overpressure yaitu data mudweight dan data gas.

#### **1. Mudweight**

Data berat lumpur bisa menjadi indikator untuk pendeteksian *overpressure* ditandai dengan peningkatan *mudweight* tetapi tidak semua peningkatan *mudweight* disebabkan oleh meningkatnya tekanan pori. Meningkatnya *mudweight* dapat disebabkan oleh masalah geomechanical.

## 2. Gas While Drilling

Sumber gas pada pengeboran dapat berasal dari formasi, *contaminated gas* (gas yang berasal dari zat adiktif yang dicampurkan ke lumpur) dan *recycle gas* (gas yang keluar dari lubang bor biasanya dibakar dan masih terdapat gas yang belum terbakar). Gas yang digunakan untuk pendeteksian *overpressure* yaitu yang berasal dari formasi. Gas yang terkandung dalam formasi berasal dari hidrokarbon, gas yang terlarut dalam air, *cutting*, *shale caving* dan juga patahan yang dapat memfasilitasi gas masuk ke lubang bor. Pada gas terdapat dua peristilahan yaitu *liberated gas* (lumpur sedang disirkulasi) dan *produced gas* (lumpur sedang tidak disirkulasikan biasanya dalam pemasangan pipa). Ketika *liberated gas* terdapat 2 peristilahan yaitu *background gas* (gas yang terkandung dalam serpih) dan total gas (gas yang terkandung dalam reservoir). Pada *produced gas* terdapat 2 istilah yaitu trip gas (gas yang keluar selama *pull of out hole*) dan *connection gas* (selama pemasangan pipa) pendeteksian *overpressure* dengan *liberated gas* dapat digunakan namun tidak cukup valid untuk mempresentasikan zona *overpressure*.



**Gambar 15.** Deteksi *overpressure* dengan *liberated gas* (Ramdhan, 2015)

Deteksi pipa berlangsung yang paling valid adalah deteksi dengan menggunakan data *connection gas* karena ketika pemasangan pipa berlangsung, tidak dilakukan sirkulasi lumpur dan apabila terdapat gas yang masuk ke lubang pengeboran dapat mengindikasikan bahwa tekanan pori berada diantara statik *mudweight* dan *ECD*. Aktivitas pengeboran yang dapat digunakan untuk interpretasi *overpressure* adalah adanya informasi adalah *lost circulation* dan *kick*. *Lost circulation* terjadi karena *overbalance* (tekanan lumpur pengeboran melebihi *fractured pressure* umumnya terjadi pada jenis lithologi limestone, *fractured* formasi, *fractured* basements, dan lapisan kerikil. Informasi mengenai *fractured pressure* dapat diperoleh dengan menggunakan data LOT (*Leak Off Test*). *Kick* terjadi karena tekanan lumpur pengeboran kurang dari tekanan formasi (*underbalance*) (Irawan, 2014).

## **H. Metode Prediksi Tekanan Pori**

Metode yang dapat digunakan untuk estimasi tekanan pori yaitu metode Equivalent Depth, metode Eaton (1975) dan metode Bowers (1995).

### **1. Metode Eaton (1975)**

Eaton (1975) menjelaskan bahwa mayoritas tekanan bawah permukaan berasal dari pengaruh overburden atau disebut *primary overpressure*. *Overpressure* terjadi karena penimbunan akibat cepatnya suplay sedimen yang berfungsi sebagai seal sehingga fluida yang ada sebelumnya tidak dapat bergerak. Cairan yang terperangkap dalam sebuah kolom batuan akan memberikan balasan sebagai aksi reaksi terhadap energi yang diberikan kepadanya. Balasan yang diberikan fluida

terhadap energi yang datang akibat beban yang makin bertambah di atasnya di sebut *overpressure* primer. Persamaan Eaton (1975) sebagai berikut:

$$P = \sigma_v - (\sigma_v - P_n) \left( \frac{\Delta t_n}{\Delta t} \right)^3 \dots\dots\dots(10)$$

$$P = \sigma_v - (\sigma_v - P_n) \left( \frac{R}{R_n} \right)^{1.2} \dots\dots\dots(11)$$

$$P = \sigma_v - (\sigma_v - P_n) \left( \frac{D_C}{D_C} \right)^{1.2} \dots\dots\dots(12)$$

$$P = \sigma_v - (\sigma_v - P_n) \left( \frac{V_{ti}}{V_N} \right)^N \dots\dots\dots(13)$$

Sedangkan,

$$N = \left( \frac{l \left[ \frac{\sigma_v - P_D}{\sigma_v - P_n} \right]}{l \left[ \frac{V_{ti}}{V_N} \right]} \right) \dots\dots\dots(14)$$

Keterangan

$P$  = tekanan pori (Psi)

$\sigma_v$  = tekanan overburden (Psi)

$P_n$  = tekanan normal hidrostatik (Psi)

$\Delta t_n$  = *transit time* di NCT ( $\mu$ s /ft)

$\Delta t$  = *transit time* dari sonik ( $\mu$ s /ft)

$V_{ti}$  = Velocity Interval dari data Seismik (m/s)

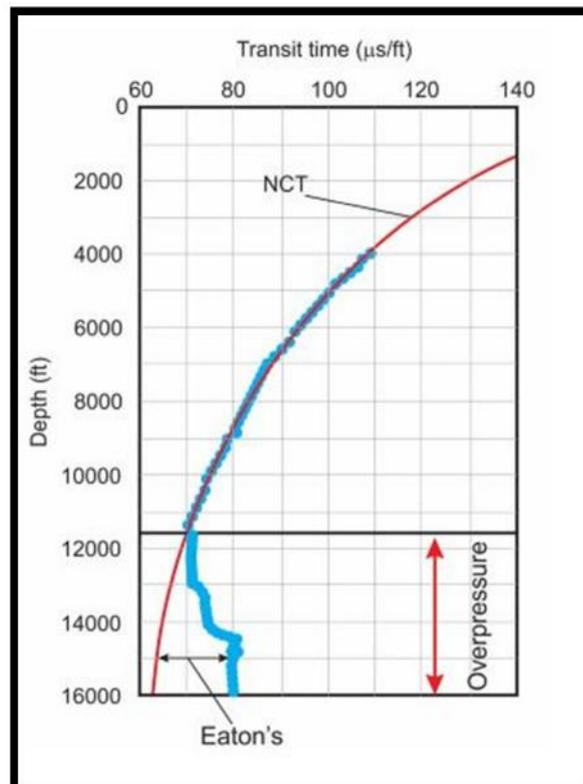
$V_N$  = Velocity pada saat keadaan *normal compaction trend*

$P_D$  = Tekanan Formasi aktual (psi)

$N$  = Empirical konstan (Konstanta Eaton's, 3 untuk wilayah Gulf Mexico).

Persamaan 10 digunakan untuk data utama berupa log sonik, persamaan 11 log resistivitas, persamaan 12 untuk koreksi *drilling eksponen* dan persamaan 13 menggunakan *velocity interval* dari data seismik. Fokus penelitian ini menggunakan persamaan 10 dan persamaan 13.

Eaton (1975) mengandalkan data *transit time* untuk mendapatkan *Normal Compaction Trend* (NCT). NCT merupakan garis yang menunjukkan bagaimana porositas berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Bila suatu kompaksi berjalan dengan normal maka akan mengikuti garis NCT dimana porositas akan berkurang, efektif stress bertambah dan *pore pressure* dalam kondisi normal akan sama dengan normal hidrostatik (Ramdhan, 2017).



**Gambar 16.** Ilustrasi Metode Eaton (Ramdhan, 2017)

## 2. Metode Bowers (1995)

Metode Bower (1995) merupakan teori yang mengembangkan mengembangkan Eaton (1975). Selain faktor normal *pressure, undercompaction, fluid expansion* dan sementasi terdapat faktor lain yaitu faktor geologi. Bower (1995) melakukan modifikasi efektif stress untuk melakukan estimasi tekanan pori.

$$V_{Ir} = V_0 + A \sigma^B \dots\dots\dots(15)$$

Parameter A dan B diperoleh dari data kalibrasi untuk menghitung *secondary overpressure* suatu wilayah prediksi.

$$V_{Ir} = V_0 + A \left[ \sigma_m \left( \frac{\sigma}{\sigma_m} \right)^{\frac{1}{U}} \right]^B \dots\dots\dots(16)$$

Keterangan

$V_{Ir}$  = Kecepatan interval di zona interest (m/s<sup>2</sup>)

$V_0$  = Kecepatan di kolom air (m/s<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tekanan efektif pada zona interest (Psi)

$\sigma_m$  = Tekanan efektif maksimum (Psi) (Yanto, 2011)

## 3. Metode *Equivalent Depth (Effective Stress)*

Prinsip dari metode ini adalah untuk memberikan nilai porositas, *overpressure mudrock* akan memiliki nilai tegangan efektif sama dengan tekanan efektif normalnya. Persamaan metode ini adalah sebagai berikut:

$$P_A = \sigma_V - (\sigma_V - P_B) \dots\dots\dots(17)$$

Keterangan

$P_A$  = Tekanan pori pada point A (Psi)

$P_B$  = Tekanan pori pada point B (Psi)

$\sigma_V$  = Tekanan overburden pada point A (Psi)

$\sigma_V$  = Tekanan Overburden pada point B (Psi) (Ramdhan, 2017)

## I. Definisi Kecepatan Seismik

Kecepatan merupakan perpindahan/waktu yang dinyatakan dengan jarak yang ditempuh per-satuan waktu. Didalam aplikasi Geofisika misalnya seismic processing (reflection), harga kecepatan digunakan sebagai masukan/input proses pencitraan penampang bawah permukaan bumi. Harga yang diambil ketika melakukan picking haruslah tepat dengan tidak overcorrected atau undercorrected. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan penampang bawah permukaan yang mewakili keadaan geologi yang sebenarnya. Analisis kecepatan (velocity analysis) merupakan proses pemilihan kecepatan gelombang seismik yang sesuai. Ada beberapa definisi kecepatan yang sering digunakan dalam analisis kecepatan antara lain :

### 1. Kecepatan RMS ( $V_{rms}$ )

Kecepatan RMS (root mean square)  $V_{rms}$ , yaitu kecepatan total dari sistem pelapisan horizontal dalam bentuk akar kuadrat. Apabila waktu rambat vertikal  $t_1, t_2, \dots, t_n$  dan kecepatan masing-masing lapisan atau kecepatan yang menjalar pada lapisan yang homogen yang terletak diantara dua bidang batas lapisan adalah  $V_{int 1}, V_{int 2}, \dots, V_{int n}$ , maka kecepatan RMS-nya untuk  $n$  lapisan

adalah akar kuadrat rata-rata (root mean square) dari kecepatan interval (Yanto, 2011).

## 2. Kecepatan interval (Vint)

Kecepatan Interval merupakan kecepatan rata-rata antara dua titik kedalaman yang diukur tegak lurus terhadap kecepatan lapisan yang dianggap sejajar. Kecepatan interval diturunkan dari kecepatan RMS dengan menggunakan persamaan Dix. Persamaan Dix dapat dituliskan sebagai berikut :

$$V_{i1} = \sqrt{\frac{(V_{s1}^2 T_n - V_{s1}^2 T_{n-1})}{(T_n - T_{n-1})}} \dots\dots\dots(18)$$

Keterangan,

$V_{s1} \quad n$  = Kecepatan *stacking* lapisan ke-n (Vrms)

$T_n$  = Waktu tempuh dua arah lapisan ke-n

## 3. Kecepatan rata-rata (Vavg)

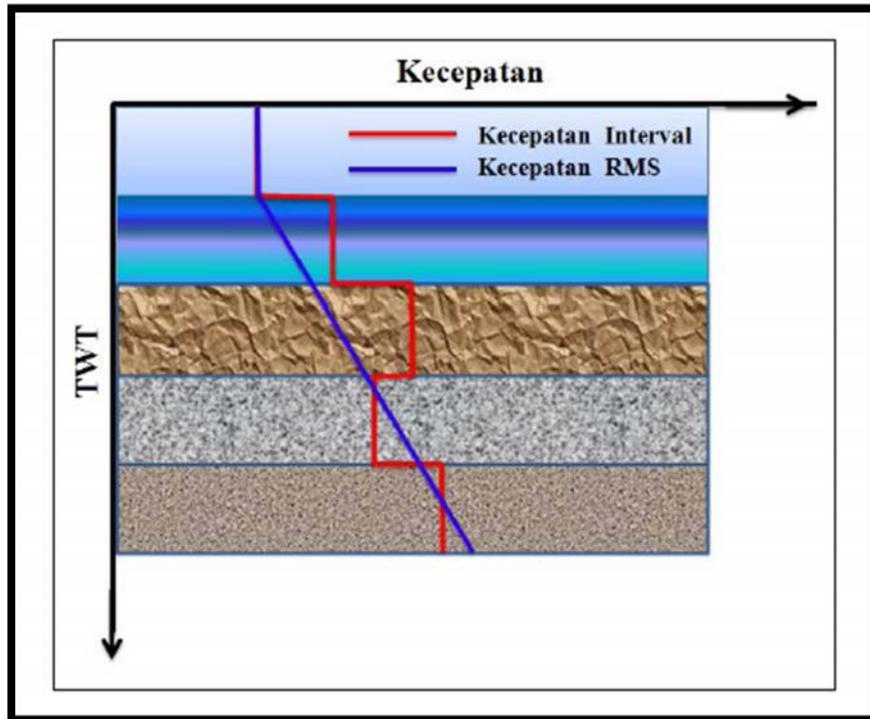
Kecepatan rata-rata merupakan kecepatan interval sepanjang suatu section Geologi, ketika puncak dari interval adalah datum referensi untuk pengukuran seismik.

$$V_a = \frac{\sum V \Delta t_n}{\sum \Delta t_n} \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan,

$V_{i1}$  = Kecepatan Interval (m/s)

$\Delta t_n$  = Perubahan waktu tempuh dua arah pada lapisan ke-n



**Gambar 17.** Perbandingan Kecepatan Interval dan Kecepatan RMS  
(Yanto, 2011)

## IV. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Pertamina EP Fungsi Paku Gajah Development Project, Jakarta Selatan, dan Laboratirum Geofisika Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung dengan waktu pelaksanaan periode Maret 2017 sampai dengan Agustus 2017. Kegiatan pelaksanaan kegiatan selama penelitian dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Pelaksanaan Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan (Minggu Ke-)																							
		Mar		April				Mei				Juni				Juli				Agustus					
		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	Studi literatur																								
2	Persiapan dan pengumpulan data																								
3	Pengolahan data																								
4	Evaluasi hasil pengolahan data																								
5	Analisis dan interpetasi data																								
6	Penyusunan laporan																								
7	Bimbingan usul																								
8	Seminar usul																								
9	Revisi dan bimbingan hasil																								
10	Bimbingan dan Fixsasi hasil penelitian																								
11	Seminar hasil penelitian																								
12	Bimbingan dan fixsasi laporan																								
13	Ujian komprehensif																								

## **B. Perangkat**

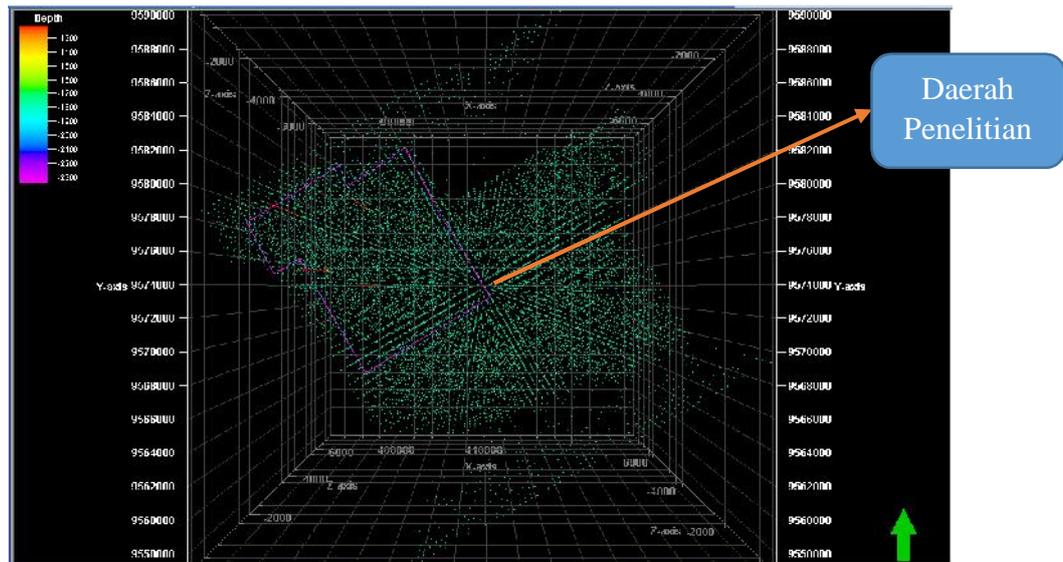
Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat laptop dengan *Software* Petrel 2009.1 untuk melakukan pemodelan, baik itu pemodelan kecepatan dan tekanan serta transformasi kecepatan ketekanan. kemudian *software* Microsoft Excel untuk proses perhitungan tekanan pori berdasarkan data sumur.

## **C. Data Penelitian**

Dalam penelitian ini menggunakan beberapa data utama dan data penunjang lainnya, yang meliputi data *stacking velocity* yang merupakan turunan dari data seismik PSTM, data *wireline logging* berupa log sonic, gamma ray, dan densitas, serta data tekanan formasi aktual berupa data *drill steam test* (DST).

### **1. Data *Stacking Velocity* XYZ**

Data *Stacking Velocity* merupakan data kecepatan dari seismik dengan melakukan pengukuran variasi antara waktu pemantulan dan jarak. Analisa kecepatan dilakukan dengan metode analisa *semblance* di setiap CDP *gather* yang akan menghubungkan tiap-tiap energi maksimum menjadi fungsi kecepatan *stacking* (*stacking velocity*). Dalam penelitian ini, data *stacking velocity* yang digunakan merupakan data primer. Dengan kata lain, penulis tidak melakukan sendiri analisa *semblance* untuk penentuan *stacking velocity*.



**Gambar 18.** Data Stacking Velocity

## 2. Data Sumur

Data sumur yang digunakan dalam penelitian berupa data *wireline logging* dan data tekanan formasi aktual berupa data DST (*Drill Steam Test*), dalam setiap sumur dilengkapi dengan log Gamma Ray, Sonic, densitas dan juga *chekshot*. Berikut kelengkapan log yang digunakan dalam proses penelitian ini.

**Tabel 2.** Kelengkapan data Sumur

No.	Sumur	Log			DST	Checkshot
		GR	Sonic	Densitas		
1.	TK-01	v	v	v	v	v
2.	TK-02	v	v	v	v	v
3.	TK-03	v	v	v	v	v
4.	TK-04	v	v	v	v	v
5.	TK-05	v	v	v	v	v

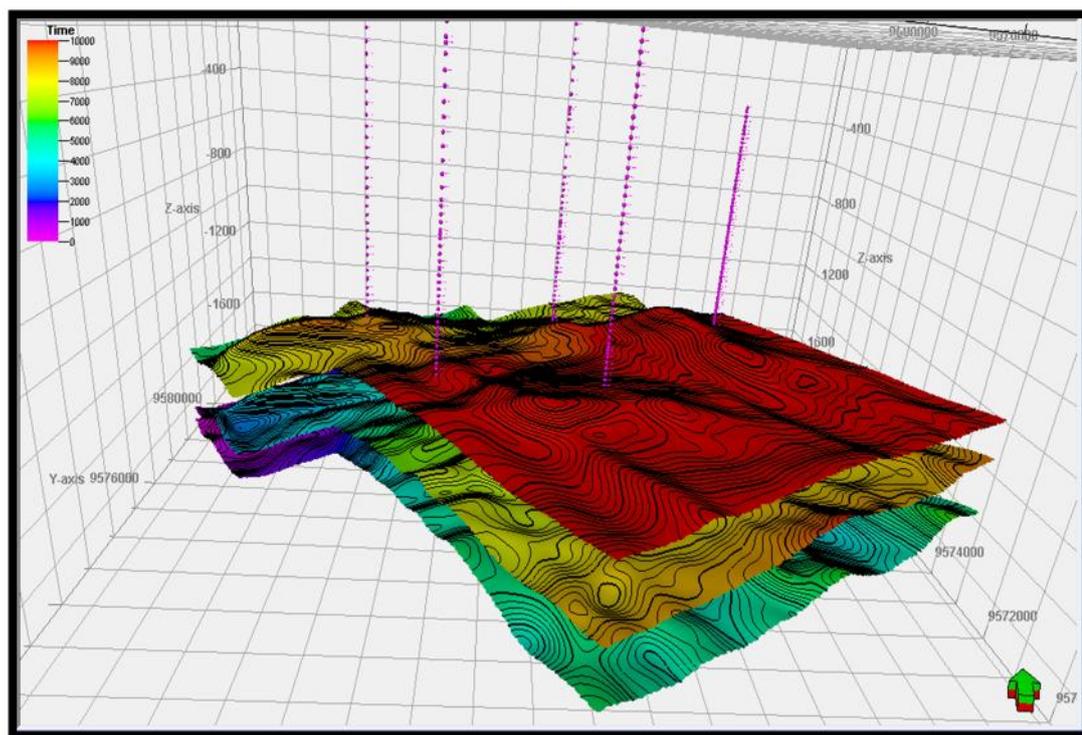
## 3. Geologi Regional

Data geologi regional digunakan untuk mengetahui gambaran geologi lapangan penelitian baik berupa pola tektonik dan umur stratigraphy. Data geologi regional

cekungan Sumatera Selatan, berupa batas formasi dan sistem hidrokarbon daerah penelitian.

#### 4. Data *Marker Regional*

Data *marker regional* merepresentasikan stratigrafi regional sekaligus formasi batuan dari lapisan-lapisan bawah permukaan. Tujuan dari pemodelan yang dilakukan adalah ingin mendapatkan model kecepatan dari tiap-tiap litologi yang dilalui. Oleh karena itu, penarikan horizon atau *marker regional* akan sangat membantu dalam mendistribusikan kecepatan secara benar sekaligus merefleksikan kecepatan unit batuan dari setiap formasi. *Marker regional* yang digunakan dalam penelitian ini berupa formasi Gumai, Baturaja dan Basement.



**Gambar 19.** Horison waktu dari *marker regional*, dari atas ke bawah : Gumai, Baturaja, dan Basement.

## **D. Pengolahan Data**

Secara garis besar pengolahan data dalam penelitian dibagi kedalam dua tahapan besar, pengolahan data untuk menentukan prediksi tekanan pori berdasarkan data sumur dan data kecepatan seismik. Kemudian, berdasarkan hasil prediksi tekanan pori tersebut dilakukan kalibrasi dengan data hasil pengukuran tekanan langsung berupa data *drill steam test* (DST).

### **1. Penentuan prediksi tekanan pori berdasarkan data sumur**

#### **a. Penentuan *Normal Compaction Trend***

*Normal Compaction Trend* merupakan garis yang menunjukkan bagaimana porositas akan menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman. Pada proses kompaksi normal, semakin bertambah kedalaman maka porositas batuan akan menurun yang secara normal efektif stress akan bertambah. *Normal compaction trend* dapat dilakukan dengan menggunakan log sonik. Cara yang bisa dilakukan yaitu melakukan plot sonik terhadap kedalaman pada zona yang dianggap serpih. Penentuan ini hanya pada zona serpih karena kecepatan yang diperoleh dari log sonik merupakan fungsi dari efektif stress yang ada hubungannya dengan kompaksi (pada serpih proses kompaksi akan mempengaruhi tekanan) sedangkan pada litologi lain seperti batupasir dan karbonat, kecepatan bukan hanya dipengaruhi oleh efektif stress tetapi juga dipengaruhi oleh sementasi, pelarutan dan rekahan. Langkah dalam penentuan NCT adalah dengan melakukan interpolasi yang dalam hal ini menggunakan eksponen kemudian diperoleh persamaan untuk penentuan NCT pada Mc. Excel. NCT digunakan untuk penentuan tekanan efektif (pada satu sumur yang mewakili area penelitian) dan selanjutnya dilakukan penentuan tekanan

pori dengan persamaan Terzaghi untuk penentuan distribusi tekanan pori di area penelitian.

### **b. Penentuan Parameter Eaton's**

Prediksi tekanan pori dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode Eaton's untuk mendapatkan tekanan efektif. Oleh karena itu, dibutuhkan parameter-parameter dari persamaan Eaton yang harus ditentukan terlebih dahulu, berikut adalah parameter-parameter Eaton's tersebut

#### **) Penentuan Overburden Stress**

Overburden Stress merupakan tekanan yang disebabkan oleh matrik batuan dan fluida pengisi pori batuan. Overburden stress dapat diketahui dengan menggunakan densitas bulk batuan. Densitas bulk batuan ini dapat diperoleh dengan menggunakan data log RHOB dan percepatan gravitasi.

#### **) Penentuan Tekanan Hidrostatik**

Tekanan hidrostatik normal merupakan maksimum fluida dapat naik yang secara statik hanya sampai pada surface (tidak sampai pada atas permukaan). Penentuan tekanan hidrostatik dipengaruhi oleh densitas fluida pada kolom batuan. Pada penelitian ini tekanan hidrostatik menggunakan gradien hidrostatik *fresh water* 0,43 psi/ft.

### **c. Penentuan tekanan efektif dan prediksi tekanan pori**

Penentuan tekanan efektif dilakukan menggunakan metode Eaton's (1975), berdasarkan hasil parameter metode Eaton's yang sudah dilakukan pengolahan sebelumnya, maka dicari tekanan efektif berdasarkan persamaan Eaton's. Yang

menyatakan bahwa tekanan efektif adalah pengurangan antara tekanan *overburden* dan tekanan normal hidrostatik yang dikalikan dengan pembagian antara *normal compaction trend* dan data *p-wave* dari sonic, dipangkatkan koefisien Eaton's. Koefisien Eaton's sama dengan 3 untuk daerah Gulf Mexico, dan dalam penelitian ini pendekatan empiris untuk koefisien Eaton's adalah 0.26 sampai 0.5. Penentuan tekanan pori dilakukan dengan menggunakan persamaan Terzaghi's, yang menyatakan bahwa tekanan pori adalah pengurangan antara tekanan *overburden* dan tekanan Efektif.

## **2. Penentuan prediksi tekanan pori berdasarkan data kecepatan seismik**

Pada tahap ini, data yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis dengan menggunakan *software* Petrel 2009.1 dan Microsoft Excel 2013. Secara garis besar, tahapan yang dilakukan dalam memprediksi tekanan pori dengan data kecepatan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pemodelan kecepatan (*velocity model*) secara akurat di daerah penelitian
2. Transformasi kecepatan ke tekanan efektif dengan metode Eatons.
3. Perhitungan tekanan pori dengan metode Terzaghi dan kalibrasi dengan data tekanan formasi aktual dari sumur.

### **a. Pemodelan Kecepatan**

Pemodelan kecepatan ini dilakukan dengan menggunakan data kecepatan dari *stacking velocity*. Kemudian menggunakan persamaan Dix's untuk mengubah *stacking velocity* yang masih dalam domain TWT (*two way time*) ke dalam

kecepatan Interval ( $V_{int}$ ). Kemudian dengan kecepatan interval tersebut dilakukan perhitungan untuk mendapatkan kecepatan rata-rata ( $V_{avg}$ ). Perhitungan Dix merupakan metode pendekatan dengan menggunakan berbagai asumsi dalam penghitungannya. Asumsi tersebut meliputi (Bell, 2002): 1) Lapisan-lapisan batuan bawah permukaan bumi memiliki kecepatan yang konstan; 2) *stacking velocity* sama dengan kecepatan rms (*velocity rms, root mean square*). Jadi perhitungan Dix's mengasumsikan bahwa lapisan bumi adalah isotropi dan relatif horizontal.

#### **b. Transformasi kecepatan ke tekanan efektif**

Prediksi tekanan pori dari data kecepatan belum tentu sepenuhnya merepresentasikan tekanan pori, karena sifat tekanan sangat bergantung kepada faktor lain seperti porositas, densitas, temperatur, *poisson's ratio* dan litologi. Oleh karena itu berbagai macam teknik dan metode digunakan untuk menghilangkan efek-efek luar selain efek tekanan tersebut. Transformasi dilakukan dengan menggunakan metode Eatons (1975). Lebih lanjut tentang metode ini diuraikan pada Bab III. Hasil akhir dari transformasi ini adalah volume tekanan efektif, yang nantinya akan diubah menjadi tekanan pori dengan persamaan Terzaghi. Sebelum itu harus dilakukan pengolahan untuk mendapatkan parameter-parameter metode Eaton's berupa tekanan *overburden*, tekanan hidrostatik, *Normal Compaction Trend*, dan Koefisien Eaton's.

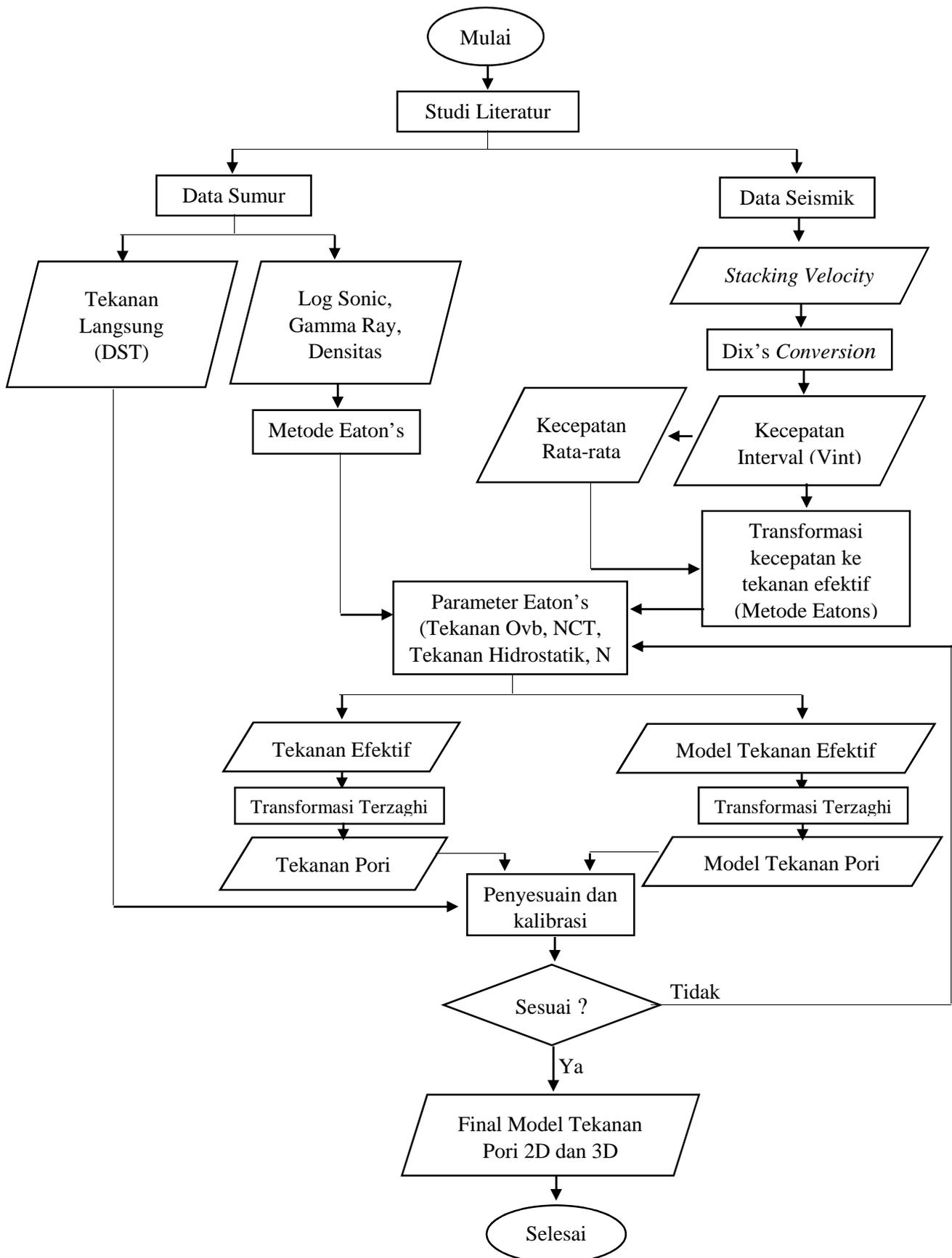
#### **c. Perhitungan Tekanan Formasi dengan Metode Terzaghi**

Metode Terzaghi menyebutkan bahwa tekanan pori adalah tekanan *overburden*

dikurangi oleh tekanan efektif. Jadi, sebelum menghitung tekanan pori harus dilakukan perhitungan tekanan *overburden* terlebih dahulu. Perhitungan tekanan *overburden* menggunakan persamaan yang dibahas pada Bab III. Selanjutnya, volume atau model dari tekanan pori yang sudah dihasilkan harus dikalibrasi dengan data tekanan aktual hasil pengukuran langsung.

#### **E. Diagram Alir**

Adapun diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 20**.



**Gambar 20.** Diagram alir penelitian

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil prediksi tekanan pori pada Formasi Gumai dan Baturaja secara perhitungan mendapatkan kisaran nilai minimum 1583.277 psi dan maksimum 2438.162 psi pada sumur TK-01, minimum 1628.075 psi dan maksimum 2923.607 psi pada sumur TK-02, dan minimum 1579.984 psi dan maksimum 2336.721 psi pada sumur TK-04.
2. Estimasi berat lumpur yang digunakan pada saat *drilling* sumur eksplorasi berdasarkan nilai tekanan pori adalah minimum 0.8 SG dan maksimum 1.2 SG pada sumur TK-01, minimum 0.8 SG dan maksimum 1.5 SG pada sumur TK-02, dan minimum 0.8 SG dan maksimum 1.5 SG pada sumur TK-04, agar tidak terjadi *blowout* dan bencana pengeboran.
3. Berdasarkan hasil distribusi tekanan secara lateral dan vertikal didapatkan hasil berupa Formasi Gumai berada pada kedalaman 1347 m dengan nilai tekanan 1600 psi, sampai Top Formasi Baturaja pada kedalaman 1591 m dengan nilai tekanan 2100 psi, dan melewati sumur TK-01. Formasi Gumai berada pada kedalaman 1502 m dengan nilai tekanan 1635 psi, sampai Top Formasi Baturaja pada kedalaman 1750 m dengan nilai tekanan 2303 psi, dan melewati

sumur TK-02. Formasi Gumai berada pada kedalaman 1502 m dengan nilai tekanan 2247 psi, sampai Top Formasi Baturaja pada kedalaman 1680 m dengan nilai tekanan 2200 psi, dan melewati sumur TK-04.

4. Berdasarkan hasil distribusi tekanan secara lateral dan vertikal Hasil prediksi tekanan efektif dan tekanan pori menunjukkan adanya nilai tekanan efektif yang rendah pada zona *Shale* tepat diatas reservoir Batugamping yang mengindikasikan sebagai adanya zona *Overpressure*. Penurunan tekanan pori pada saat memasuki reservoir dengan litologi Batugamping pada Formasi Baturaja menunjukkan bahwa batuan penutup berupa *Shale* yang tepat berada diatasnya memiliki *Sealing Capacity* yang baik untuk bisa memerangkap Hidrokarbon

## **B. Saran**

Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dari penelitian ini, berikut saran yang penulis berikan untuk penelitian selanjutnya.

1. Ketidakpastian dalam penentuan komponen tekanan Overburden dan tekanan Efektif karena faktor anisotropi batuan menjadi faktor yang perlu dipelajari lebih lanjut.
2. Menggunakan data Velocity Interval hasil turunan dari data seismik yang sudah dilakukan proses PSDM, dan juga data seismik dengan kualitas *High Resolution*, agar mendapatkan kondisi bawah permukaan yang lebih detail dan lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- AIFE. 2012. <http://dstdata.com/damage.htm>. Diakses pada tanggal 1 April 2017 pukul 20.00 WIB.
- Bishop, M.G. 2001. *South Sumatera Basin Province, Indonesia : The Lahat/Talang Akar-Cenozoic Total Petroleum System*. USGS : Colorado.
- Bowers, G.L. 1995. Pore Pressure Estimation from Velocity Data : Accounting for Overpressure Mechanism besides undercompaction. *SPE Drilling and Completion*. Paper IADC/SPE 27488.
- Darman, H. dan Sidi, F.H. 2000. *An Outline of The Geology of Indonesia*. Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- De Coster, G.L. 1974. The Geology of The Central and South Sumatera Basin. *Proceeding of Indonesian Petroleum Association 1974*, hal 77-110.
- Dutta, N.C. 2000. *Petroleum Geology*. Elsevier : Amsterdam, hal 415.
- Eaton, B.A. 1975. The Equation for Geopressure Prediction from Well Logs. *SPE. Paper No, 5544*, 11 hal.
- Gafoer, S. Cobrie, T. dan Purnomo, J. 1986. *Peta Geologi Indonesia Lembar Lahat, Sumatera Selatan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi : Bandung.
- Ginanjari dan Syahputra, A. 2014. Perhitungan Tekanan Pori Lapisan Batuan Bawah Permukaan dengan Menggunakan Data Seismik Pantul. *Seminar Nasional Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran* : Bandung.

- Ginger, D. dan Fielding, K. 2005. The Petroleum System and Future Potential of the South Sumatera Basin. *Proceeding of Indonesian Petroleum Association 2005*, IPA05-G-039, hal 67 – 89.
- Harsono. A. 1997. *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log Edisi 8*, Schlumberger Oilfield : Jakarta.
- Irawan. 2014. Overpressure Characteristic in the Langkat Field, North Sumatera Basin, Indonesia. *Proceeding 3<sup>rd</sup> International Conference and Environmental Sciences IPCCBEE* vol.73, Singapura.
- Juriansyah, M.M. 2016. *Prediksi Tekanan Pori dan Tekanan Luap Menggunakan Log Talikawat dan Kecepatan Interval Seismik pada Cekungan Jawa Timur*. Tesis Pasca Sarjana Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan ITB : tidak diterbitkan.
- Mouchet, J.P. dan Mitchell, A. 1989. *Abnormal Pressures While Drilling*. Manual Techniques II. ElfAquitaine : Boussens.
- Pertamina BPPKA, 1997. *Petroleum Geology of Indonesian Basins : Principles, Methods and Application*. PT. Pertamina : Tidak diterbitkan.
- Pertamina. 2016. *Laporan Internal PT. Pertamina EP*. PT. Pertamina EP : Tidak diterbitkan.
- Ramadian. R. 2010. *Prediksi Tekanan Pori dengan Menggunakan Data Seismik 3D dan Data Sumur untuk Mengoptimalkan Program Pengeboran di Area-K, Cekungan Sumatera Tengah*. Tesis Pasca Sarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UI : Tidak diterbitkan.
- Ramdhan, A.M. Cicchino, dan Goulty. 2015. Regional Variation In Cretaceous Mudstone Compaction Trends Across Haltenbanken, Offshore Mid-Norway. *American Association of Petroleum Geologist*. Vol 21. Hal 17-34.
- Ramdhan, A.M. 2017. *Overpressure In Indonesia's Sedimentary Basins*. Department of Geology Institute of Technology Bandung Vol 1. Hal 42-45.

- Sayers, C.M., Jhonson, G.M., dan Denyer, G. 2002. Predrill Pore Pressure Prediction using Seismic Data. *Geophysics, Vol 67, No 4*. hal 1286-1292.
- Siregar, R., Wisnu, R., Setiawan, A. dan Hendarman. 2013. Pore Pressure Prediction from 2D Seismic, In Bentu Block, Central Sumatera Basin, Indonesia. *Proceedings HAGI-IAGI Joint Convention Medan*. Hal 1.
- SKKMIGAS. 2016. *Migas Indonesia Apa Adanya*. Humas SKKMIGAS : Jakarta
- Stoeckel. 1989. *Log Interpretation Principles or Application*. Schlumberger : Texas.
- Swarbick, R.E., Osborne, M.J., dan Yardley, G.S. 2002. Comparison of Overpressure Magnitude Resulting from the Main Generating Mechanism. *American Association of Petroleum Geologist. Tulsa. Memoir 76*. Hal 1-12.
- Terzaghi, K. dan Peck, R.B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice 2nd Edition*. Jhon Wiley & Sons : New York.
- Yanto, H. 2011. *Prediksi Tekanan Pori dengan Menggunakan Data Kecepatan Seismik : Studi Kasus, Lapangan X Laut Dalam Selat Makasar*. Tesis Pasca Sarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. UI : tidak diterbitkan.