

TUGAS AKHIR - CF234722

ANALISIS *PORE PRESSURE* DAN *COLLAPSE PRESSURE* MENGGUNAKAN METODE EATON UNTUK IDENTIFIKASI *WELLBORE STABILITY* DI LAPANGAN “FRE”

E.T.A. FARHAN

NRP 5017211053

Dosen Pembimbing

Ir. Eki Komara, S.T., M.T.

NIP 198711232020121010

Ir. Nita Ariyanti, S.T., M.Eng.

NIP 1986202072087

Program Studi Teknik Geofisika

Departemen Teknik Geofisika

Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

Halaman ini sengaja dikosongkan



TUGAS AKHIR - CF234722

**ANALISIS *PORE PRESSURE* DAN *COLLAPSE PRESSURE*
MENGUNAKAN METODE EATON UNTUK IDENTIFIKASI
WELLBORE STABILITY DI LAPANGAN “FRE”**

E.T.A. FARHAN

NRP 5017211053

Dosen Pembimbing

Ir. Eki Komara, S.T., M.T.

NIP 198711232020121010

Ir. Nita Ariyanti, S.T., M.Eng.

NIP 1986202072087

Program Studi Teknik Geofisika

Departemen Teknik Geofisika

Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - CF234722

ANALYSIS OF PORE PRESSURE AND COLLAPSE PRESSURE USING EATON METHOD TO IDENTIFY WELLBORE STABILITY IN “FRE” FIELD

E.T.A. Farhan

NRP 5017211053

Advisor

Ir. Eki Komara, S.T., M.T.

NIP 198711232020121010

Ir. Nita Ariyanti, S.T., M.Eng.

NIP 1986202072087

Study Program Geophysical Engineering

Department of Geophysical Engineering

Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *PORE PRESSURE* DAN *COLLAPSE PRESSURE* MENGGUNAKAN METODE EATON UNTUK IDENTIFIKASI *WELLBORE STABILITY* DI LAPANGAN “FRE”


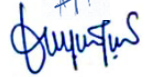


TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi S-1 Teknik Geofisika
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **E.T.A. Farhan**

NRP. 5017211053

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | | |
|----------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Ir. Eki Komara, S.T., M.T. | Pembimbing | () |
| 2. Ir. Nita Ariyanti, S.T., M.Eng. | Ko-pembimbing | () |
| 3. Dr. Ir. Widya Utama, DEA, IPU, ASEAN Eng. | Penguji | () |
| 4. Ir. Firman Syaifuddin, S.Si., M.T. | Penguji | () |

SURABAYA

Juli, 2025

Halaman ini sengaja dikosongkan

APPROVAL SHEET

ANALYSIS OF PORE PRESSURE AND COLLAPSE PRESSURE USING EATON METHOD TO IDENTIFY WELLBORE STABILITY IN “FRE” FIELD





FINAL PROJECT

Submitted to fulfil one of the requirements
for obtaining a degree of Bachelor of Engineering at
Undergraduate Study Program of Geophysics Engineering
Departement of Geophysical Engineering
Faculty of Civil, Planning and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology

By : **E.T.A. Farhan**

NRP. 5017211053

Approved by Final Project Examiner Team:

- | | | |
|----------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Ir. Eki Komara, S.T., M.T. | Advisor | () |
| 2. Ir. Nita Ariyanti, S.T., M.Eng. | Co-Advisor | () |
| 3. Dr. Ir. Widya Utama, DEA, IPU, ASEAN Eng. | Examiner | () |
| 4. Ir. Firman Syaifuddin, S.Si., M.T. | Examiner | () |

SURABAYA

July, 2025

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : E.T.A. Farhan/5017211053
Program studi : Teknik Geofisika
Dosen Pembimbing/ NIP : Ir. Eki Komara, S.T., M.T.
198711232020121010
Dosen Pembimbing 2/NIP : Ir. Nita Ariyanti, S.T., M.Eng.
1986202072087

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **Analisis *Pore Pressure* dan *Collapse Pressure* Menggunakan Metode Eaton untuk Identifikasi *Wellbore Stability* di Lapangan “FRE”** adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Juli 2025

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Ir. Eki Komara, S.T., M.T.

NIP. 198711232020121010

Mahasiswa



E.T.A. Farhan

NRP. 5017211053

Mengetahui
Ko-Pembimbing



Ir. Nita Ariyanti, S.T., M.Eng.

NIP. 1986202072087

Halaman ini sengaja dikosongkan

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of Student / NRP	: E.T.A. Farhan/5017211053
Study Program	: Geophysics Engineering FTSPK-ITS
Advisor/ NIP	: Ir. Eki Komara, S.T., M.T. 198711232020121010
Co-Advisor/NIP	: Ir. Nita Ariyanti, S.T., M.Eng. 1986202072087

Hereby Declare that the Final Project with the title **Analysis of Pore pressure and Collapse Pressure Using Eaton Method to Identify Wellbore Stability in “FRE” Field** is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Sepuluh Nopember Institute of Technology.

Surabaya, July 2025

Acknowledged
Advisor



Ir. Eki Komara, S.T., M.T.
NIP. 198711232020121010

Student



E.T.A. Farhan
NRP. 5017211053

Acknowledged
Co-Advisor



Ir. Nita Ariyanti, S.T., M.Eng.
NIP. 1986202072087

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

ANALISIS *PORE PRESSURE* DAN *COLLAPSE PRESSURE* MENGGUNAKAN METODE EATON UNTUK IDENTIFIKASI *WELLBORE STABILITY* DI LAPANGAN “FRE”

Nama Mahasiswa / NRP : E.T.A. Farhan / 5017211053
Departemen : Teknik Geofisika FTSPK - ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Eki Komara, S.T., M.T.
Ir. Nita Ariyanti, S.T., M.Eng

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi *pore pressure*, menentukan distribusi *pore pressure*, dan mengidentifikasi *wellbore stability*. Data yang digunakan meliputi *logging* (*gamma ray*, *sonic*, dan *density*), data tekanan langsung (DST dan LOT), serta data seismik 3D *post-stack*. Metode Eaton diterapkan untuk estimasi *pore pressure* dan *collapse pressure*, yang kemudian divalidasi menggunakan data tekanan langsung. Selain itu, data seismik diolah untuk menghasilkan peta distribusi *pore pressure* dalam dimensi lateral. Berdasarkan penelitian ini, *pore pressure* lapangan “FRE” berada pada rentang 0.87 hingga 1.26 sg EMW dengan persebaran *pore pressure* yang semakin meningkat dan berbanding lurus dengan kedalaman. *Overpressure* diindikasikan pada nilai *pore pressure* yang melebihi batas hidrostatik yaitu 1.03 sg EMW yang diakibatkan adanya pembebanan *overburden* yang menyebabkan kegagalan batuan untuk kompak sehingga tekanan efektif menjadi konstan dan *pore pressure* meningkat. Terdapat peningkatan tekanan namun tidak signifikan pada area timur lapangan “FRE” sebagai area rendahan. Peningkatan tekanan yang tidak signifikan disebabkan oleh litologi *shale* yang gagal kompak memiliki interval kedalaman yang tipis yaitu 10-15 meter dengan sisipan batu pasir tipis 4-8 meter. Pada lapangan “FRE” tiga dari lima sumur yaitu FRL-001, FRM-013, dan FRM-014 mengalami *wellbore instability* yang diakibatkan oleh *mudweight* yang tidak dapat menahan *collapse pressure* pada sumur-sumur tersebut. *Pore pressure* tinggi dengan litologi yang lemah secara mekanik, dan tekanan lumpur (*mudweight*) yang tidak mencukupi untuk menahan tegangan formasi.

Kata kunci: *Pore Pressure, Collapse Pressure, Geohazard*

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

ANALYSIS OF PORE PRESSURE AND COLLAPSE PRESSURE USING EATON METHOD TO IDENTIFY WELLBORE STABILITY IN “FRE” FIELD

Name of Student/ NRP : E.T.A. Farhan / 5017211053
Departement : Teknik Geofisika FTSPK - ITS
Advisor : Ir. Eki Komara, S.T., M.T.
Ir. Nita Ariyanti, S.T., M.Eng

Abstract

This study aims to predict pore pressure, determine pore pressure distribution, and identify wellbore stability. The data used includes logging (gamma ray, sonic, and density), direct pressure data (DST and LOT), and 3D post-stack seismic data. The Eaton method was applied to estimate pore pressure and collapse pressure, which was then validated using direct pressure data. In addition, seismic data was processed to produce a map of pore pressure distribution in the lateral dimension. Based on this study, the pore pressure of the “FRE” field ranges from 0.87 to 1.26 sg EMW, with pore pressure distribution increasing and directly proportional to depth. Overpressure is indicated by pore pressure values exceeding the hydrostatic limit of 1.03 sg EMW, caused by overburden loading that prevents the rock from compacting, resulting in constant effective pressure and increased pore pressure. There is an increase in pressure, though not significant, in the eastern part of the “FRE” field, which is a low-lying area. The insignificant pressure increase is caused by the shale lithology, which fails to compact, having a thin depth interval of 10–15 meters with thin sandstone interbeds of 4–8 meters. In the “FRE” field, three of the five wells, namely FRL-001, FRM-013, and FRM-014, experienced wellbore instability caused by mud weight that could not withstand the collapse pressure in those wells. High pore pressure with mechanically weak lithology and insufficient mud weight to withstand formation stress.

Keywords: *Pore Pressure, Collapse Pressure, Geohazard*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang Maha Agung, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penelitian tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir berjudul **Analisis Pore Pressure dan Collapse Pressure Menggunakan Metode Eaton untuk Identifikasi Wellbore Stability di Lapangan “FRE”** merupakan syarat untuk menyelesaikan Pendidikan jenjang Sarjana S-1 Teknik Geofisika ITS. Dalam proses penyelesaian penelitian tugas akhir ini tentunya tidak selalu berjalan lancar karena sering kali ada beberapa masalah dan hambatan. Penulis ingin sampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang selalu mendukung penulis dan memberikan bantuan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, yaitu:

1. Keluarga Penulis, Ibu, Ajo dan Kak Tia sekeluarga, Abang dan Itah sekeluarga, Ina, serta seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis.
2. Bapak Ir. Eki Komara, S.T., M.T. dan Ibu Ir. Nita Ariyanti, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing atas ilmu, masukan, dan kritik yang membangun sehingga penelitian tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Ir. Firman Syaifuddin, S.Si., M.T., bapak Dr. Ir. Widya Utama, DEA, IPU, ASEAN Eng., selaku dosen penguji atas saran dan masukan kepada penulis dalam tugas akhir ini.
4. Keluarga Besar PT. Gecko Geomekanika Persada, Pak Tio, Pak Dodi, Mas Dimas, Mas Imam, Mas Khelvin, Kak Ansila, dan Kak Eva selaku teman dan mentor instansi yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan ilmu kepada penulis selama belajar di PT. Gecko Geomekanika Persada.
5. Putri Dwi Suriani dan teman-teman “Goes to Pantai” yaitu Priska, Rifky, Ezek, Yusril, Fiko, Rana, Fathan, Ayu, Maha, Ratna, dan Atul sebagai teman diskusi, mengerjakan tugas, bermain, dan jalan-jalan semasa kuliah.
6. Teman-teman TG10 yang selalu bersama sejak masuk perkuliahan hingga lulus, membantu penulis dalam menjalani perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir.
7. Teman-teman organisasi di ITS yaitu PLH SIKLUS ITS, HMTG ITS, BEM ITS khususnya Kementerian Lingkungan Hidup dan Kebencanaan, serta Pemandu FT-SPK sebagai tempat penulis dalam berkembang dalam manajemen organisasi dan kegiatan.
8. Teman-teman Umat, Putra, Ramdoni, Bagas, Kia, dan Wahyu yang selalu menjadi tempat pulang, bermain, dan belajar sejak SMP.
9. Teman-teman angkatan empat Man Insan Cendekia Ogan Komering Ilir yang berada di penjuru Indonesia dan kemanapun penulis pergi selalu disambut hangat.
10. Jajaran dosen, Tenaga Pendidik, dan staff Departemen Teknik Geofisika ITS atas kontribusi dan dedikasinya dalam proses pembelajaran di Teknik Geofisika ITS.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penelitian tugas akhir ini disusun dengan penuh kesungguhan dan ketelitian, akan tetapi penulis juga menyadari bahwa karya manusia tidak luput dari kekurangan dan kesalahan. Penulis berharap semoga penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk banyak pihak dan dapat dijadikan sebagai pembuka wawasan baru mengenai ilmu geofisika dan kebencanaan.

Surabaya, Juli 2025

E.T.A. Farhan
NRP. 5017211053

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
APPROVAL SHEET	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
STATEMENT OF ORIGINALITY	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	3
2.2 Geologi Regional.....	5
2.3 Dasar Teori	6
2.3.1 Prinsip Terzaghi.....	6
2.3.2 Konsep Tekanan	6
2.3.3 Konsep Overpressure.....	9
2.3.4 Well Logging.....	9
2.3.5 Overpressure Menggunakan Data Seismik.....	12
2.3.6 Prediksi Pore Pressure	12
2.3.7 Prediksi Collapse Pressure.....	13
BAB III METODOLOGI	15
3.1 Lokasi dan Data Penelitian	15
3.2 Perangkat Penelitian	15
3.3 Urutan pelaksanaan penelitian.....	15
3.3.1 Studi Literatur.....	16
3.3.2 Inventarisasi Data	16
3.3.3 Pengolahan Data Sumur	17
3.3.4 Pengolahan Data Seismik	23

3.3.5 Analisis Hasil dan Pembuatan Laporan	27
BAB IV Hasil dan Pembahasan.....	29
4.1 1D <i>Pore Pressure</i> dan <i>Collapse Pressure</i>	29
4.1.1 Sumur FRL-001	29
4.1.2 Sumur FRR-001	31
4.1.3 Sumur FRM-013	32
4.1.4 Sumur FRM-014	35
4.1.5 Sumur FRN-002.....	37
4.2 Korelasi <i>Pore Pressure</i> Sumur	38
4.3 Korelasi <i>Pore Pressure</i> Sumur dan Seismik.....	38
4.4 <i>Pore pressure</i> 3D Seismik	39
4.5 Analisis <i>Wellbore Stability</i>	41
BAB V Kesimpulan dan Saran.....	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47
BIODATA PENULIS.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Menetapkan garis tren pemadatan normal (NCT) pada resistivitas dalam formasi dan <i>log</i> kelambatan sonik kompresi terhadap zona serpih (Sen dkk, 2020)	3
Gambar 2.2 Hasil tekanan-kedalaman pada pada reservoir karbonat (Khattab <i>et al</i> , 2020)	4
Gambar 2.3 Kolom Stratigrafi Umum Cekungan Jawa Barat Utara (Michele, 2000)	5
Gambar 2.4 Tekanan Hidrostatik, <i>Pore Pressure</i> , Tekanan <i>Overburden</i> , dan Tekanan Efektif di dalam Lubang Bor (Jincai Zhang, 2011).	7
Gambar 2.5 Definisi <i>pore pressure</i> (Ramdhan, 2016)	8
Gambar 2.6 Respon tekanan efektif terhadap mekanisme pembentukan overpressure (Bowers, 2002)	9
Gambar 2.7 Kurva <i>Log Gamma Ray</i> terhadap Litologi (Glover, 2000)	10
Gambar 2.8 Kurva <i>log</i> resistivitas terhadap Litologi dan Fluida (Glover, 2000)	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	16
Gambar 3.2 <i>Drilling Report Review</i>	17
Gambar 3.3 <i>Technical Data</i>	18
Gambar 3.4 Tekanan <i>Overburden</i>	18
Gambar 3.5 <i>Picking Shale</i> dan <i>Non-Shale</i>	19
Gambar 3.6 <i>Normal Compaction Trendline</i>	20
Gambar 3.7 Tekanan Hidrostatik	21
Gambar 3.8 Perhitungan <i>Pore pressure</i> (G_Pore/P_Pore)	22
Gambar 3.9 <i>Collapse Pressure</i> ($G_Collapse/P_Collapse$)	23
Gambar 3.10 Koreksi <i>Chechkshot</i>	23
Gambar 3.11 <i>Amplitude Spectrum</i>	24
Gambar 3.12 Ekstraksi <i>Wavelet</i>	24
Gambar 3.13 <i>Well to Seismic Tie</i>	25
Gambar 3.14 <i>Initial Model</i>	25
Gambar 3.15 Analisis Pra Inversi	26
Gambar 3.16 Inversi Seismik	27
Gambar 3.17 Sebaran <i>Pore pressure</i>	27
Gambar 4.1 <i>Basemap</i> Sumur Lapangan “FRE”	29
Gambar 4.2 Model <i>Pore Pressure</i> dan <i>Collapse Pressure</i> FRL-001	31
Gambar 4.3 Model <i>Pore Pressure</i> dan <i>Collapse Pressure</i> FRR-001	32
Gambar 4.4 Model <i>Pore Pressure</i> dan <i>Collapse Pressure</i> FRM-013	33
Gambar 4.5 (a) Analisis Mekanisme <i>Overpressure</i> Sumur FRM-013 (b) <i>Overpressure</i> Pada Mekanisme Loading (Ramdhan, 2022)	34
Gambar 4.6 <i>Crossplot Velocity-Density</i> (R. Swarbrick, 2012)	34
Gambar 4.7 <i>Crossplot Velocity-Density</i> Pada Sumur FRM-013 (a) <i>Crossplot</i> Keseluruhan Data Sumur (b) <i>Crossplot Interval Shale Zona Overpressure</i>	35
Gambar 4.8 Model <i>Pore Pressure</i> dan <i>Collapse Pressure</i> FRM-014	36
Gambar 4.9 Model <i>Pore Pressure</i> dan <i>Collapse Pressure</i> FRN-002	37
Gambar 4.10 Korelasi Antar Sumur	38
Gambar 4.11 <i>Crossplot Pore Pressure</i> Seismik dan <i>Pore Pressure</i> Sumur	39
Gambar 4.12 <i>Arbitrary Line</i> Seismik	40
Gambar 4.13 Peta Sebaran <i>Pore pressure</i> Lapangan “FRE” (a) <i>Slice Horizon</i> MMC +0ms (b) <i>Slice Horizon</i> MMC +100ms (c) <i>Slice Horizon</i> MMC +0ms (d) <i>Slice Horizon</i> MMC +0ms (e) <i>Slice Horizon</i> MMC +0ms (f) <i>Slice Horizon</i> MMC +0ms	41

Gambar 4.14 <i>Wellbore Instability</i> Sumur FRL-001.....	42
Gambar 4.15 <i>Wellbore Stability</i> Sumur FRR-001	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Tekanan Hidrostatik.....	7
Tabel 3.1 Ketersediaan Data Sumur	16
Tabel 3.2 Analisis <i>Tunning Thickness</i>	26
Tabel 4.1 <i>Geomechanics Hazard</i> FRL-001	29
Tabel 4.2 <i>Geomechanics Hazard</i> FRM-013	33
Tabel 4.3 <i>Geomechanics Hazard</i> FRM-014	35

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Overpressure sering kali ditemukan di area yang menguntungkan dalam *petroleum system*. *Overpressure* terjadi akibat *pore pressure* yang melebihi tekanan hidrostatik. Area *overpressure* dapat ditemukan baik di darat maupun di lepas pantai, terutama di wilayah sedimentasi aktif seperti *shelf* dan lingkungan *deep water* (Pratiwi, 2021). *Pore pressure* juga muncul di area yang lebih stabil, seperti di Cekungan Jawa Barat dengan mekanisme pembentukan yang bervariasi tergantung pada kondisi geologi dan sedimentologi setempat. Keberadaan *pore pressure* yang tidak terprediksi dapat menyebabkan tantangan dalam operasi pengeboran, sehingga analisis yang tepat menjadi sangat penting untuk meminimalisasi risiko (Gusti dkk, 2024).

Identifikasi dan prediksi *pore pressure* suatu formasi menentukan keberhasilan pengeboran. *Pore Pressure* memainkan peran kunci dalam mitigasi risiko di zona *overpressure*, di mana *overpressure* yang tidak terkontrol dapat memicu masalah serius, termasuk *blowout*. *Pore pressure* menyumbang hingga 27% terhadap keberhasilan mitigasi bencana akibat zona *overpressure* (Syahputra *et al*, 2017). Analisis tekanan bawah permukaan diperlukan untuk menentukan *mudweight* yang optimal guna menjaga *wellbore stability*, terutama di wilayah dengan tekanan tinggi yang dapat mempengaruhi tegangan sekitarnya. Selama operasi pengeboran di berbagai lapangan, masalah pengeboran seperti *kick* (aliran fluida formasi yang tidak terkendali) dan *pipe sticking* (tersangkutnya pipa bor) sering terjadi, terutama di area dengan *pore pressure* yang tinggi (Bungasalu, 2022). Masalah-masalah ini dapat menyebabkan peningkatan *Non-Productive Time* (NPT) dan berdampak langsung pada biaya dan efisiensi operasional (Bungasalu *et al*, 2019). Analisis yang cermat terhadap tekanan bawah permukaan akan meminimalkan masalah tersebut, sehingga *Non-Productive Time* (NPT) dapat ditekan dan eksploitasi cadangan hidrokarbon dapat dioptimalkan.

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk memprediksi *overpressure*. Metode yang digunakan untuk menentukan *overpressure* berdasarkan data *well log* (Metode Eaton atau Bowers) atau menggunakan data seismik berupa kalibrasi *velocity* data seismik dan impedansi akustik. Al Mahdy *et al* (2018) melakukan penelitian pada cekungan Abu El-Gharadig dan penelitian yang dilakukan Jincai Zhang (2011) menghasilkan bahwa metode Bowers menghitung *effective stress* dari data *pore pressure* yang diukur dan *overburden*, serta menganalisis kecepatan interval sonik yang terkait dari data *logging* sumur. Metode ini memiliki hubungan antara kecepatan sonik dan *effective stress*. Hal tersebut terbukti efektif di banyak cekungan sedimentasi. Selain itu, M. Azadpour (2015) melakukan penelitian pada lapangan di selatan negara Iran dan Y Xu *et al* (2023) didapatkan bahwa metode Eaton dapat memprediksi *pore pressure* berdasarkan data waktu transit sonik dan resistivitas yang sangat berguna dalam cekungan sedimen muda. Metode ini menggunakan hubungan empiris antara waktu *transit sonic* dan *pore pressure*, sehingga dapat memberikan estimasi yang akurat dalam banyak kasus. Pada penelitian ini, dilakukan studi yang menggabungkan analisis data *well log* dan data seismik pada lapangan “FRE” Cekungan Jawa Barat Utara untuk memprediksi *pore pressure* dan mendapatkan persebaran *pore pressure* pada lapangan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana prediksi *pore pressure* berdasarkan data sumur pada lapangan “FRE”?
2. Bagaimana persebaran *pore pressure* lapangan “FRE”?
3. Bagaimana *wellbore stability* pada lapangan “FRE” berdasarkan data sumur?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian tugas akhir ini memiliki batasan masalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder perusahaan berupa data sumur dan data seismik.
2. Pengolahan dilakukan menggunakan metode Eaton.
3. Persebaran *pore pressure* hanya dilakukan pada interval penelitian.
4. Analisis dan pengolahan *pore pressure* terbatas pada lapangan “FRE” Cekungan Jawa Barat Utara.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah pada penelitian ini, maka tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut.

1. Memprediksi *pore pressure* berdasarkan data sumur pada lapangan “FRE”.
2. Menganalisis persebaran *pore pressure* lapangan “FRE”.
3. Menganalisis *wellbore stability* pada lapangan “FRE” berdasarkan data sumur.

1.5 Manfaat

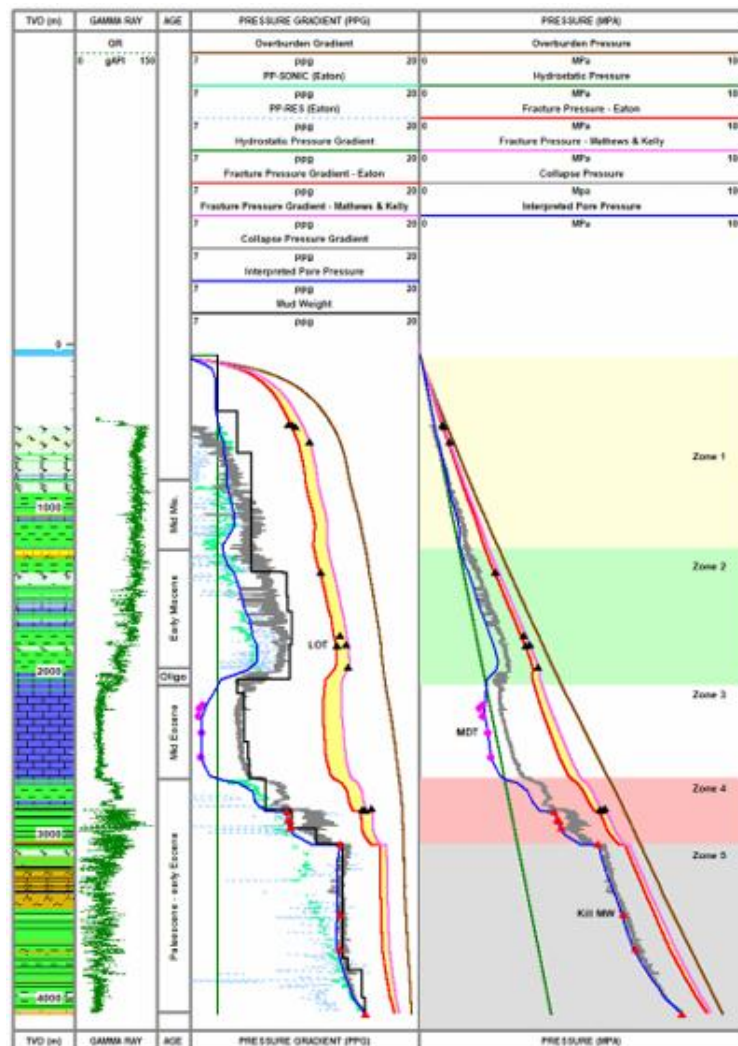
Melalui penelitian ini, diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Penelitian ini dapat menjadi bahan studi lanjutan terkait analisis *pore pressure* pada sumur di suatu lokasi.
2. Penelitian ini dapat menjadi dasar sebagai tinjauan lanjutan untuk penerapan analisis *pore pressure* pada suatu lapangan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

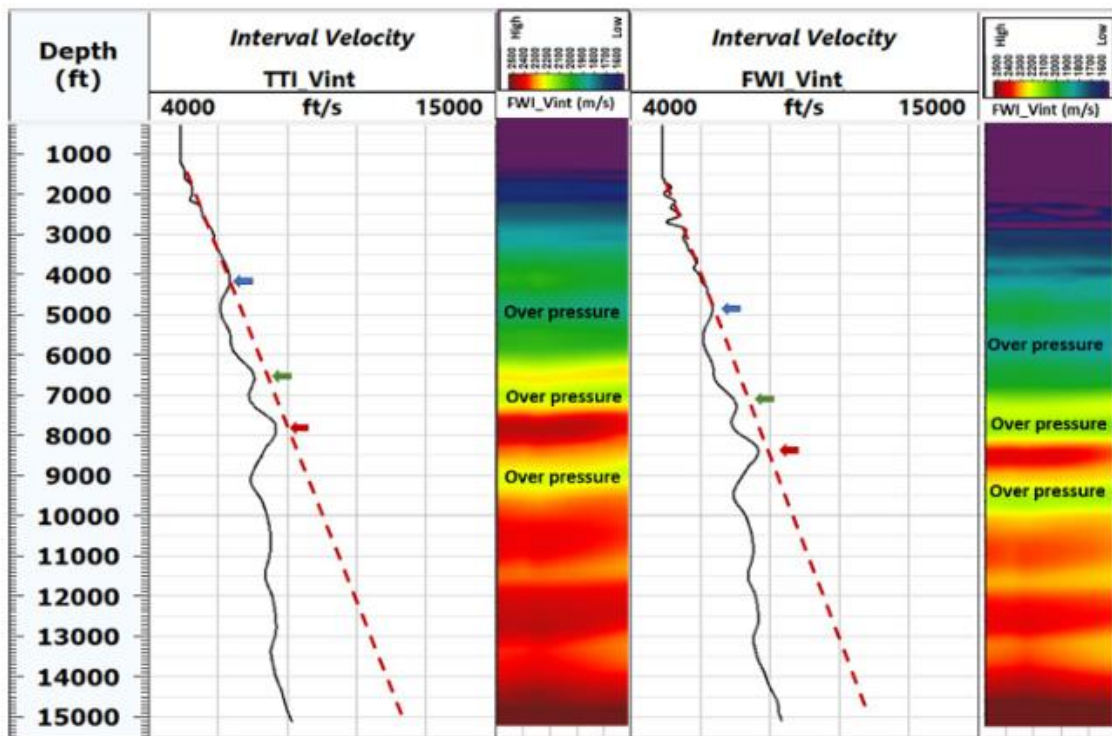
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Identifikasi *pore pressure* atau zona *overpressure* merupakan aspek yang krusial dalam proses pengeboran, karena dapat mempengaruhi strategi dan keselamatan pengeboran. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memodelkan dan memprediksi *pore pressure* di berbagai jenis reservoir. Penelitian oleh Battu *et al* (2019) yang dilakukan di wilayah utara lapangan "X" di Kalimantan Timur, mengintegrasikan data *log* dan parameter pengeboran untuk mendeteksi profil tekanan di area yang menunjukkan fenomena *overpressure*. Metode Eaton dan Bowers digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis *pore pressure*, menghasilkan tiga jenis profil tekanan, yaitu zona tekanan rendah, zona transisi, dan zona *overpressure* berat yang memerlukan pengendalian sumur (Syaputra, 2017). Meskipun demikian, penelitian ini belum memanfaatkan data wireline secara komprehensif, dan metode yang digunakan perlu ditingkatkan dengan mengintegrasikan data seismik dan analisis statistik untuk meningkatkan akurasi prediksi.



Gambar 2.1 Menetapkan garis tren pemadatan normal (NCT) pada resistivitas dalam formasi dan *log* kelambatan sonik kompresi terhadap zona serpih (Sen dkk, 2020)

Penelitian yang dilakukan Sen *et al* (2020) pada gambar 2.1 mengembangkan model *pore pressure*, *fracture pressure*, dan *collapse pressure* untuk area lepas pantai Panna di India barat. Hasilnya menunjukkan gradien stres vertikal rata-rata sebesar 23 MPa/km dan identifikasi lima zona *pore pressure*, termasuk zona *overpressure* signifikan pada sedimen Paleosen hingga Eosen awal dengan gradien tekanan mendekati litostatik. *Pore pressure* yang meningkat diidentifikasi sebagai hasil dari *disequilibrium compaction* yang berkaitan dengan tingkat sedimentasi tinggi selama Paleosen hingga Eosen awal. *Disequilibrium compaction* terjadi karena sedimen tidak dapat mengeluarkan fluida akibat laju sedimentasi yang cepat dan batuan tidak dapat mengalirkan fluida. Sementara itu, Formasi Bassein, yang merupakan reservoir utama, menunjukkan kondisi sub-hidrostatik akibat penurunan tekanan terkait produksi jangka panjang.

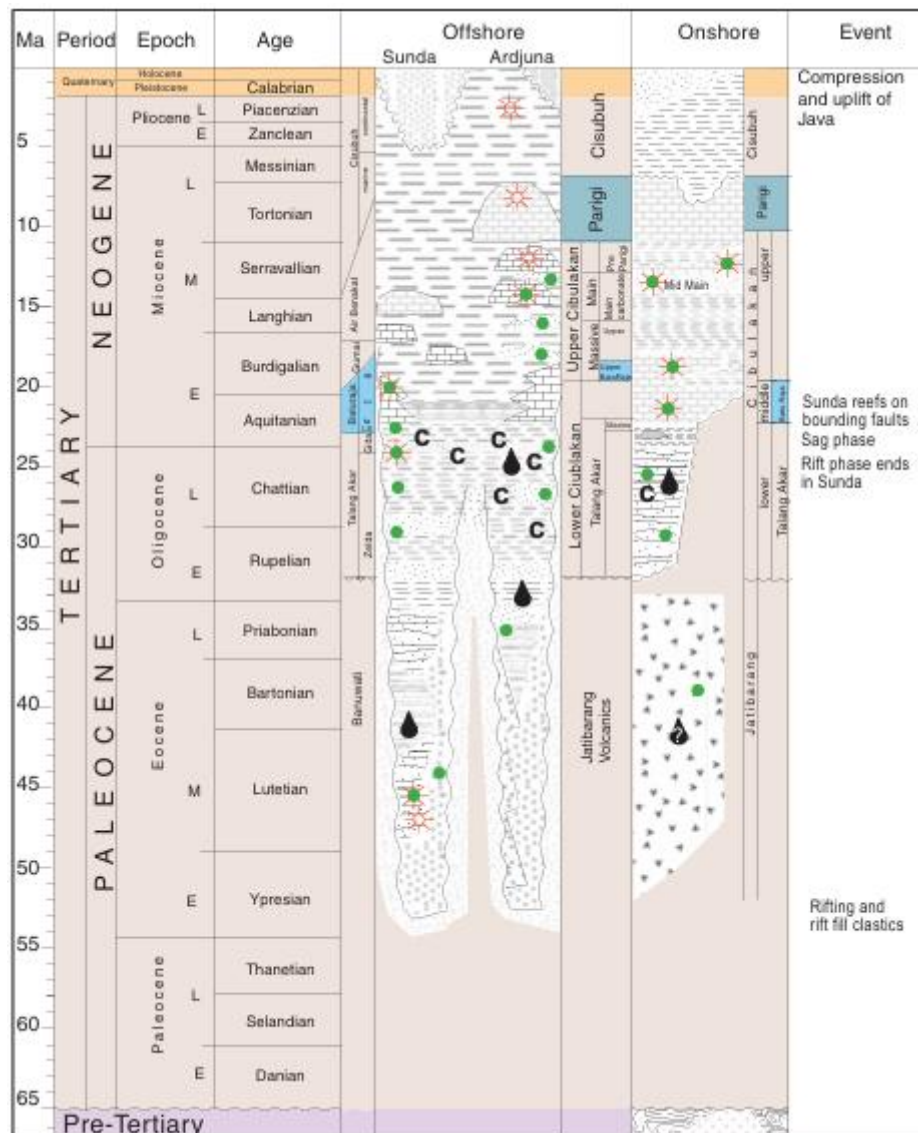


Gambar 2.2 Hasil tekanan-kedalaman pada pada reservoir karbonat (Khattab *et al*, 2020)

Khattab *et al* (2020) pada gambar 2.2, dan model yang diajukan oleh Zhang (2011) menunjukkan bahwa kombinasi teknik berbasis *log* dan seismik dapat menghasilkan prediksi *pore pressure* yang lebih handal, terutama dalam lingkungan geologi yang kompleks. Batuan *shale* (Post dan Pre-Messinian) pada penelitian Khattab *et al* (2020) menghasilkan *overpressure* melalui *disequilibrium compaction* akibat sedimentasi cepat dan kegagalan batuan dalam mengalirkan fluida sehingga meningkatkan *pore pressure* untuk menahan *overburden*. Pada tahun 2017 terdapat penelitian yang dilakukan Budiman, Warnana, dan Syaifuddin mengenai komparasi metode Eaton dan Bowers secara teoritis yang menyatakan bahwa metode Eaton yang tidak memerlukan nilai pengukuran tekanan dan tidak cocok pada kasus dengan mekanisme *unloading* sedangkan metode Bowers cocok pada kasus *unloading* atau kasus dengan nilai *pore pressure* tinggi. Hasil yang didapatkan pada kedalaman 1500-1600 m metode Eaton dinilai cocok sedangkan pada kedalaman 1600 - 1700 m metode Bowers dinilai lebih cocok walaupun terdapat perbedaan 200-400 psi.

2.2 Geologi Regional

Cekungan Jawa Barat Utara yang secara regional termasuk dalam sistem *back-arc basin* akibat aktivitas subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia. Secara geografis, cekungan ini terletak di barat laut Pulau Jawa dan berbatasan dengan Paparan Seribu di sebelah barat, Busur Karimunjawa di sebelah timur, Palung Bogor di sebelah selatan, dan dangkalan Sunda di sebelah utara. Luas total cekungan ini, termasuk wilayah daratan dan lepas pantai, adalah sekitar 40.000 km².



Cibulakan Atas (Miosen Tengah) tersusun atas serpih, batupasir, dan batugamping terumbu. Formasi Parigi (Miosen Akhir) dan Formasi Cisubuh (Plio-Pleistosen) menutup urutan stratigrafi sebagai hasil pengendapan di laut dangkal hingga transisi ke lingkungan darat yang dipengaruhi tektonik kompresi. Sistem sesar berarah utara-selatan (tren Sunda) dan barat laut-tenggara (tren Meratus) yang membentuk struktur graben, setengah graben, dan *negative/positive flower structure* yang merupakan ciri khas sesar mendatar (*strike-slip fault*) mendominasi struktur geologi Cekungan Jawa Barat bagian Utara. Pengendapan dan jebakan hidrokarbon secara signifikan dipengaruhi oleh struktur-struktur utama seperti Dataran Tinggi Rengasdengklok, Dataran Tinggi Gantar, dan Jatibarang Graben. Tiga fase utama evolusi tektonik cekungan ini adalah fase *syn-rift* pembentuk graben (Eosen-Oligosen), fase *pasca-rift* (Miosen Awal), ketika tektonik mereda dan pengendapan batu gamping secara ekstensif terjadi, dan fase busur belakang (Miosen Tengah-Baru), yang menunjukkan dampak kompresi dan vulkanisme yang mengubah struktur cekungan.

2.3 Dasar Teori

2.3.1 Prinsip Terzaghi

Menurut Terzaghi (1925), terdapat beberapa tekanan yang saling berkaitan di bawah permukaan, di antaranya tekanan *overburden*, yaitu tekanan yang dihasilkan oleh berat batuan sedimen di atasnya. *Pore pressure* merupakan tekanan yang berasal dari fluida di dalam batuan atau formasi, sedangkan tekanan efektif (*effective stress*) adalah tegangan yang terjadi akibat kontak antar matriks batuan. Terzaghi menjelaskan bahwa tekanan *overburden* ditahan secara bersamaan oleh *pore pressure* dan tegangan efektif, yang dirangkum dalam persamaan yang ia kembangkan (Terzaghi, 1925).

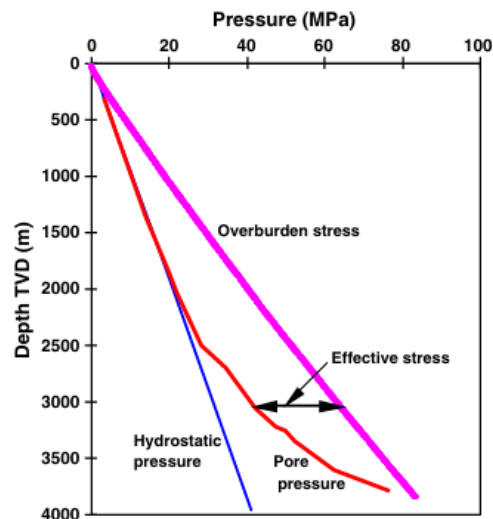
$$\sigma = p + \sigma' \quad 2.1$$

2.3.2 Konsep Tekanan

Berdasarkan prinsip Terzaghi (1943), *pore pressure* didefinisikan sebagai perbedaan antara tekanan *overburden* (S) dengan tekanan efektif (σ) yang dapat dituliskan sebagai berikut.

$$P = S - \sigma \quad 2.2$$

Tekanan efektif (σ) mengontrol proses kompaksi sedimen, jika terjadi pengurangan tekanan efektif pada kedalaman tertentu berarti terjadi pengurangan kompaksi batuan yang menghasilkan tekanan *overpressure*. Tekanan efektif (σ) mengontrol proses kompaksi sedimen, saat terjadi pengurangan tekanan efektif pada kedalaman tertentu berarti terjadi pengurangan kompaksi batuan yang menghasilkan tekanan *overpressure*.



Gambar 2.4 Tekanan Hidrostatik, *Pore Pressure*, Tekanan *Overburden*, dan Tekanan Efektif di dalam Lubang Bor (Jincai Zhang, 2011).

Pada area *subsurface* terdapat tekanan-tekanan yang berkaitan yaitu tekanan hidrostatik, tekanan *overburden*, tekanan efektif, dan *pore pressure* yang dapat terlihat pada gambar 2.4. Adapun penjelasan tekanan-tekanan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik merupakan tekanan yang diakibatkan oleh berat fluida yang berada di dalam pori-pori batuan. Nilai tekanan hidrostatik untuk setiap fluidanya akan berbeda-beda. Air tawar memiliki densitas 1 gr/cc, nilai gradien tekanan hidrostatiknya sebesar 0.433 psi/ft. Tabel 2.1 menunjukkan gradien tekanan hidrostatik normal untuk beberapa jenis fluida.

Tabel 2.1 Tabel Tekanan Hidrostatik

<i>Specific Gravity</i>	<i>API Gravity</i>	<i>Normal hydrostatic gradient (psi/ft)</i>	<i>Total Dissolved Solids (ppm)</i>
1.14 (brines)	-7.5°	0.494	210,000
1.12	-5.2°	0.485	175,800
1.10	-2.7°	0.476	143,500
1.05	3°	0.455	69,500
1.00 (<i>fresh water</i>)	10°	0.433	Zero
0.95	17°	0.411	
0.9	25°	0.390	
0.85 (<i>light oil</i>)	35°	0.368	
0.8	45°	0.346	
0.7	60°	0.303	
0.4 (gas)		0.130	

2. Tekanan *Overburden*

Tekanan *overburden* merupakan tekanan yang dihasilkan akibat dari pembebanan material sedimen yang berada di atasnya, termasuk fluida yang mengisi pori-pori batuan. Nilai tekanan *overburden* ini akan meningkat sering dengan bertambahnya kedalaman dan pada

umumnya memiliki gradien sebesar 1 psi/ft. Hal tersebut bergantung pada densitas sedimen yang terendapkan di atasnya. Rata-rata batuan sedimen hingga kedalaman 3-4 km, digunakan nilai asumsi densitas sebesar 2.3 g/cc (Mouchet dan Mitchell, 1989).

$$S = \rho_b g z \quad 2.3$$

$$\frac{S}{dz} = \rho_b g \quad 2.4$$

S = tekanan *overburden* (Pascals)

ρ_b = densitas *bulk* batuan ($g \cdot cm^{-3}$)

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

z = ketinggian kolom batuan sedimen (dihitung dari datum (meter))

3. Tekanan Efektif

Tekanan efektif didefinisikan sebagai perbedaan antara tekanan *overburden* dan *pore pressure* (Terzaghi dan Peck, 1967). Tekanan tersebut merupakan tekanan yang bekerja antar-matriks batuan dan tidak bisa diukur.

$$\sigma' = \sigma - p \quad 2.5$$

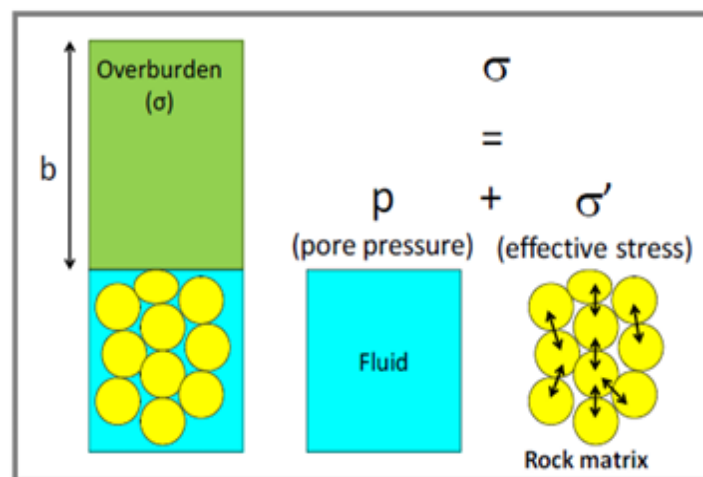
σ' = tekanan efektif (Pascals)

σ = tekanan *overburden* (Pascals)

p = *pore pressure* (Pascals)

4. Pore pressure

Pore pressure merupakan tekanan yang diakibatkan oleh fluida yang berada di pori-pori batuan. Gambar 2.5 menunjukkan bahwa pada batuan, terdapat *pore pressure* bersama dengan tekanan efektif menahan tekanan *overburden*. *Pore pressure* akan mengikuti garis normal hidrostatik apabila mengalami proses kompaksi normal.



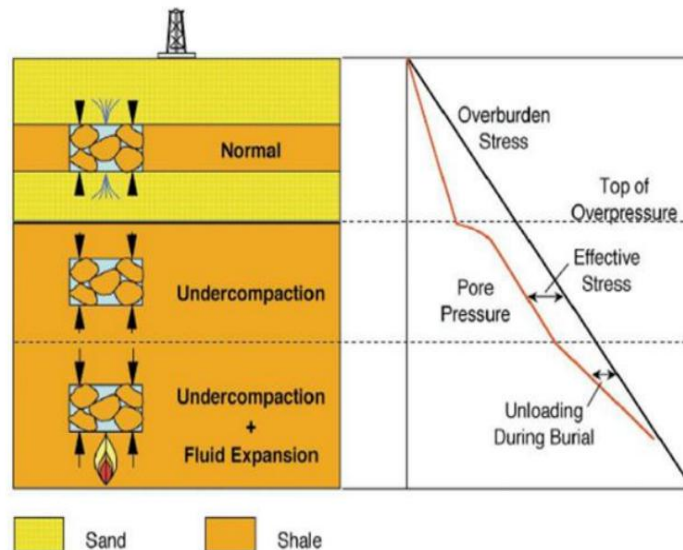
Gambar 2.5 Definisi *pore pressure* (Ramdhan, 2016)

Apabila *pore pressure* melebihi tekanan normal hidrostatik maka hal tersebut didefinisikan sebagai keadaan *overpressure*. Ketika *pore pressure* di bawah nilai tekanan normal hidrostatik, maka keadaan tersebut disebut didefinisikan sebagai keadaan *under pressure*. Satuan yang dipakai untuk tekanan dalam satuan standar internasional adalah Pa (Pascals),

sedangkan dalam sistem Inggris adalah psi (*pounds per square inch*) (1 psi = 6894.7 Pa). Satuan lain yang sering dipakai dalam proses pengeboran adalah ppg (*pounds per gallon*).

2.3.3 Konsep Overpressure

Pembentukan *overpressure* dalam sistem geologi dapat dijelaskan melalui dua mekanisme utama yaitu pembebanan (*loading*) dan *non*-pembebanan (*non-loading*). Mekanisme ini penting untuk dipahami dalam konteks eksplorasi minyak, gas, dan air tanah, karena *overpressure* dapat berdampak signifikan pada stabilitas pengeboran, produksi reservoir, serta interpretasi geomekanik. Mekanisme tersebut ditunjukkan pada gambar 2.6 *overpressure* yang dihasilkan oleh mekanisme *non-loading* menghasilkan tekanan yang jauh lebih tinggi. Hal tersebut terjadi karena ada faktor-faktor internal dalam formasi seperti diagenensis mineral lempung yang memicu pengurangan tekanan efektif secara signifikan akibat penambahan *volume* air yang meningkatkan *pore pressure* secara drastis saat fluida tidak dapat keluar pada sistem sedimen tersebut. Mekanisme ini tidak tergantung pada penambahan beban eksternal tetapi pada perubahan fisik atau kimiawi yang terjadi di dalam batuan atau fluida.



Gambar 2.6 Respon tekanan efektif terhadap mekanisme pembentukan overpressure (Bowers, 2002)

Overpressure yang berkaitan dengan *loading* terjadi ketika sedimen mengalami kompaksi akibat akumulasi beban dari lapisan di atasnya. Dalam kondisi normal, kompaksi sedimen menyebabkan keluarnya fluida dari pori-pori, sehingga *pore pressure* tetap seimbang dengan berat kolom batuan dan fluida di atasnya (tekanan hidrostatik). Namun, jika proses kompaksi ini terganggu atau jika sedimen mengalami laju pengendapan yang sangat cepat, fluida tidak dapat keluar dengan cukup cepat, menyebabkan peningkatan *pore pressure* yang dikenal sebagai *overpressure*. *Overpressure* akibat pembebanan biasanya terjadi secara alami melalui proses kompaksi, *overpressure non-loading* bisa muncul melalui proses internal formasi seperti dehidrasi mineral, akumulasi gas, atau aktivitas tektonik (Osborne & Swarbick, 1997).

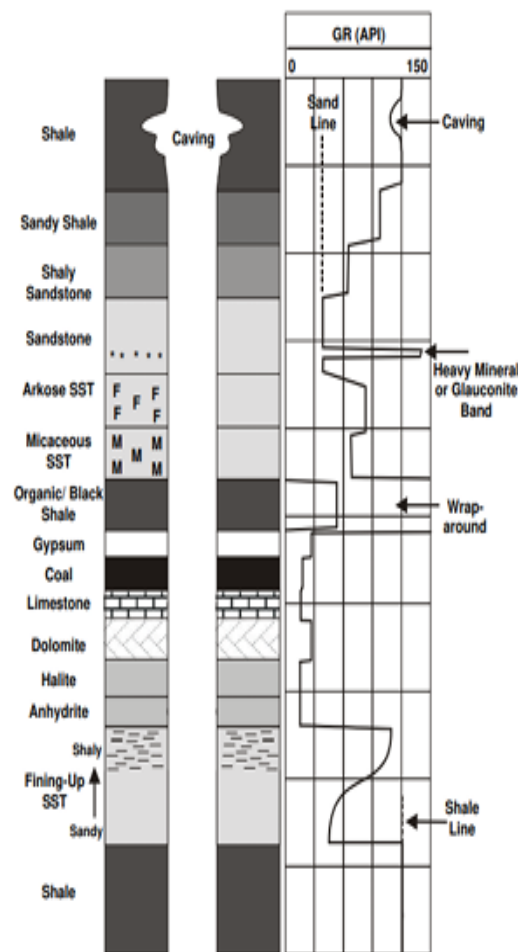
2.3.4 Well Logging

Well logging adalah metode yang digunakan dalam mendapatkan informasi bawah permukaan dengan mengukur properti batuan sepanjang kedalaman lubang bor. Proses *well logging* dilakukan dengan memasukkan alat metal silinder (*sonde*) yang terhubung dengan kabel *multicore* ke dalam lubang bor hingga ke dasar lubang. Properti batuan terukur melalui *well logging* menggunakan beberapa sensor sehingga didapatkan kurva *logging* (vertikal)

dengan skala tertentu. Properti fisik batuan yang dapat terukur dengan *well logging* adalah ketebalan formasi, litologi, porositas, permeabilitas, saturasi air, saturasi hidrokarbon, dan temperatur (Haldar, 2018).

1. Log Gamma Ray

Log Gamma Ray adalah *log* yang mengukur radiasi sinar gamma yang dihasilkan oleh unsur radioaktif pada lapisan bawah permukaan. Unsur radioaktif tersebut berupa Uranium (U), Potassium (P), dan Thorium (Th) yang memancarkan sinar GR dalam bentuk pulsa energi dengan radiasi tinggi. *Log Gamma Ray* biasanya digunakan dalam evaluasi kandungan serpih atau *shale* (Vsh), evaluasi lapisan mineral *non-radioaktif*, dan korelasi *log* (Aprilia, 2018).



Gambar 2.7 Kurva *Log Gamma Ray* terhadap Litologi (Glover, 2000)

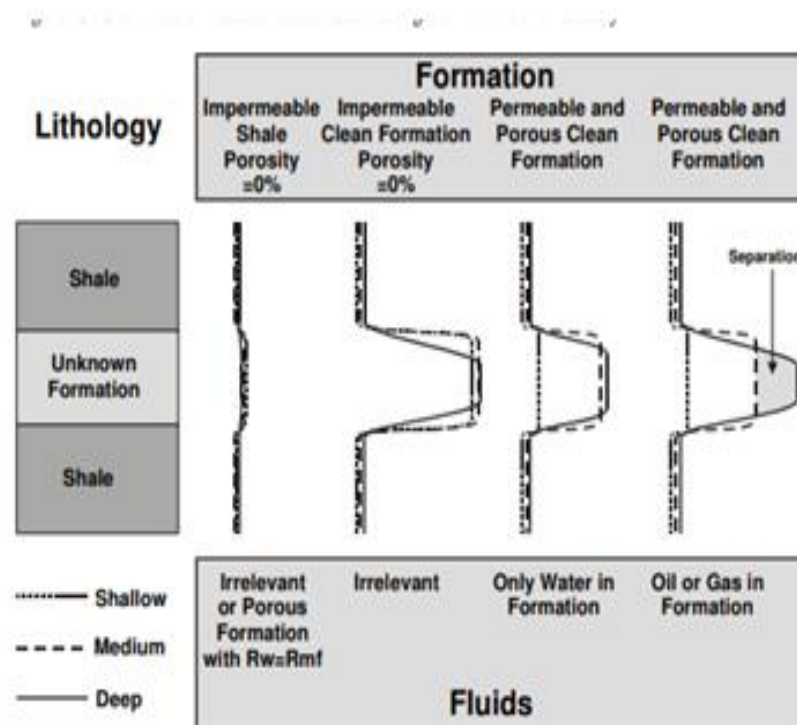
Pada gambar 2.7 ditunjukkan respon tingkat radiasi gamma yang mencerminkan komposisi mineral dan kandungan isotop radioaktif, yang berkorelasi dengan jenis batuan dan sifat fisiknya. Seperti pada litologi *shale* yang memiliki nilai gamma ray tinggi (50–150 API atau lebih) dikarenakan kandungan mineral lempung (*clay minerals*) seperti illit dan kaolinit, yang kaya akan kalium serta mengandung uranium dan thorium dalam jumlah kecil. Adapun respon *gamma ray* rendah (20–60 API) pada batu pasir karena kandungan kuarsa (silika) yang tergolong tidak radioaktif dibanding kalium, uranium, dan thorium.

2. Log Density

Log Density adalah *log* yang mengukur densitas keseluruhan formasi batuan (*bulk density*) melalui radioaktif dari alat pengukur yang dipancarkan melalui sinar gamma dengan intensitas energi tertentu. *Bulk density* mencakup densitas matriks dan fluida yang terkandung dalam batuan yang digunakan dalam penentuan total porositas formasi dan identifikasi *gas-bearing formation*. Alat *formation density* berupa alat radiasi yang memancarkan sinar radioaktif terhadap formasi dan mengukur jumlah radiasi yang kembali terekam oleh sensor. Sensor merekam densitas elektron yang tinggi, maka formasi tersebut akan memiliki nilai *bulk density* yang tinggi (Glover, 2000).

3. Log Resistivitas

Log resistivitas adalah rekaman tahanan jenis formasi ketika dilewati oleh kuat arus listrik yang dinyatakan dalam *ohm meter*. Resistivitas menggambarkan formasi batuan dan fluida yang terkandung di dalam pori. Reservoir yang mengandung hidrokarbon akan memiliki resistivitas yang lebih tinggi dibandingkan air formasi. *Log resistivitas* dapat digunakan untuk interpretasi keberadaan hidrokarbon, menghitung nilai saturasi air (S_w) dan menghitung nilai resistivitas air formasi (R_w) (Kadhim dkk., 2014).



Gambar 2.8 Kurva *log resistivitas* terhadap Litologi dan Fluida (Glover, 2000)

Pada gambar 2.8 menunjukkan hubungan antara *log resistivitas* terhadap fluida pada litologi yang memiliki fluida. Pembacaan *log resistivitas* akan memiliki resistivitas yang rendah saat fluida air terkandung di dalamnya dan memiliki pembacaan resistivitas tinggi saat litologi memiliki fluida berjenis minyak ataupun gas. Adapun pada litologi *shale* yang merupakan fungsi dari kontak antar butir dan fluida, peningkatan *log resistivitas* yang sejalan dengan kedalaman menandakan pengurangan porositas pada litologi *shale* sehingga menunjukkan kompaksi normal.

4. Log Akustik/Sonik

Log sonic atau *log delta time* (DT) merupakan *log* yang menggunakan prinsip kerja gelombang akustik. *Log akustik/sonik* memancarkan gelombang akustik dalam jangkauan tertentu serta kecepatan tertentu lalu akan mengukur panjang waktu yang dibutuhkan

gelombang dari *transmitter* menuju *receiver*. Jeda atau panjang waktu ini kemudian dinamakan delta T. Nilai inilah yang akan digunakan pada analisis petrofisika selanjutnya. *Log sonic* dapat digunakan untuk mengetahui porositas serta mengidentifikasi litologi suatu formasi batuan (Harsono, 1997). Pada *pore pressure model* log sonik merupakan fungsi dari tekanan efektif pada litologi *shale* dikarenakan litologi *shale* yang merupakan fungsi dari kontak antar butir, fluida batuan, dan tidak terdapat pengaruh faktor sementasi ataupun proses kimiawi.

2.3.5 Overpressure Menggunakan Data Seismik

Overpressure dapat diidentifikasi secara kuantitatif dengan memplot kecepatan gelombang terhadap kedalaman. Ciri-cirinya adalah adanya perubahan atau pembalikan pola pada data kecepatan. Namun, defleksi dalam data kecepatan sonik ini bisa juga disebabkan oleh variasi litologi, terutama jika terdapat lapisan karbonat atau batuan vulkanik. Secara umum, metode yang sering digunakan untuk mendeteksi kondisi *overpressure* adalah melalui analisis kecepatan interval. Kecepatan rambat gelombang tidak hanya dipengaruhi oleh densitas dan porositas formasi batuan, tetapi juga oleh sifat-sifat elastis dari formasi tersebut. Kecepatan interval memungkinkan pengukuran waktu yang dibutuhkan oleh gelombang untuk bergerak dari sumber menuju *receiver*. Zona yang belum terkompaksi penuh (*undercompacted*), *overpressure* dapat terindikasi dari densitas yang rendah, porositas tinggi, dan stress vertikal yang tidak normal yang menyebabkan kecepatan gelombang menjadi rendah (Mouchet dan Mitchell, 1989). Pada kondisi normal kecepatan akan berbanding lurus dengan kedalamannya. Perbandingan antara keduanya dirumuskan dengan hukum Chiarelli-Serra:

$$V = Ae^{BZ} \quad 2.6$$

V = interval velocity

A dan B = Konstan

Z = Kedalaman

Dengan menggunakan kecepatan interval, tren kompaksi normal suatu formasi dapat diprediksi. Tren kompaksi normal ini kemudian dimanfaatkan untuk mengidentifikasi adanya zona *undercompacted*.

2.3.6 Prediksi Pore Pressure

1. Metode Bowers

Metode Bowers (1995) adalah metode pendekatan untuk memperkirakan *pore pressure* dalam kondisi *overpressure*, yang merupakan situasi di mana tekanan fluida dalam pori-pori batuan lebih tinggi daripada tekanan hidrostatik normal. Metode ini mengandalkan konsep tekanan efektif dan dapat mengidentifikasi *overpressure* yang disebabkan oleh dua mekanisme utama: pembebanan (*loading*) dan non-pembebanan (*unloading*). Dalam metode Bowers, kecepatan interval dari data seismik atau sonik digunakan untuk memperkirakan tekanan efektif dengan mempertimbangkan faktor-faktor elastisitas batuan. Dalam proses ini, Bowers mengembangkan hubungan matematis antara tekanan efektif dan kecepatan interval, sehingga bisa memisahkan indikasi *overpressure* akibat *loading* atau *non-loading*.

$$v = 5000 + a\sigma^b \quad 2.7$$

atau

$$\sigma = \left[\frac{v - 5000}{a} \right]^{\frac{1}{b}} \quad 2.8$$

dengan,

a dan b = konstanta empiris, diperoleh dari regresi linear plot (v-5000) terhadap *log* tekanan efektif (σ)

v = kecepatan (ft/s)

σ = tekanan efektif (psi)

5000 = kecepatan asumsi batu lempung di permukaan (ft/s)

2. Metode Eaton

Eaton (1975) mengembangkan metode prediksi *pore pressure* berdasarkan sumur-sumur di *Gulf of Meksiko* yang mengalami *overpressure*. Dengan menggunakan data sumur terutama data kurva sonik, resistivitas, dan data seismik Eaton merumuskan hubungan sebagai berikut:

$$\sigma = \sigma_{norm} \left[\frac{\Delta t_{norm}}{\Delta t} \right]^3 \quad 2.9$$

$$\sigma = \sigma_{norm} \left[\frac{R}{R_{norm}} \right]^{1.2} \quad 2.10$$

$$\sigma = \sigma_{norm} \left[\frac{V}{V_{norm}} \right]^3 \quad 2.11$$

σ = tekanan *effective* aktual (Pascals, Psi)

σ_{norm} = tekanan *effective* normal (Pascals, Psi)

Δt = bacaan transit *time* pada *log* sonik (μ s/ft)

Δt_{norm} = bacaan transit *time* normal (μ s/ft)

R = bacaan *log* resistivitas (ohmm)

R_{norm} = bacaan *log* resistivitas normal (ohmm)

V = bacaan kecepatan (*velocity*) pada *log* akustik (ft/s)

V_{norm} = bacaan kecepatan normal (ft/s)

Tekanan *Effective* aktual yang didapatkan kemudian dimasukkan ke dalam rumus Terzaghi dan Peck (1948) dengan cara mengurangi tekanan litostatik terhadap *effective stress* untuk menghasilkan *pore pressure*. Rumus ini membutuhkan trend kompaksi normal.

2.3.7 Prediksi Collapse Pressure

Collapse pressure adalah ambang batas di mana batuan di sekitar lubang sumur mengalami kegagalan akibat tegangan kompresif yang disebabkan oleh perbedaan antara tegangan in situ dan tekanan yang ditimbulkan oleh lumpur bor. Jika berat lumpur (atau *equivalent static density*) turun di bawah *collapse pressure*, lubang sumur dapat mengalami kegagalan geser yang menyebabkan ketidakstabilan lubang sumur. Ketidakstabilan ini ditandai dengan *breakout* dan *stuck pipe*. Berdasarkan kriteria Mohr-Coulomb mengenai kegagalan batuan, *collapse pressure* dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$CP = \frac{\{3SH_{max} - SH_{min} - UCS + (Q - 1) \times \alpha \times PP\}}{Q + 1} \quad 2.12$$

α merupakan koefisien Biot, SH_{max} dan SH_{min} merupakan maksimum dan minimum horizontal stress. Maksimum horizontal stress di estimasi menggunakan persamaan berikut.

$$SH_{max} = 3FCP - Pr - PP \quad 2.13$$

FCP sebagai *fracture closure pressure*, Pr sebagai *drilling fluid pressure*, dan PP sebagai *pore pressure*. Parameter UCS yaitu *unconfined compressive strength* dapat diestimasi sebagai berikut.

$$UCS = \frac{2C \cos \psi}{1 - \sin \psi} \quad 2.14$$

Q merupakan kohesi batuan dan ψ sebagai *internal friction angle*. Parameter Q dapat diestimasi dengan menggunakan *internal friction angle* yaitu dengan persamaan berikut.

$$Q = \frac{(1 + \sin \psi)}{1 - \sin \psi} \quad 2.15$$

Adapun *internal friction angle* dapat diestimasi dengan menggunakan *sonic velocity* yaitu pada persamaan berikut.

$$\psi = \sin^{-1} \left(\frac{V_p - 1}{V_p + 1} \right) \quad 2.16$$

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi dan Data Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Cekungan Jawa Barat Utara pada lapangan “FRE”. Data yang digunakan merupakan data sekunder perusahaan berupa 5 data *well log* mulai dari *log density* hingga *log sonic*; data seismik dalam format segy beserta data *checkshot*, hasil *picking fault*, dan *horizon* beserta marker; laporan pemboran berupa *full well report* dan *mud log* yang di dalamnya terdapat *drilling event*, *well trajectory*, *drill test*, dan *mud weight*.

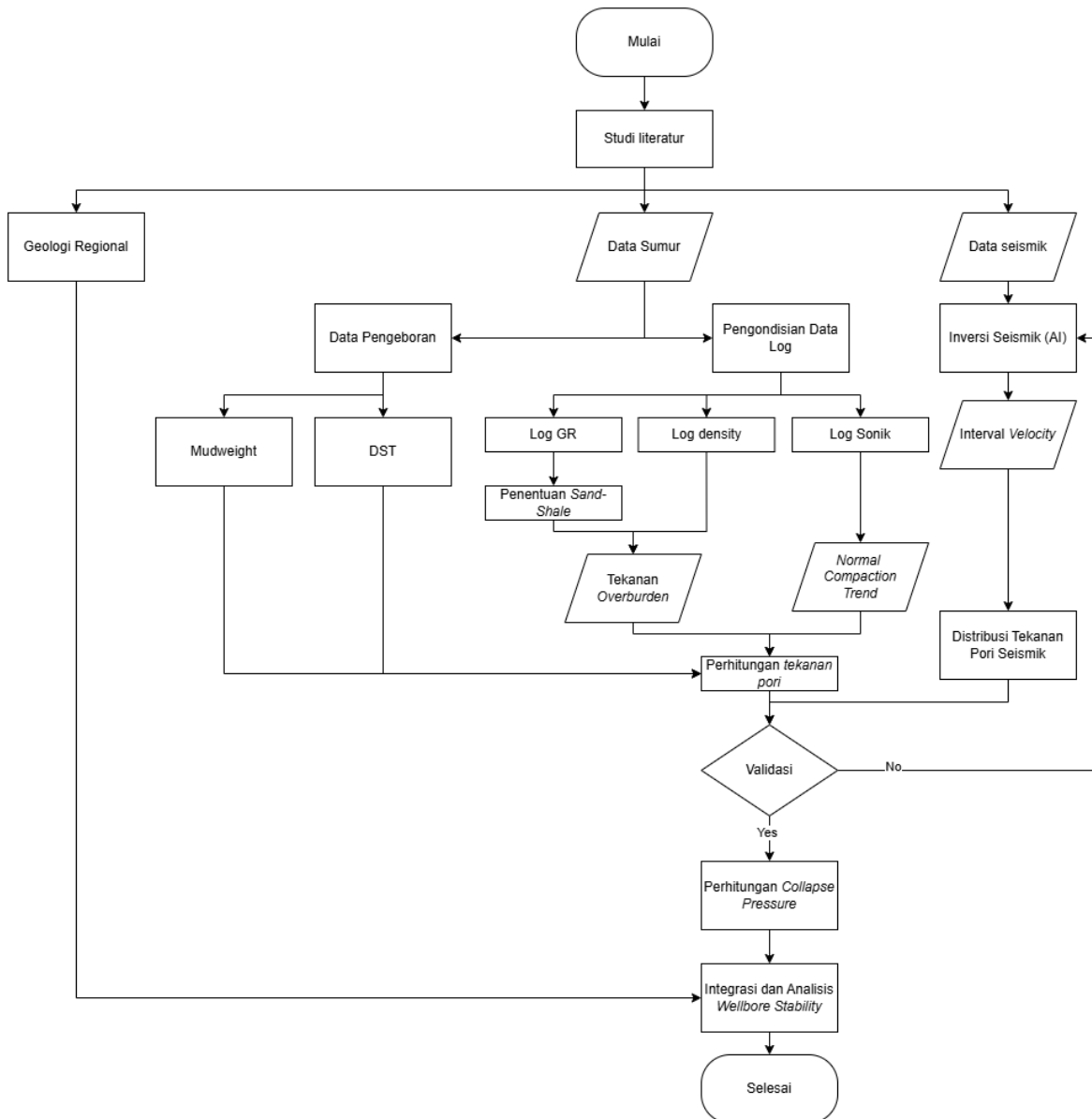
3.2 Perangkat Penelitian

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak yaitu LithoStudio Demo untuk prediksi *pore pressure* pada data sumur, Hampson Russel untuk analisis data seismik, dan Microsoft Office untuk inventarisasi data serta penulisan dalam laporan. Adapun untuk menunjang perangkat lunak tersebut, peneliti menggunakan perangkat keras berupa laptop MSI dengan spesifikasi sebagai berikut:

Device name : MSI
Processor : 11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-1195G7 @ 2.90GHz 2.92 GHz
Installed RAM : 16,0 GB
Device ID : 7AB647D3-9C1C-4550-8EFD-B3B720B896C8
Product ID : 00342-42602-15161-AAOEM
System type : 64-bit operating system, x64-based processor
Pen and touch : No pen or touch input is available for this display

3.3 Urutan pelaksanaan penelitian

Secara umum, penelitian ini terbagi menjadi lima bagian yaitu studi literatur, inventarisasi data, pengolahan data sumur, pengolahan data seismik, dan interpretasi data untuk analisis *wellbore stability* yang ditunjukkan pada gambar 3.1. Adapun diagram alir dan detail alur penelitian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan tinjauan-tinjauan untuk pengolahan data hingga analisis hasil. Tinjauan tersebut terdiri dari geologi regional, tahapan penelitian, dan analisis data penelitian berupa analisis *pore pressure* dan *wellbore stability*.

3.3.2 Inventarisasi Data

Data penelitian yang berada di Cekungan Jawa Barat Utama dilihat kelengkapan data yang ada. Tersedia data seismik 3D dengan *marker*, *horizon*, *fault*, dan *checkshot*. Adapun ketersediaan data setiap sumur pada penelitian ini terlihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Ketersediaan Data Sumur

Kategori	Data	FRL-001	FRR-001	FRN-002	FRM-013	FRM-014
	<i>Gamma Ray</i>					

Data Logging	Density					
	Sonic					
	Resistivity					
	Porosity					
	Caliper					
Data Drilling	FWR/DDR					
	Mud Logging Report					
	Pressure Test	DST				RDT
	LOT/FIT	LOT		LOT		MOT
Additional Data	Core Test					
Seismic	Checkshot					

3.3.3 Pengolahan Data Sumur

Pengolahan data sumur dilakukan untuk mendapatkan nilai *pore pressure*, *collapse pressure*, dan melihat *drilling event* yang terjadi dalam sumur tersebut. Adapun langkah dalam pengolahan data sumur tersebut adalah sebagai berikut.

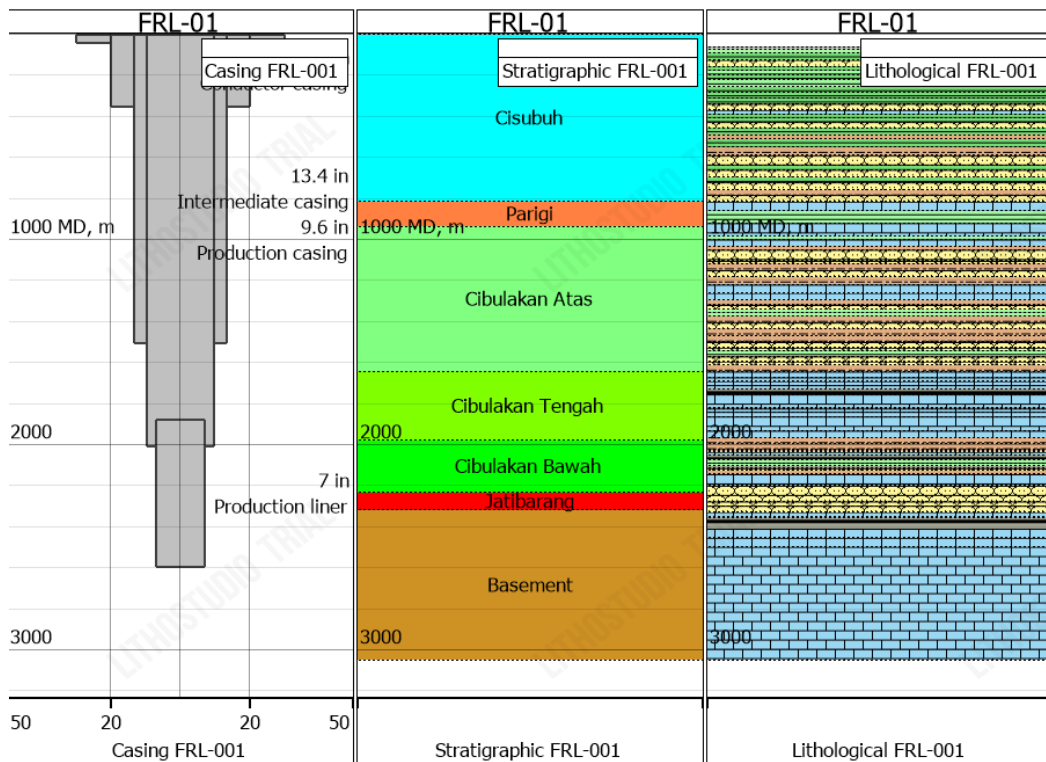
1. Drilling Report Review dan Technical Data

Review Drilling Report seperti gambar 3.2 dilakukan untuk mengetahui kejadian-kejadian yang terjadi di lapangan selama proses *drilling* terjadi. Hal tersebut dilakukan untuk memahami kemungkinan permasalahan yang terjadi pada setiap sumur, formasi, dan litologi sehingga dapat membantu dalam pengolahan serta analisis. Gambar 3.2 merupakan proses *review* dan pencatatan dalam Excel untuk memudahkan dalam proses pengolahan selanjutnya.

PLEASE FILL!				Pressure Data			Point Data (MD)						
PLEASE FILL!				Mud Weight Hole			Tight Hole Pickoff						
PLEASE FILL!				Mud Type			Stuck Pipe						
Date	MD	SHORT Operations Summary (ONLY if related to Geome)				Pore Pressure							
	m			SG		SG	m	m	m	m	m	m	m
1	01/04/2014	42 Drilling Hole 26"		1.08	Main Hole Gel Water								
2	02/04/2014	42 RH Casing 30" dan Cementing		1.08	Main Hole KCl Polymer								
3	03/04/2014	42 BOP Job		1.08	Main Hole KCl Polymer								
4	04/04/2014	42 Start Drilling Hole 26"		1.15	Main Hole KCl Polymer								
5	05/04/2014	353 Drilling Hole 26"		1.15	Main Hole KCl Polymer								
6	06/04/2014	353 RH Casing 20" dan Cementing		1.15	Main Hole KCl Polymer								
7	07/04/2014	353 Cementing Casing 20"		1.15	Main Hole KCl Polymer								
8	08/04/2014	355 Drilling Hole 17.5"		1.15	Main Hole KCl Polymer								
9	09/04/2014	649 Drilling Hole 17.5"		1.17	Main Hole KCl Polymer								
10	10/04/2014	822 Drilling Hole 17.5"		1.18	Main Hole KCl Polymer								
11	11/04/2014	1061 Drilling Hole 17.5"		1.18	Main Hole KCl Polymer								
12	12/04/2014	1071 Drilling Hole 17.5"		1.18	Main Hole KCl Polymer								
13	13/04/2014	1071 RH Logging Tools		1.18	Main Hole KCl Polymer								
14	14/04/2014	1071 RH Casing 13 3/8"		1.18	Main Hole KCl Polymer								
15	15/04/2014	1071 RH Casing 13 3/8"		1.18	Main Hole KCl Polymer								
16	16/04/2014	1071 Cementing Casing 13 3/8"		1.18	Main Hole KCl Polymer								
17	17/04/2014	1071 Cementing Casing 13 3/8"		1.18	Main Hole KCl Polymer								
18	18/04/2014	1071 BOP Job		1.18	Main Hole KCl Polymer								
19	19/04/2014	1071 BOP Job dan Pressure Test		1.18	Main Hole KCl Polymer								
20	20/04/2014	1127 Drilling Hole 12 1/4"		1.18	Main Hole KCl Polymer								
21	21/04/2014	1163 Drilling Hole 12 1/4"		1.18	Main Hole KCl Polymer								
22	22/04/2014	1488 Drilling Hole 12 1/4"		1.19	Main Hole KCl Polymer								
23	23/04/2014	1573 Drilling Hole 12 1/4"		1.19	Main Hole KCl Polymer								
24	24/04/2014	1637 Drilling Hole 12 1/4"		1.19	Main Hole KCl Polymer								
25	25/04/2014	1701 Drilling Hole 12 1/4"		1.19	Main Hole KCl Polymer								
26	26/04/2014	1760 Drilling Hole 12 1/4"		1.19	Main Hole KCl Polymer								
27	27/04/2014	1911 Drilling Hole 12 1/4"		1.19	Main Hole KCl Polymer								

Gambar 3.2 Drilling Report Review

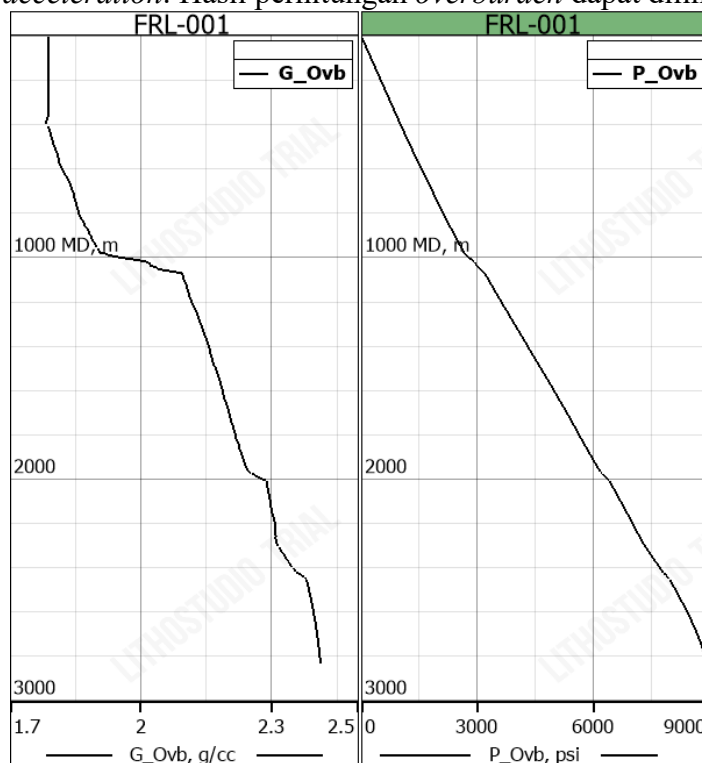
Selain itu, *review drilling report* perlu dilakukan untuk mendapatkan *technical data* yaitu jenis dan *trajectory* sumur hingga mendapatkan *pressure test* pada sumur untuk *input software* LithoStudio. Hal tersebut dapat terlihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 *Technical Data*

2. Perhitungan Tekanan Overburden

Perhitungan tekanan *overburden* dilakukan dengan menggunakan data *logging* yaitu dengan menggunakan data *log density* dengan memanfaatkan data *true vertical depth* dan *gravity acceleration*. Hasil perhitungan *overburden* dapat dilihat pada gambar 3.4.



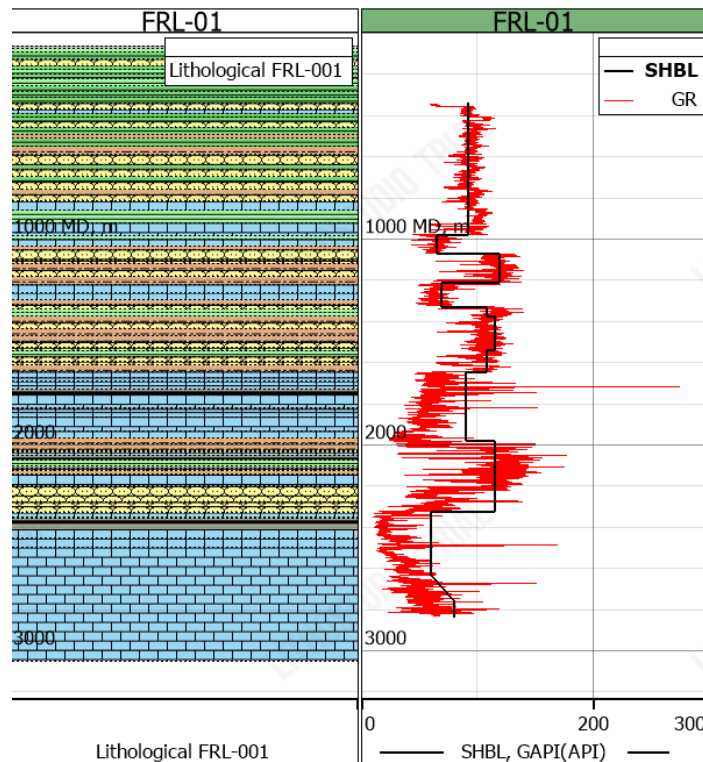
Gambar 3.4 *Tekanan Overburden*

3. *Picking Shale dan Non-Shale*

Picking shale dan non-shale dilakukan untuk memisahkan litologi *shale* yang akan dimodelkan untuk *pore pressure*. *Picking shale* dilakukan dengan menggunakan *log gamma ray* yang kemudian ditransformasi ke dalam *log sonic*. Dalam *picking shale* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$V_{shale} = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \quad 3.1$$

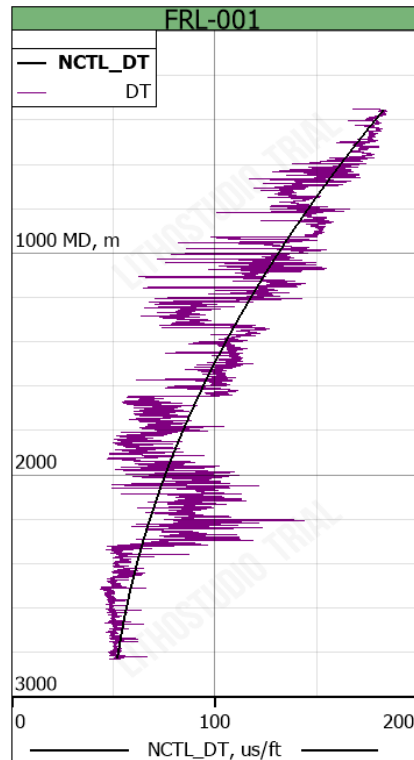
Selain itu, perbedaan cara terbentuknya sebuah formasi yang menyebabkan perbedaan nilai pada V_{shale} sehingga V_{shale} dapat dilakukan dengan menghitung pada tiap-tiap formasi dan tidak digeneralisir. Dilakukan validasi menggunakan *mud log* yang dikerjakan oleh geologist pada *sample* yang keluar pada proses *drilling* sehingga *picking shale* menjadi lebih akurat di dalamnya. Hasil *picking shale* dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Picking Shale dan Non-Shale*

4. *Normal Compaction Trendline*

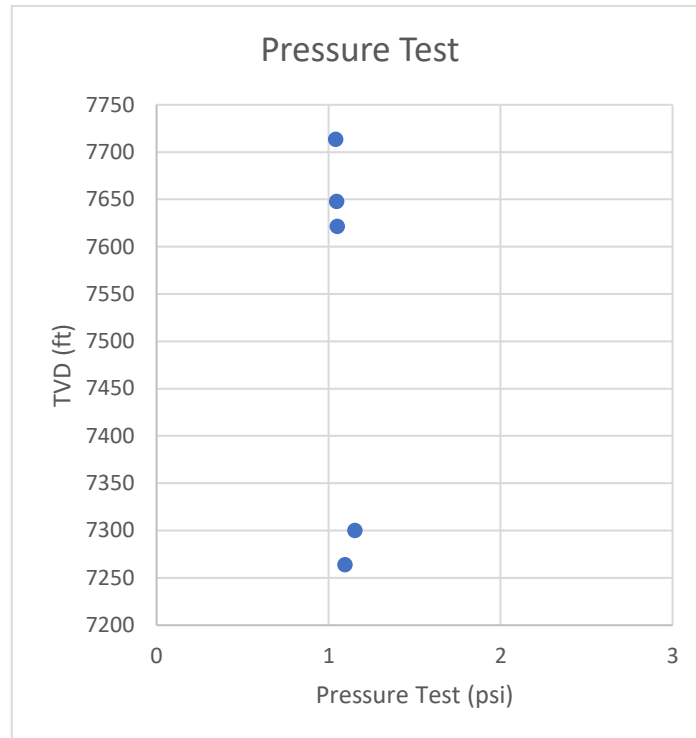
Normal compaction trendline dihitung dengan hasil *picking shale* yang sudah ditransformasi ke *log sonic*. *Normal compaction trend* melihat bagaimana *trend* kompaksi yang terjadi pada sumur tersebut. Hasil dari *normal compaction trend* dapat terlihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Normal Compaction Trendline*

5. Tekanan Hidrostatik

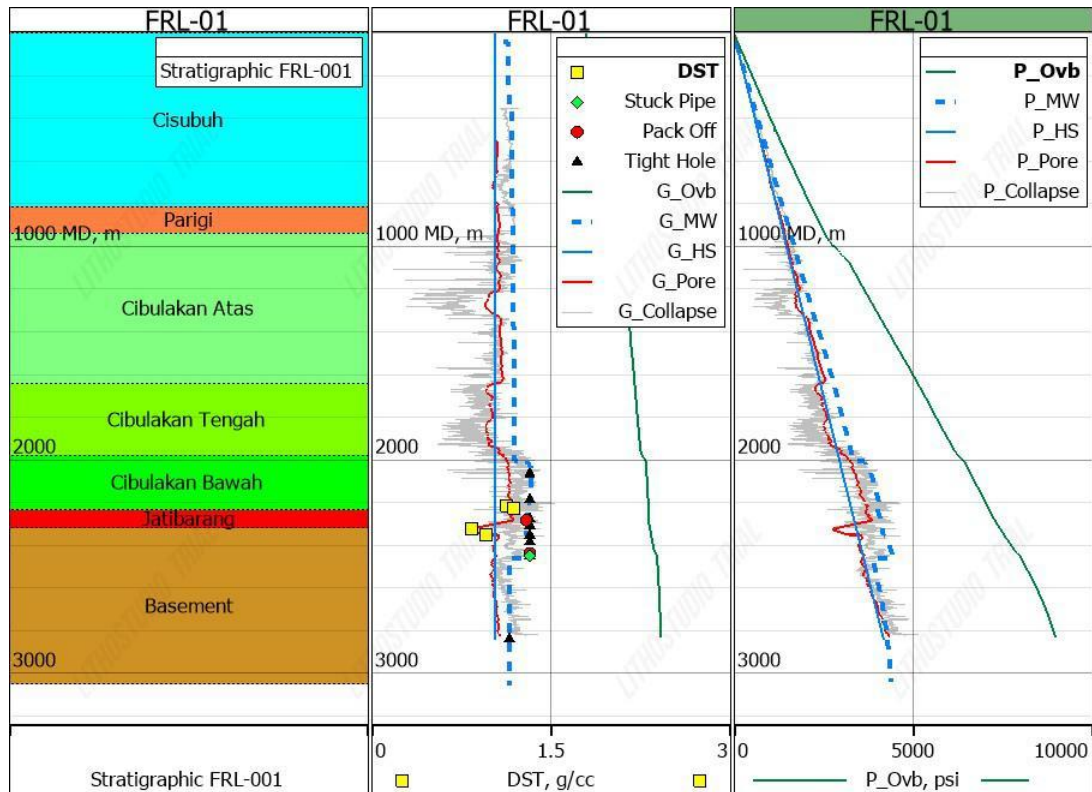
Tekanan hidrostatik dilihat dengan menggunakan data *pressure test* dan dilihat mengenai *trend* umum pada lapangan "FRE" seperti gambar 3.7. Berdasarkan hasil *pressure test* didapatkan nilai tekanan hidrostatik bernilai 1.03 g/cc setara dengan 1.03 SG dan 0.44699 psi/ft.



Gambar 3.7 Tekanan Hidrostatik

6. *Pore pressure*

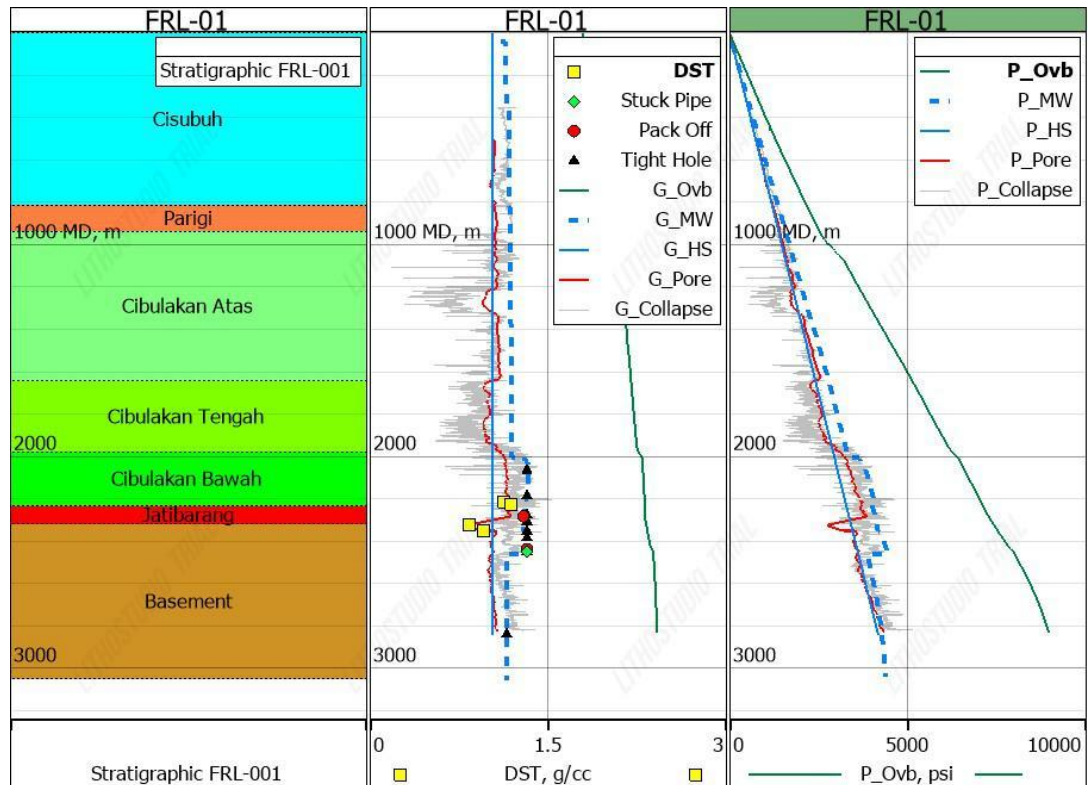
Metode Eaton digunakan dalam perhitungan nilai *pore pressure* seperti pada gambar 3.8. Metode Eaton membutuhkan *normal compaction trend*, *log sonic*, *normal hydrostatic pressure*, dan *vertical stress*. Penggunaan metode Eaton memiliki kelebihan yaitu dapat digunakan untuk data standar *logging* yang mudah tersedia dan pendelatan secara empiris dari *deviation* kurva *normal compaction trend*.



Gambar 3.8 Perhitungan *Pore pressure* (G_Pore/P_Pore)

7. Estimasi *Collapse Pressure*

Estimasi *collapse pressure* dilakukan untuk memahami perilaku kegagalan batuan yang juga disebut sebagai *shear failure gradient* (SFG). Estimasi ini diperlukan untuk mengurangi faktor *non-productive time* selain adanya *overpressure*. Kriteria kegagalan batuan Mohr-Coulomb digunakan untuk mengestimasi *collapse pressure*. Pertimbangan yang digunakan berupa tekanan minimum horizontal dan tekanan maksimum horizontal, *unconfined compressive strength*, dengan merujuk pada persamaan 2.12 pada dasar teori mengenai *collapse pressure* dan dapat dilihat hasil estimasi *collapse pressure* pada gambar 3.9.



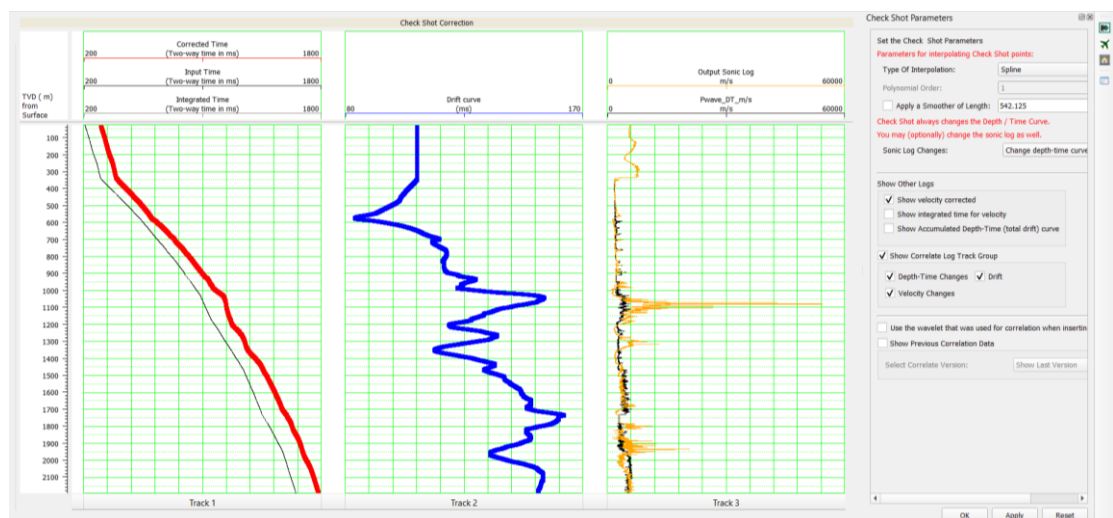
Gambar 3.9 Collapse Pressure (G_Collapse/P_Collapse)

3.3.4 Pengolahan Data Seismik

Setelah mendapatkan *pore pressure* berdasarkan data sumur. Selanjutnya dilakukan persebaran *pore pressure* pada seismik yang berdasarkan hasil *pore pressure* data sumur. Data yang dibutuhkan dalam

1. Koreksi Checkshot

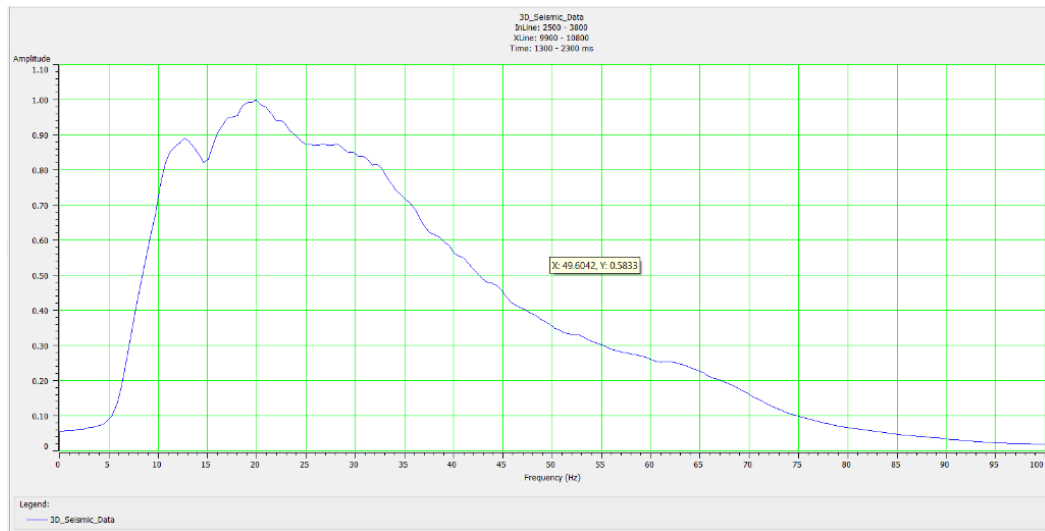
Koreksi *checkshot* merupakan proses penyesuaian data waktu tempuh seismik menggunakan data *checkshot* untuk mengkalibrasi data seismik agar sesuai dengan data sumur dan memperbaiki akurasi interpretasi kedalaman. Contoh gambar mengenai koreksi *checkshot* dapat terlihat dapat gambar 3.10.



Gambar 3.10 Koreksi Checkshot

2. Amplitude spectrum

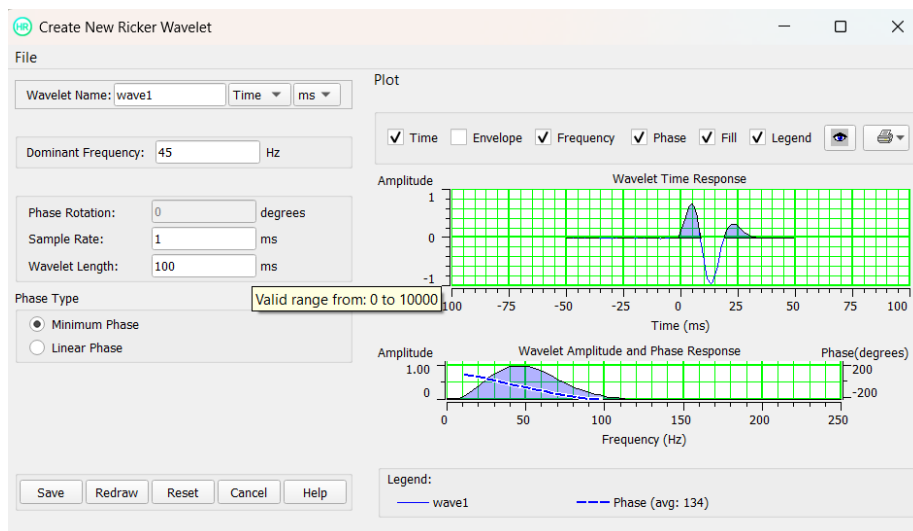
Fase *amplitude spectrum* merupakan cara yang dilakukan untuk mengetahui frekuensi yang dominan pada data seismik tersebut sesuai dengan interval kedalaman yang diinginkan. Frekuensi dominan yang didapat berdasarkan *amplitude spectrum* pada gambar 3.11 sebesar 20 Hz.



Gambar 3.11 Amplitude Spectrum

3. Ekstraksi Wavelet

Ekstraksi *wavelet* dilakukan untuk mendapatkan *wavelet* yang digunakan dalam *well to seismic tie* serta inversi pada data seismik. Adapun proses ekstraksi *wavelet* dapat dilihat pada gambar 3.12.

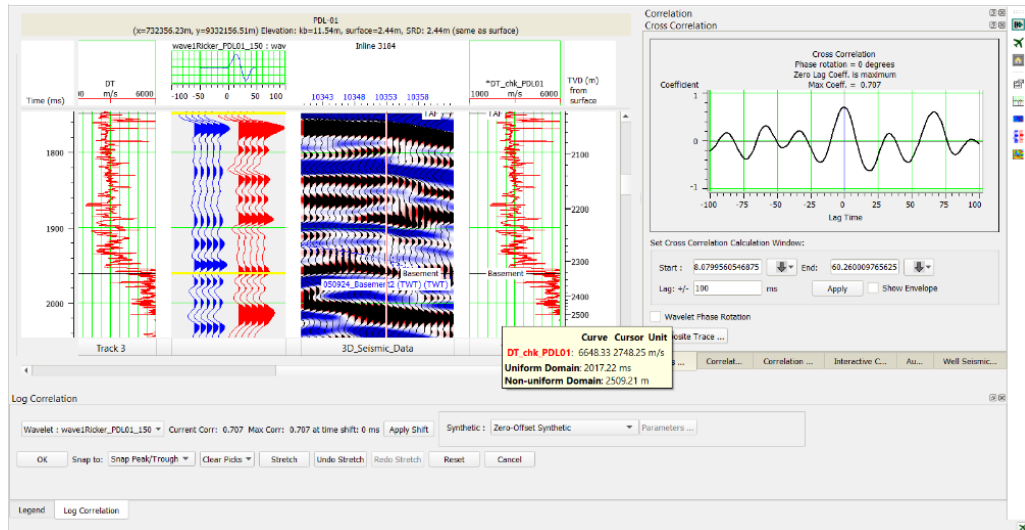


Gambar 3.12 Ekstraksi Wavelet

4. Well to Seismic Tie

Well to seismic tie merupakan proses mengkorelasikan data sumur (*log* sonik, densitas) dengan data seismik untuk mencocokkan refleksi seismik dengan lapisan geologi di sumur. Terdapat data *tops* pada sumur dan *horizon* seismik, kedua data tersebut dipadankan hingga berada pada *window time* yang sama sehingga dianggap

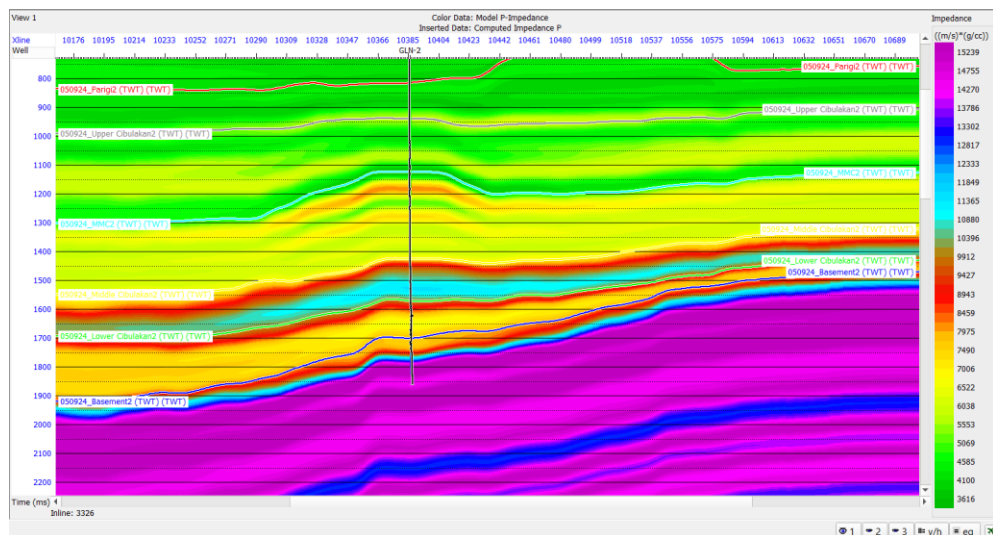
representatif. Selain itu, korelasi dan *time shift* juga perlu diperhatikan seperti pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 *Well to Seismic Tie*

5. Initial Model

Tahap *initial* model merupakan pembuatan model awal yang dibangun berdasarkan data sumur, seismik, atau informasi geologi untuk digunakan sebagai titik awal dalam proses inversi atau pemodelan. Hasil *initial* model pada *P-Impedance* dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 *Initial Model*

6. Analisis Pra Inversi

Analisis pra inversi merupakan tahapan evaluasi data seismik dan sumur sebelum inversi berupa penentuan parameter inversi yang terlihat pada gambar 3.15. Pada tahap ini, keputusan dapat dilihat mengenai korelasi tertinggi dan *error* terendah yang bisa didapatkan pada data seismik dan data sumur.



Gambar 3.15 Analisis Pra Inversi

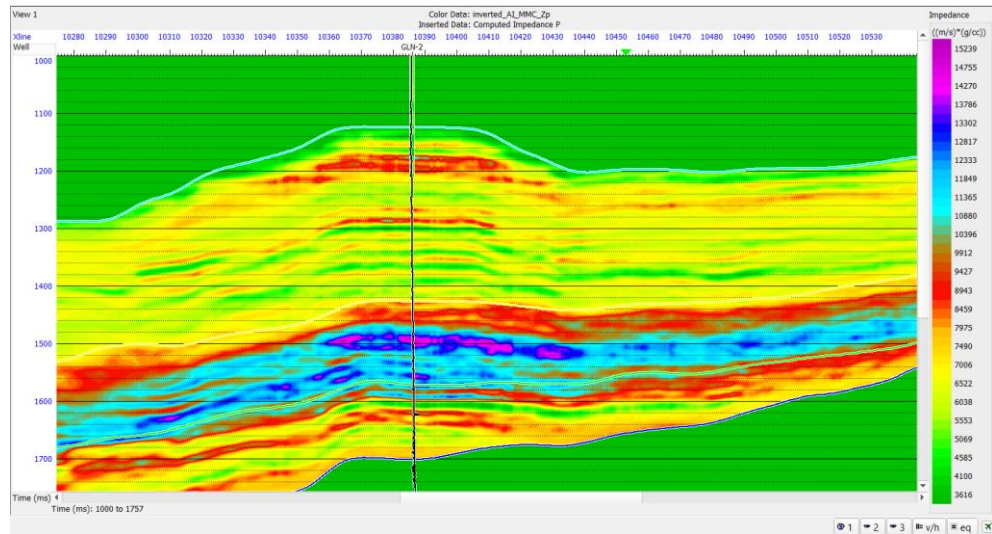
7. Inversi Seismik

Inversi seismik terutama pada inversi impedansi akustik, teknik pemrosesan seismik untuk mengubah data seismik refleksi menjadi distribusi impedansi akustik (produk kecepatan dan densitas) di bawah permukaan. Sebelum dilakukannya proses inversi, analisis *tunning thickness* dilakukan terlebih dahulu untuk melihat zona target dapat teresolusi atau tidak dengan data seismik tersebut. Hasil analisis *tunning thickness* dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Analisis *Tunning Thickness*

<i>Well Name</i>	V avg (m/s)	Frek Dom (Hz)	Lambda	<i>Tunning Thickness</i>
FRL-001	3204.8	31	103.38	25.85
FRN-002	3242.4	31	104.59	26.15
FRM-013	3166.21	30	105.54	26.39
FRM-013	3358.6	30	111.95	27.99
FRR-001	2792.9	30	93.10	23.27

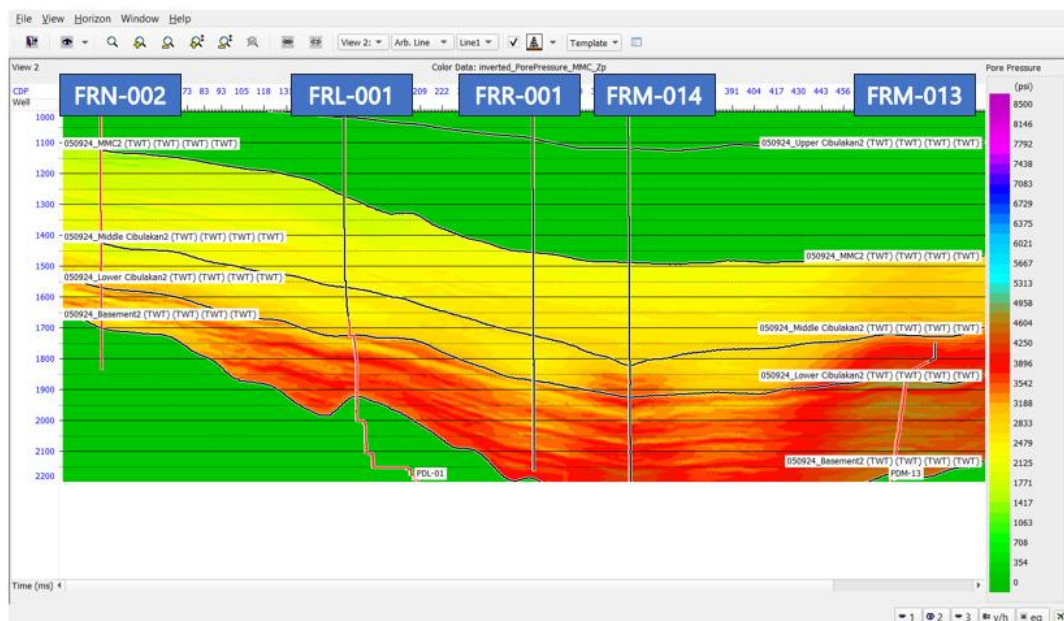
Rentang analisis *tunning thickness* yaitu 23-28 meter dan tebal reservoir 30-35 sehingga reservoir dapat teresolusi oleh data seismik tersebut. Inversi yang dilakukan yaitu impedansi akustik dan densitas untuk mendapatkan kecepatan interval seismik dengan cara membagi impedansi akustik dan juga densitas. Dilakukan pula interpolasi mengenai parameter yang dibutuhkan untuk persebaran *pore pressure* seismik seperti tren kompaksi normal, tekanan normal hidrostatik, tekanan *overburden/lithostatic*. Hasil inversi seismik impedansi akustik terlihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Inversi Seismik

8. Persebaran *Pore pressure*

Distribusi *pore pressure* dilakukan dengan menggunakan metode Eaton yang membutuhkan data tekanan *overburden/lithostatic* (psi), tekanan normal hidrostatik (psi), tren kompaksi normal (m/s), dan interval *velocity* (m/s). Perhitungan dilakukan pada *trace math* dengan parameter tersebut menggunakan persamaan 2.11 dan menghasilkan persebaran seperti pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Sebaran *Pore pressure*

3.3.5 Analisis Hasil dan Pembuatan Laporan

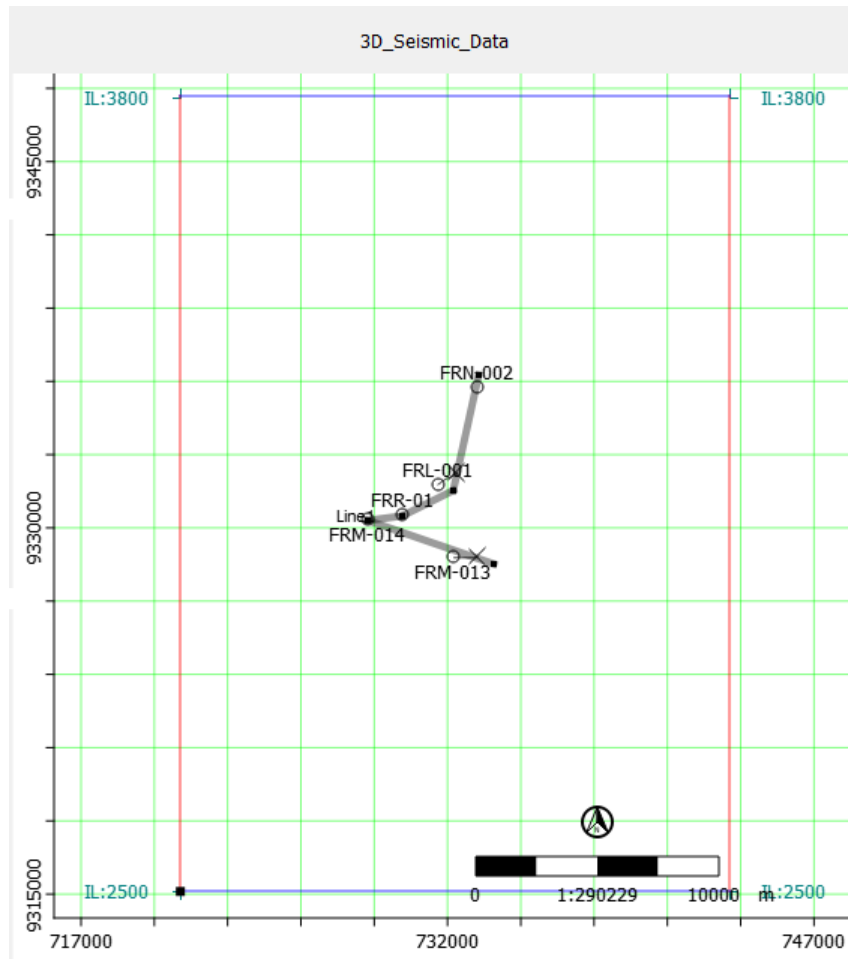
Berdasarkan dengan dasar teori sehingga didapatkan pembuatan model *pore pressure* sumur dan seismik, kemudian dipadukan antara teori dan model dengan geologi regional sehingga didapatkan analisis lapangan FRE. Pembahasan dimulai dari masing-masing sumur dan seismik hingga menjawab tujuan dan permasalahan penelitian ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV Hasil dan Pembahasan

4.1 1D Pore Pressure dan Collapse Pressure

Sumur yang digunakan merupakan lima sumur pada lapangan “FRE” Cekungan Jawa Barat Utara. Sumur tersebut merupakan sumur FRN-002, FRL-001, FRR-001, FRM-013, dan FRM-014 yang tersebar pada area seismik pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Basemap Sumur Lapangan “FRE”

4.1.1 Sumur FRL-001

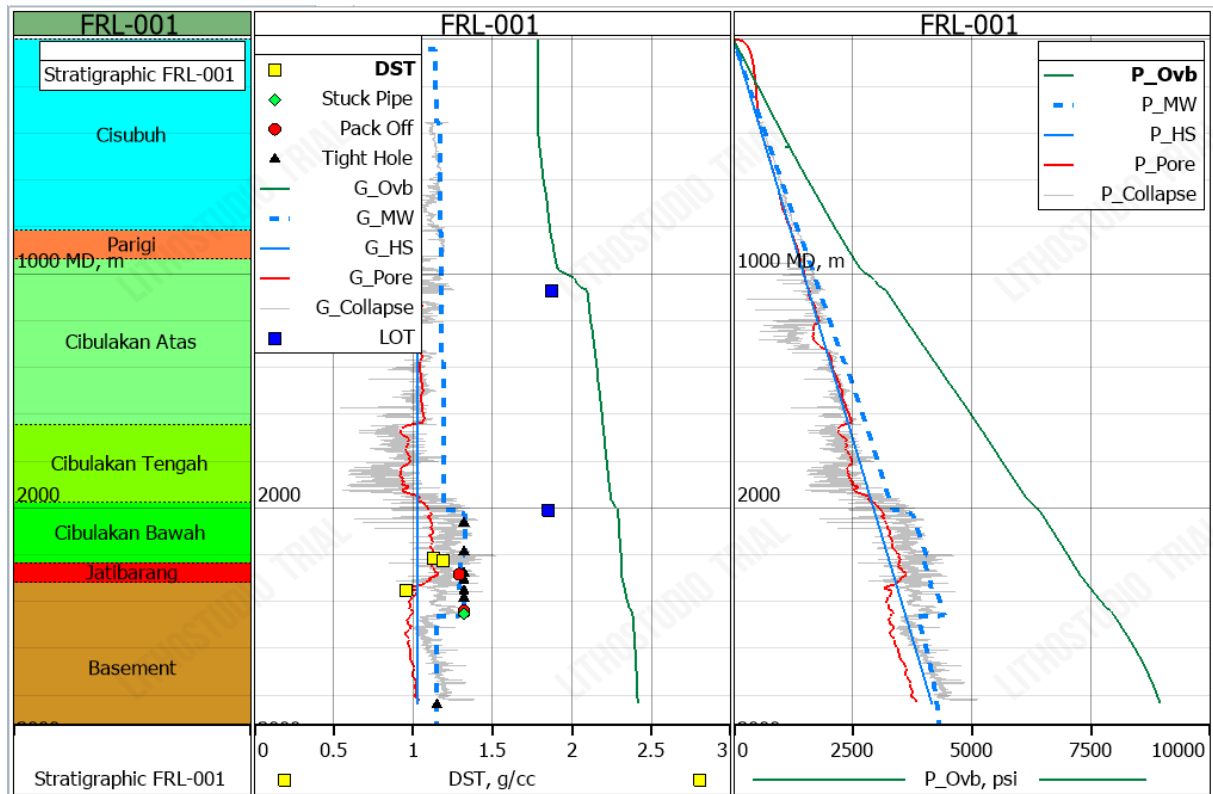
Sumur FRL-001 sebagai sumur eksplorasi pada lapangan FRE. Stratigrafi memperlihatkan dominasi litologi karbonat, serpih, lempung, dan batupasir dari Formasi Cisubuh hingga Cibulakan, diikuti oleh litologi vulkanik dan batuan dasar (basement) pada kedalaman lebih dari 3000 meter MD. Berdasarkan dengan *daily drilling report* dan *full well report* terdapat indikasi adanya masalah pengeboran yaitu *tight hole*, *pack off*, dan *stuck pipe* yang dirangkum pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Geomechanics Hazard FRL-001

<i>Well Problem</i>	<i>Depth (m) (MD)</i>
<i>Tigh Hole</i>	2065
<i>Tigh Hole</i>	2188

<i>Tigh Hole</i>	2278
<i>Tigh Hole</i>	2281
<i>Pack Off</i>	2283
<i>Tigh Hole</i>	2288
<i>Pack Off</i>	2291
<i>Tigh Hole</i>	2294
<i>Tigh Hole</i>	2296
<i>Tigh Hole</i>	2298
<i>Pack Off</i>	2305
<i>Tigh Hole</i>	2308
<i>Tigh Hole</i>	2319
<i>Tigh Hole</i>	2323
<i>Tigh Hole</i>	2354
<i>Tigh Hole</i>	2385
<i>Tight Hole, Pack Off</i>	2440
<i>Tigh Hole, Stuck Pipe</i>	2450
<i>Tigh Hole</i>	2841

Pemodelan *pore pressure* dan *collapse pressure* kemudian dilakukan dengan menggunakan perhitungan Eaton dan dikalibrasi dengan data *mudweight* beserta *pressure test*. Analisis gradien tekanan terlihat pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa tekanan *overburden* (G_{Ovb}) meningkat linier dengan kedalaman, konsisten dengan akumulasi beban litostatik. *Pore pressure* (G_{Pore}) umumnya mengikuti tren hidrostatik, namun terjadi sedikit deviasi di beberapa zona, khususnya pada interval Formasi Jatibarang dan *Basement* yang mengindikasikan potensi adanya zona *overpressure* atau anomali tekanan. Profil *mudweight* (P_{MW}) dibandingkan dengan *pore pressure* (P_{Pore}) dan *collapse pressure* ($P_{Collapse}$) memperlihatkan bahwa sebagian besar interval sumur telah menjaga margin *mudweight* dalam batas aman terhadap risiko *wellbore collapse*. Namun, pada kedalaman 2700–3000 mMD, terdapat indikasi ketidakstabilan lubang bor yang ditandai dengan kemunculan insiden seperti *stuck pipe*, *pack off*, dan *tight hole* terlihat pada tabel 4.1. Hal tersebut terjadi akibat penurunan *mudweight* yang mendekati atau melewati batas *collapse pressure*.



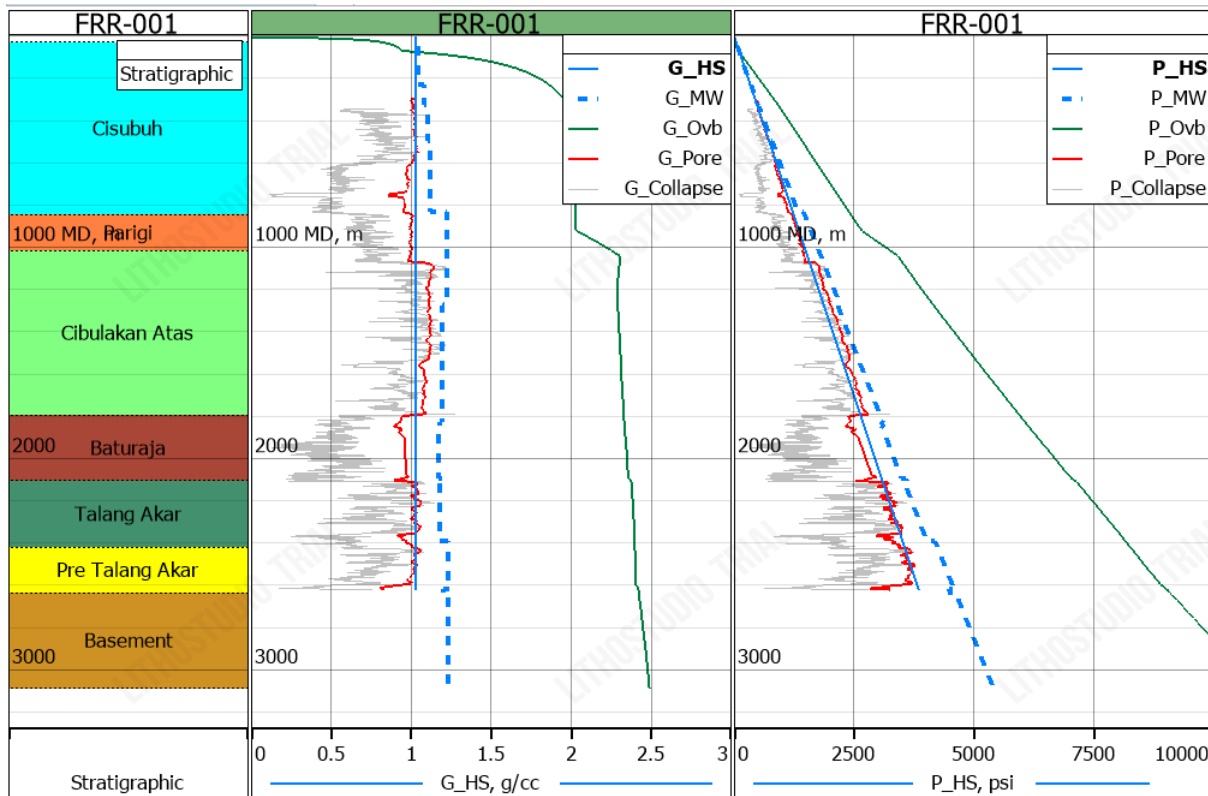
Gambar 4.2 Model *Pore Pressure* dan *Collapse Pressure* FRL-001

Pada gambar 4.2 formasi Parigi yang terdiri dari batuan karbonat menunjukkan densitas sedang dengan potensi porositas yang baik dan pada formasi Cibulakan memiliki densitas yang cenderung lebih tinggi dan stabil, mengindikasikan batuan sedimen yang kompak dan porositas yang berkurang akibat tekanan *overburden*. Formasi Jatibarang dan *Basement* menunjukkan densitas yang sangat tinggi (di atas 2.5 g/cc) dan pada kedalaman 2000 mMD terdapat peningkatan *pore pressure* akibat tekanan *overburden* yang tinggi. Dari aspek geomekanika di atas didapatkan bahwa Formasi Cibulakan Bawah dan hingga *Basement* merupakan interval yang paling kritis terhadap *wellbore stability*, sehingga perlu perhatian khusus dalam desain *mudweight* dan pengendalian *pore pressure* selama operasi pemboran.

4.1.2 Sumur FRR-001

Prediksi tekanan bawah permukaan sumur FRR-001 dilakukan dengan pendekatan metode empiris berbasis data *log* sumur, termasuk data densitas batuan dan *sonic log*, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung tekanan *overburden*, *pore pressure*, dan *collapse pressure* menggunakan prinsip dasar metode Eaton. Secara stratigrafi, sumur FRR-001 menembus satuan Formasi Cisubuh, Parigi, Cibulakan Atas, Baturaja, Talang Akar, Pre Talang Akar, hingga mencapai *Basement* dengan kedalaman total sekitar 3000 mMD. Estimasi tekanan bawah permukaan berada pada gambar 4.3 yang berupa *mudweight* (G_{MW}/P_{MW}), *overburden* (G_{Ovb}/P_{Ovb}), *pore pressure* (G_{Pore}/P_{Pore}), *collapse pressure* ($G_{Collapse}/P_{Collapse}$), tekanan hidrostatik (G_{HS}/P_{HS}). Pada hasil pemodelan gambar 4.3, gradien tekanan *overburden* (G_{Ovb}) menunjukkan kenaikan linier terhadap kedalaman, mencerminkan akumulasi beban batuan secara normal. Gradien *pore pressure* (G_{Pore}) umumnya mengikuti pola hidrostatik dengan sedikit anomali kecil pada zona tertentu, namun secara keseluruhan tidak menunjukkan adanya *overpressure* signifikan. Gradien *mudweight* pengeboran (G_{MW}) secara konsisten berada di antara gradien *pore pressure* dan gradien *collapse pressure* formasi ($G_{Collapse}$), mengindikasikan bahwa densitas lumpur yang

digunakan mampu menjaga kestabilan lubang bor tanpa melebihi *fracture pressure* formasi. Pada panel tekanan, hubungan antara *mudweight* (P_MW), *pore pressure* (P_Pore), dan *collapse pressure* (P_Collapse) menunjukkan margin tekanan yang optimal, tekanan lumpur selalu lebih tinggi dari *pore pressure* dan *collapse pressure* untuk menghindari *influx (kick)* dan untuk menghindari keruntuhan lubang bor (*wellbore collapse*).



Gambar 4.3 Model *Pore Pressure* dan *Collapse Pressure* FRR-001

Pada gambar 4.3 *collapse pressure* yang digambarkan dengan garis abu-abu menunjukkan batas minimum tekanan lumpur yang dibutuhkan untuk mencegah keruntuhan dinding lubang bor. Formasi Cibulakan Atas, *collapse pressure* berada jauh di bawah tekanan lumpur (P_MW), menandakan batuan relatif stabil dan tidak rapuh. Pada kedalaman 2500 mMD hingga mendekati *Basement*, *collapse pressure* secara bertahap meningkat dan mendekati garis tekanan lumpur. Kombinasi *pore pressure* yang tinggi dan struktur litologi yang kurang padat atau memiliki rekahan mengakibatkan tingginya *collapse pressure* pada sumur namun dapat ditahan oleh *mudweight*.

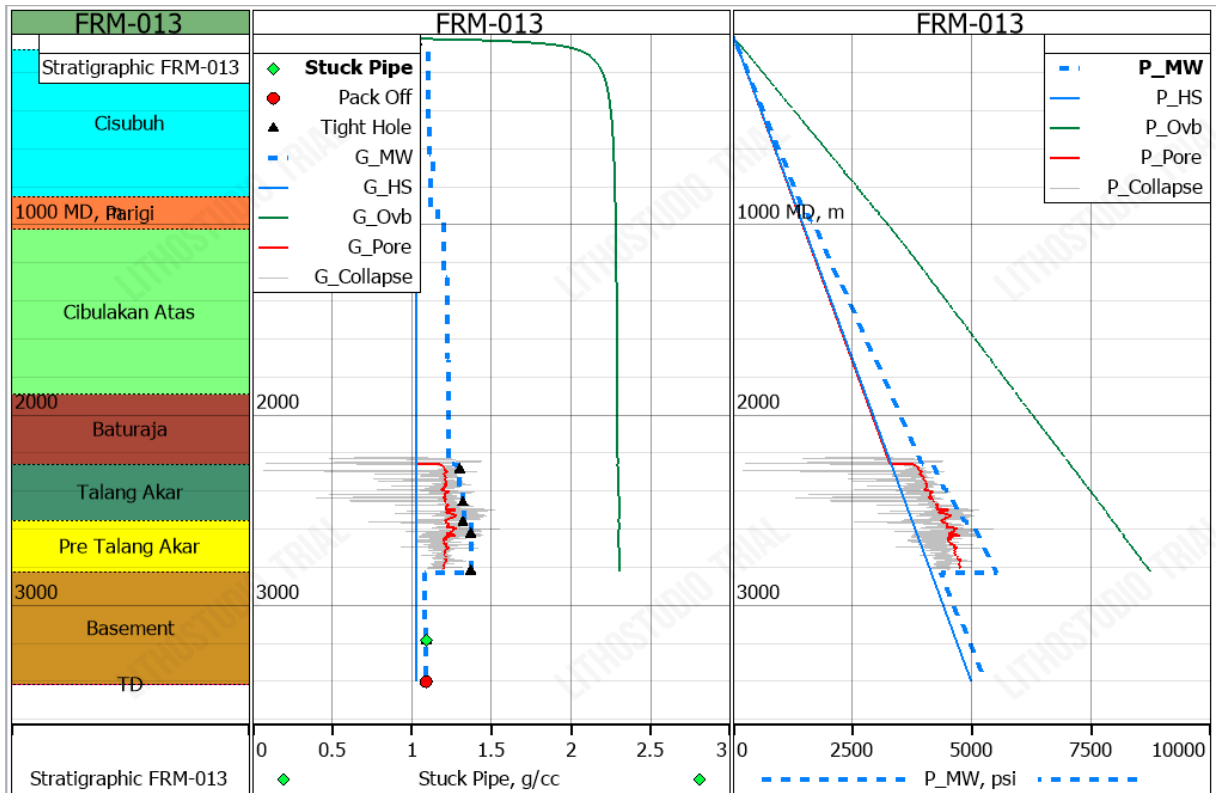
4.1.3 Sumur FRM-013

Sumur FRM-013 menembus beberapa formasi termasuk Formasi Cisubuh, Parigi, Cibulakan Atas, Baturaja, Talang Akar, Pre-Talang Akar, dan *Basement*. Analisis tekanan bawah permukaan pada sumur ini dilakukan dengan pendekatan metode Eaton berbasis data *log* seperti *sonic log* dan *density log*, untuk menghitung gradien tekanan *overburden*, *pore pressure*, serta *collapse pressure*. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai kestabilan lubang bor dan menentukan kebutuhan berat lumpur pengeboran yang optimal. Berdasarkan *review* dari *drilling report* didapatkan pada sumur FRM-013 terdapat permasalahan pada proses pengeboran seperti *tight hole*, *stuck pipe*, dan *pack off* yang dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Geomechanics Hazard FRM-013

Well Problem	Depth (m) (MD)
<i>Tight Hole</i>	38
<i>Tight Hole</i>	2286
<i>Tight Hole</i>	2461
<i>Tight Hole</i>	2563
<i>Tight Hole</i>	2625
<i>Tight Hole</i>	2820
<i>Tight Hole, Stuck Pipe</i>	3185
<i>Pack Off</i>	3402

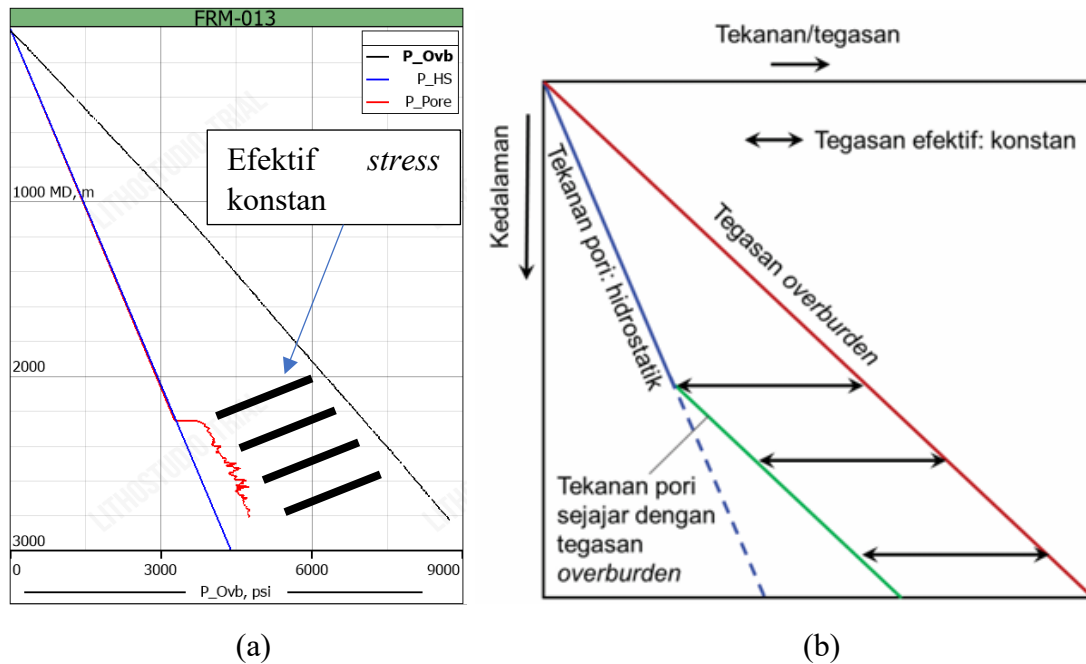
Pada gambar 4.4, terdapat gradien *mudweight* (G_MW), gradien *overburden* (G_Ovb), gradien *pore pressure* (G_Pore), dan gradien *collapse pressure* (G_Collapse). Secara umum, gradien *overburden* (G_Ovb) menunjukkan tren linier terhadap kedalaman, sesuai dengan akumulasi beban batuan. Gradien *pore pressure* (G_Pore) memperlihatkan fluktuasi dan mulai menyimpang dari tren hidrostatik pada zona Formasi Talang Akar hingga Pre-Talang Akar yang mengindikasikan adanya zona *overpressure*. Gradien lumpur (G_MW) mendekati atau bahkan sedikit melebihi gradien *collapse pressure* (G_Collapse) pada interval tersebut, yang mengindikasikan risiko keruntuhan dinding sumur (*wellbore instability*).



Gambar 4.4 Model Pore Pressure dan Collapse Pressure FRM-013

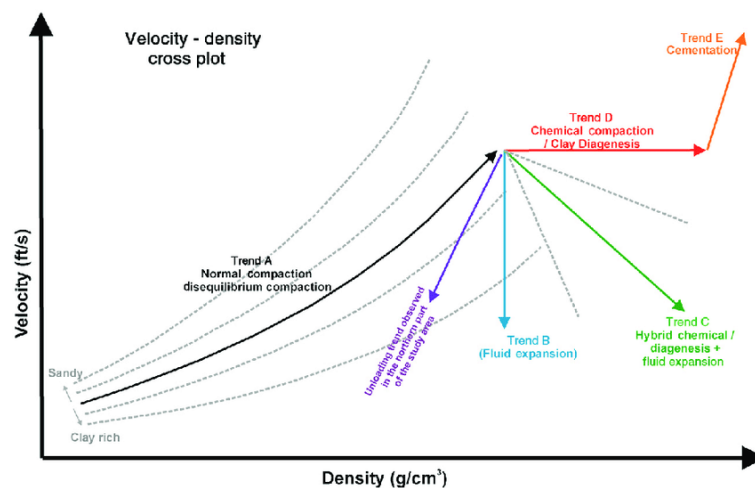
Gambar 4.4 juga menunjukkan hubungan antara *mudweight* (P_MW), *pore pressure* (P_Pore), dan *collapse pressure* (P_Collapse). Pada zona kedalaman antara 2400–3000 mMD, *mudweight* mendekati *collapse pressure*, sementara *pore pressure* menunjukkan peningkatan abnormal. Hal ini menyebabkan penyempitan window tekanan yang aman. Pada interval ini pula, terjadi gangguan operasi seperti *stuck pipe*, *pack off*, dan *tight hole*, yang tercatat pada diagram dengan simbol gangguan pengeboran dan pada tabel 4.2. Zona *overpressure* pada gambar 4.4

ditunjukkan pada kedalaman 2225 mMD hingga 2810 mMD ditandai dengan adanya peningkatan *pore pressure* melebihi tekanan hidrostatik sumur.

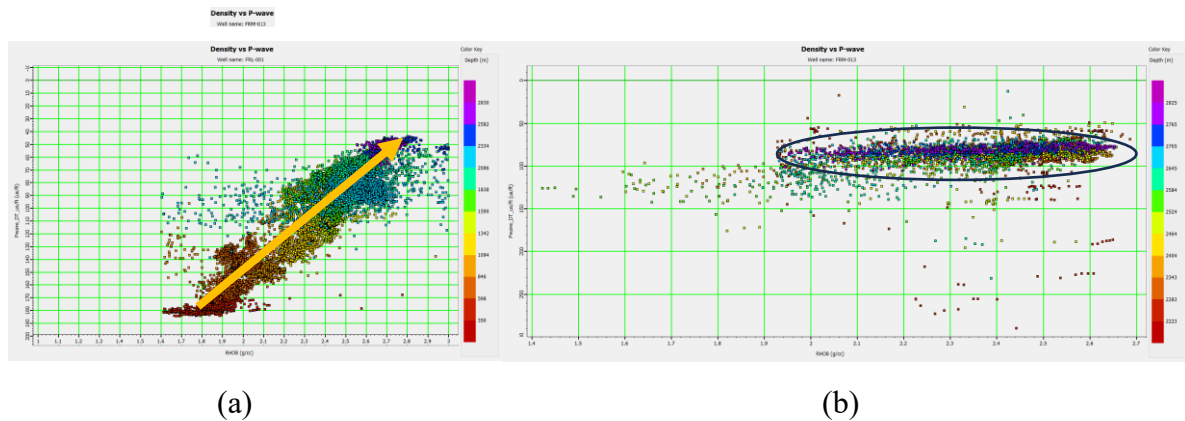


Gambar 4.5 (a) Analisis Mekanisme *Overpressure* Sumur FRM-013 (b) *Overpressure* Pada Mekanisme Loading (Ramdhan, 2022)

Overpressure pada sumur FRM-013 memiliki mekanisme *loading* yang terlihat pada gambar 4.5a terjadinya peningkatan *pore pressure* dengan tren efektif *stress* yang cenderung konstan. Hal tersebut juga dibuktikan oleh Ramdhan pada tahun 2022 pada gambar 4.5b, dalam kondisi ideal mekanisme *loading* tidak mengalami penambahan efektif *stress* akibat dari kegagalan batuan untuk kompak atau disebut dengan *disequilibrium compaction*.



Gambar 4.6 Crossplot Velocity-Density (R. Swarbrick, 2012)



Gambar 4.7 *Crossplot Velocity-Density* Pada Sumur FRM-013 (a) *Crossplot* Keseluruhan Data Sumur (b) *Crossplot* Interval *Shale* Zona *Overpressure*

Bukti bahwa mekanisme *loading* tidak mengalami penambahan efektif *stress* terhadap kedalaman dibuktikan oleh R. Swarbrick pada tahun 2012 yang dapat dilihat pada gambar 4.6. Gambar 4.6 dan 4.7a menjelaskan hubungan *density* dan *velocity*, pada mekanisme *loading* yaitu *trend A disequilibrium compaction* densitas meningkat terhadap kedalaman dengan *velocity* semakin meningkat atau pengurangan nilai pada *log sonic* akibat pembebanan *overburden*. Terjadinya *disequilibrium compaction* ditandai dengan adanya nilai yang cenderung konstan pada densitas dan *velocity* litologi *shale* dan *clay* yang terlihat pada gambar 4.7b dengan *crossplot velocity-density* pada zona *overpressure* pada kedalaman 2225 mMD hingga 2810 mMD. Hal tersebut terjadi dikarenakan *grain to grain* contact atau efektif *stress* pada litologi *shale* dan *clay* menjadi faktor dominan dan tidak dipengaruhi proses kimiawi ataupun proses sementasi sehingga porositas, kecepatan seismik, atau transit time dari log sonik merupakan fungsi dari efektif *stress* (Ramdhan, 2022).

4.1.4 Sumur FRM-014

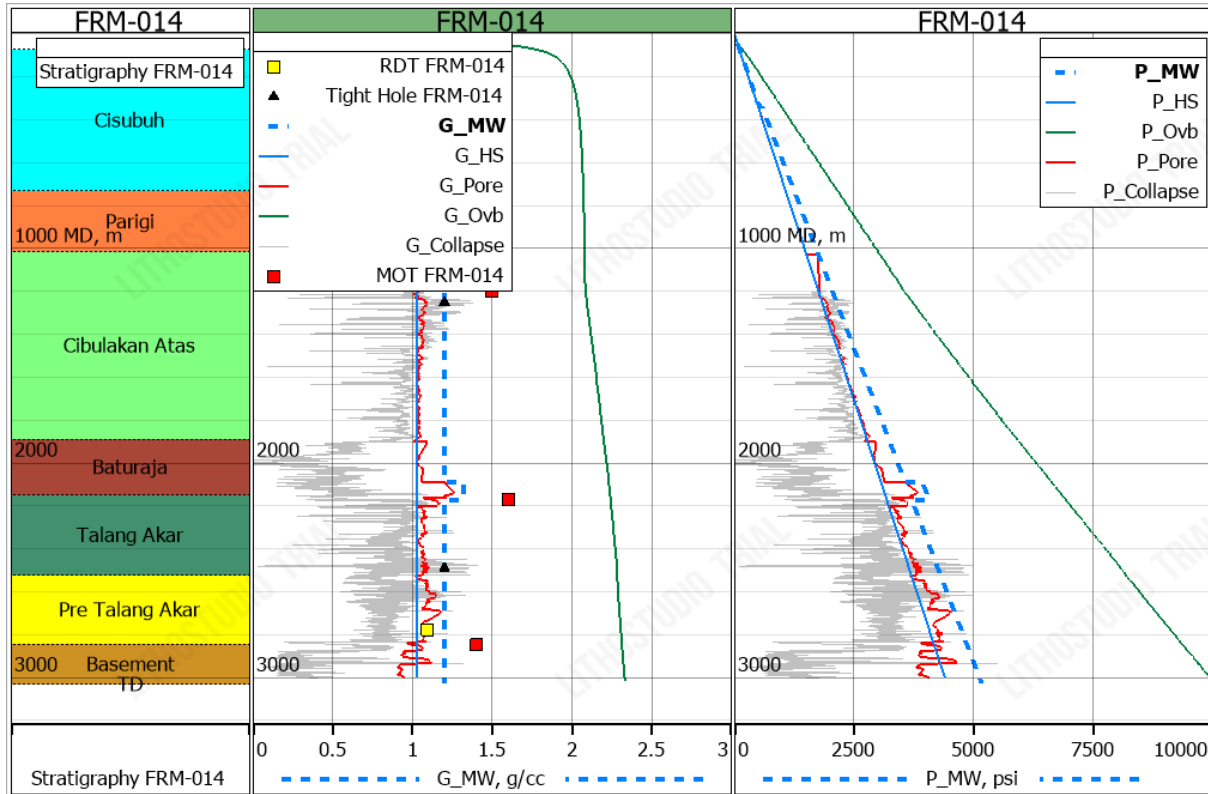
Sumur FRM-014 menembus Formasi Cisubuh hingga *Basement* dengan total kedalaman mencapai lebih dari 3000 mMD. Evaluasi geomekanika pada sumur ini dilakukan untuk memahami distribusi tekanan bawah permukaan dan menilai risiko terhadap *wellbore stability*. Pendekatan yang digunakan berbasis data *log* (terutama sonik dan densitas), dengan pemodelan tekanan menggunakan prinsip dasar hubungan *overburden-pore pressure-collapse pressure*. Perhitungan gradien tekanan dan tekanan aktual mencakup *mudweight* (G_MW), tekanan *overburden* (G_Ovb), *pore pressure* (G_Pore), tekanan hidrostatik (G_HS), dan tekanan *collapse pressure* (G_Collapse).

Tabel 4.3 *Geomechanics Hazard* FRM-014

<i>Well Problem</i>	<i>Depth (m) (MD)</i>
<i>Tight Hole</i>	1252
<i>Tight Hole</i>	1260
<i>Tight Hole</i>	2489

Berdasarkan analisis pada *full well* report didapatkan tiga *event geomechanics* berupa *tight hole* pada kedalaman 1252, 12,60, dan 2489 yang dapat terlihat pada tabel 4.3. *Window* gradien tekanan *overburden* (G_Ovb) pada gambar 4.8 memperlihatkan pola peningkatan linear terhadap kedalaman, sesuai karakteristik beban batuan vertikal kumulatif. G_Pore menunjukkan adanya penyimpangan dari tren hidrostatik pada interval bawah Formasi Baturaja hingga Pre-Talang Akar, yang mengindikasikan kemungkinan zona *overpressure* akibat ketidaksesuaian kompaksi (*disequilibrium compaction*) atau efek tekanan fluida terperangkap. G_MW umumnya berada di atas G_Pore dan masih berada dalam margin aman terhadap

G_Collapse, namun terdapat indikasi *tight hole* terlihat pada tabel 4.3 berada pada tiga kedalaman berbeda yang menunjukkan adanya penyempitan *safe mud window*. Hal ini mengindikasikan bahwa *mudweight* mendekati batas *collapse pressure* dan berisiko menyebabkan kerusakan formasi. Tiga insiden *tight hole* yang ditandai dengan simbol kuning menunjukkan bahwa pada interval ini, lumpur tidak mampu menjaga dinding sumur terbuka dengan sempurna dikarenakan *pore pressure* tinggi yang membuat *safe mud window* menyempit.

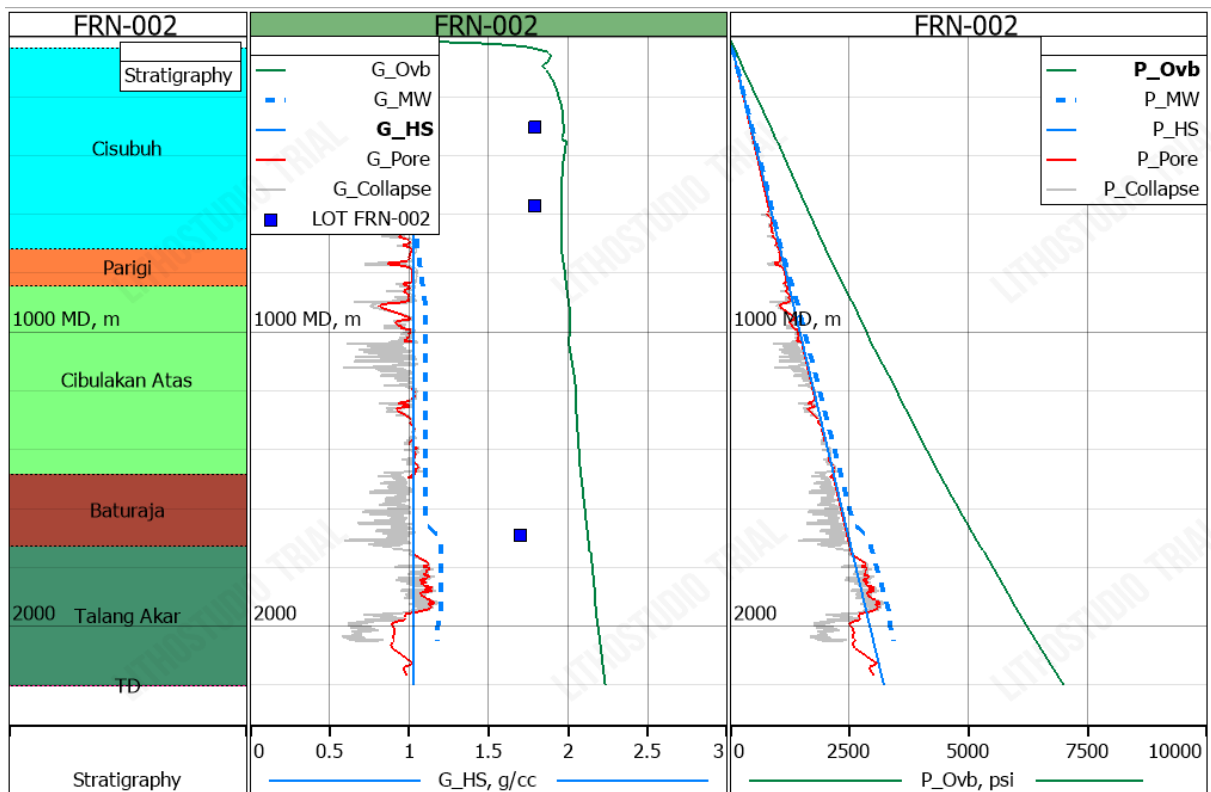


Gambar 4.8 Model *Pore Pressure* dan *Collapse Pressure* FRM-014

Pada gambar 4.8 *collapse pressure* yang tinggi pada kedalaman 1200 mMD dan 2400 mMD merupakan cerminan dari sifat fisis batuan yang lemah dan mudah retak, sehingga dibutuhkan tekanan lumpur yang lebih besar untuk menjaga kestabilan dinding sumur. Hal ini juga terlihat dari beberapa titik *tight hole* yang muncul dalam interval tersebut, menandakan bahwa dinding sumur mulai menyempit akibat tekanan formasi yang melebihi tekanan penahan dari lumpur. Peningkatan *collapse pressure* tersebut dikarenakan *pore pressure* yang tinggi dan batuan yang gagal untuk kompak. Selain itu, lapisan lempung atau *shale* plastis, yang cenderung mengalami deformasi ketika tekanan lumpur tidak mencukupi, terdapat rekahan atau struktur geologi seperti *fault zone* yang membuat batuan lebih rentan terhadap keruntuhan. Hasil evaluasi geomekanika menunjukkan bahwa sumur FRM-014 beroperasi dalam window tekanan yang cukup sempit terutama pada interval Formasi Talang Akar dan Pre-Talang Akar, yang mengharuskan optimalisasi *mudweight* dan pengawasan ketat terhadap parameter pengeboran. Kebutuhan akan *intermediate casing* pada zona tersebut dapat dipertimbangkan untuk menjaga integritas lubang bor dan menghindari kejadian *non-productive time* (NPT) yang diakibatkan oleh *wellbore collapse*.

4.1.5 Sumur FRN-002

Sumur FRN-002 dibor menembus Formasi Cisubuh, Parigi, Cibulakan Atas, Baturaja, hingga Talang Akar dengan kedalaman total sekitar 2500 meter *measured depth* (MD). Evaluasi geomekanika dilakukan untuk menganalisis *wellbore stability* berdasarkan hubungan antara tekanan *overburden*, *pore pressure*, *mudweight*, dan *collapse pressure*, baik dalam bentuk gradien maupun nilai tekanan. Pada gambar 4.9 gradien tekanan (tengah), gradien *overburden* (G_Ovb) menunjukkan kenaikan linier terhadap kedalaman, menandakan akumulasi beban litostatik normal. Gradien *pore pressure* (G_Pore) sebagian besar mengikuti pola hidrostatik, tanpa indikasi signifikan adanya zona *overpressure*, yang menunjukkan bahwa kompaksi batuan berlangsung normal. Gradien *mudweight* (G_MW) secara umum berada sedikit di atas gradien *pore pressure*, menjaga tekanan lumpur dalam kisaran aman untuk mencegah *influx* dari formasi. Pada sumur FRN-002 tidak terdapat *gradien collapse* (G_Collapse) yang berada lebih tinggi daripada G_MW, memastikan adanya window tekanan yang cukup untuk menjaga kestabilan lubang.



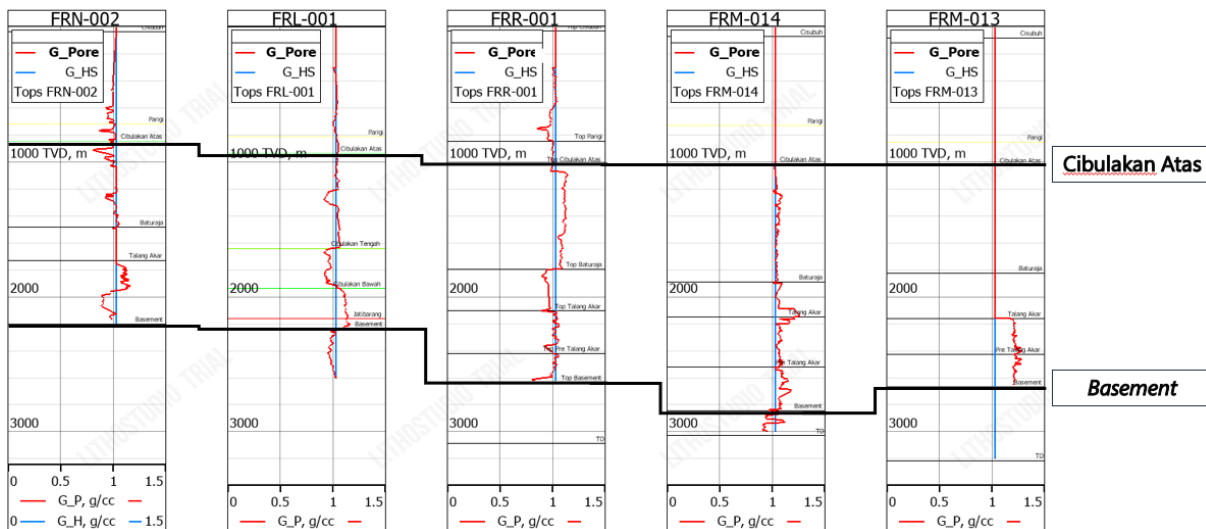
Gambar 4.9 Model Pore Pressure dan Collapse Pressure FRN-002

Batuan pada sumur FRN-002 (gambar 4.9) menunjukkan sifat fisis yang stabil dan kompak pada kedalaman dangkal hingga menengah, yang cocok untuk pemboran tanpa tantangan teknis berarti. Namun, memasuki zona dalam seperti formasi Talang Akar, terjadi perubahan karakteristik batuan menjadi lebih rapuh dan *pore pressure* tinggi, yang menandakan potensi *overpressure* dan risiko tidak stabilnya lubang bor. Kondisi ini menuntut desain lumpur yang lebih presisi untuk menjaga tekanan di dalam window antara *pore pressure* dan *collapse pressure*, sehingga menghindari keruntuhan dinding maupun kehilangan sirkulasi. Desain lumpur pengeboran telah dilakukan secara optimal, menjaga tekanan lubang tetap dalam *mudweight window* yang aman, sehingga mampu menghindari risiko *kick* maupun keruntuhan formasi. Dari integrasi gradien dan tekanan, dapat disimpulkan bahwa sumur FRN-002 beroperasi dalam kondisi tekanan normal. Tidak terdapat indikasi besar terhadap zona

overpressure ataupun *narrow mud window* yang berbahaya. Kondisi ini mengindikasikan bahwa operasi pengeboran dapat berlangsung dengan risiko geomekanika yang minimal, tanpa kebutuhan modifikasi berat lumpur yang drastis atau pemasangan casing tambahan di luar program awal.

4.2 Korelasi *Pore Pressure* Sumur

Berdasarkan dengan gambar 4.10 yaitu *arbitrary line* antar sumur mulai dari FRN-002, FRL-001, FRR-001, FRM-014, dan FRM-013. Lima sumur tersebut kemudian divisualisasikan dengan cara korelasi antar sumur untuk memetakan perubahan lateral tekanan.

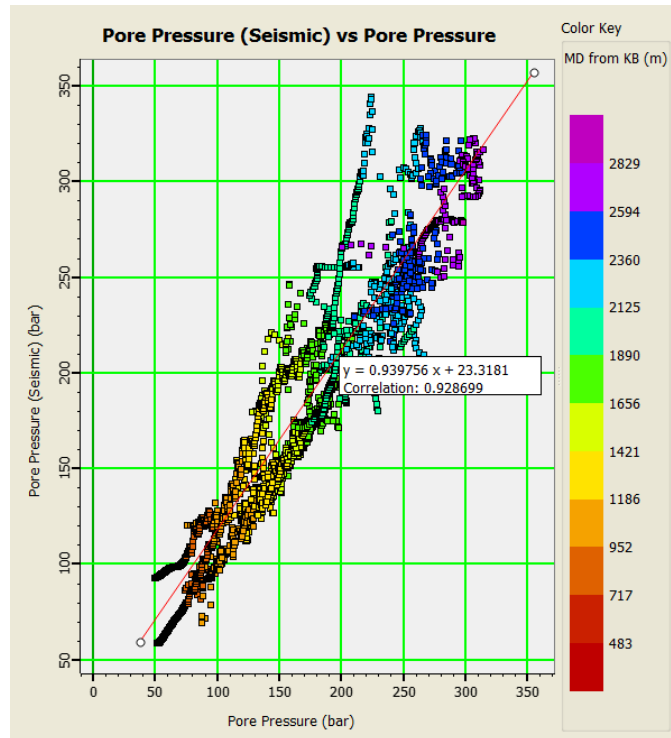


Gambar 4.10 Korelasi Antar Sumur

Korelasi antar sumur pada gambar 4.10 mengkonfirmasi variasi lateral tekanan, dengan sumur seperti FRM-013 dan FRM-014 menunjukkan puncak tekanan lebih tinggi dibandingkan FRN-002 dan FRL-001. Hal ini menunjukkan adanya hubungan antara posisi sumur pada peta seismik dan magnitudo *overpressure* yang dipengaruhi oleh distribusi lapisan sedimen atau keberadaan hidrokarbon. Akibat adanya pembebanan yang lebih tinggi dikarenakan kedalaman pada sumur FRM-013 dan kegagalan batuan untuk kompak mengakibatkan *overpressure* terjadi pada sumur FRM-013.

4.3 Korelasi *Pore Pressure* Sumur dan Seismik

Pore pressure seismik diestimasi menggunakan teknik inversi seismik berbasis kecepatan gelombang, sedangkan *pore pressure* sumur diperoleh dari pengukuran langsung di sumur. *Crossplot* dibuat dengan memvisualisasikan *pore pressure* seismik (sumbu vertikal, dalam bar) terhadap *pore pressure* sumur (sumbu horizontal, dalam bar). Data diwarnai sesuai kedalaman terukur dari Kelly Bushing (MD from KB) dalam meter, berkisar dari 483 m (merah) hingga 2830 m (ungu). Analisis regresi linier dilakukan untuk menentukan korelasi antara kedua variabel.

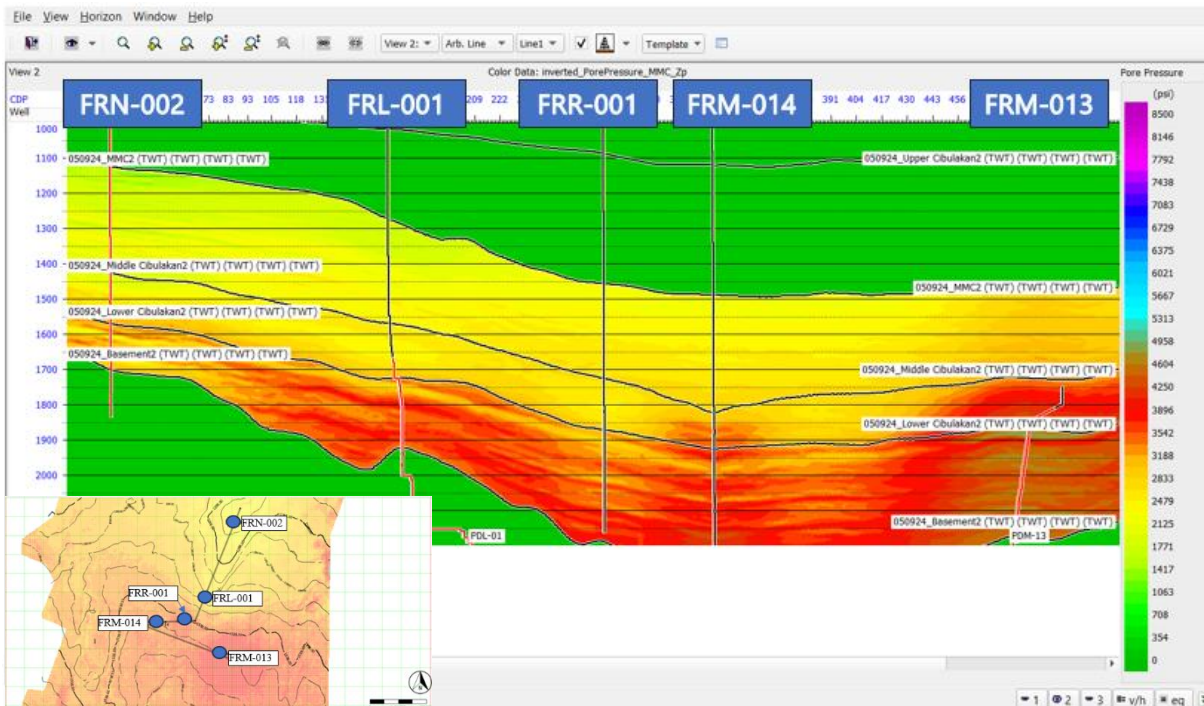


Gambar 4.11 Crossplot Pore Pressure Seismik dan Pore Pressure Sumur

Crossplot pore pressure seismik terhadap pore pressure sumur pada gambar 4.11 menghasilkan persamaan regresi linier berupa $y = 0.947665x + 17.6586$ dengan koefisien korelasi R^2 sebesar 0.935594. Nilai R^2 yang tinggi menunjukkan korelasi yang sangat baik antara pore pressure seismik dan data log, mengindikasikan akurasi yang memadai dalam prediksi pore pressure berbasis seismik. Distribusi data menunjukkan tren linier yang jelas, dengan konsentrasi titik data mengikuti garis regresi. Pore pressure meningkat seiring kedalaman, ditandai oleh perubahan warna dari merah (kedalaman dangkal, 483 m) ke ungu (kedalaman dalam, 2830 m).

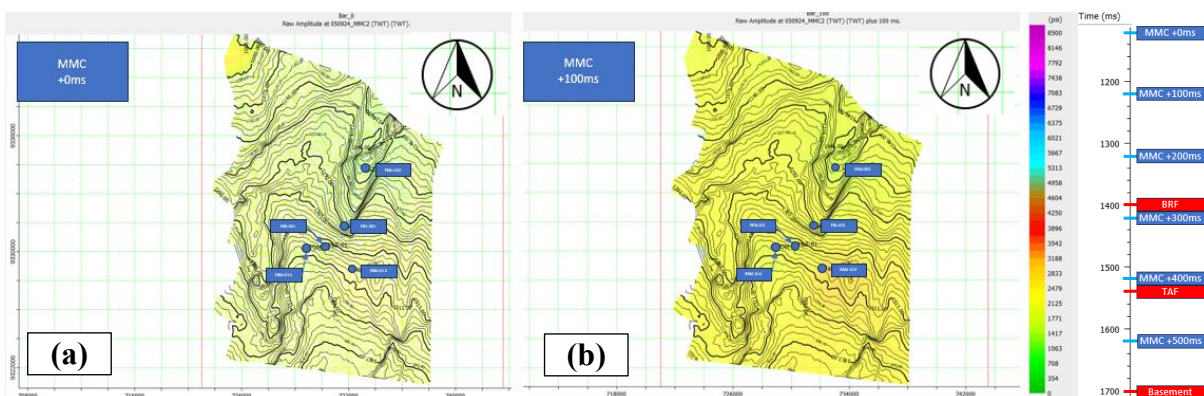
4.4 Pore pressure 3D Seismik

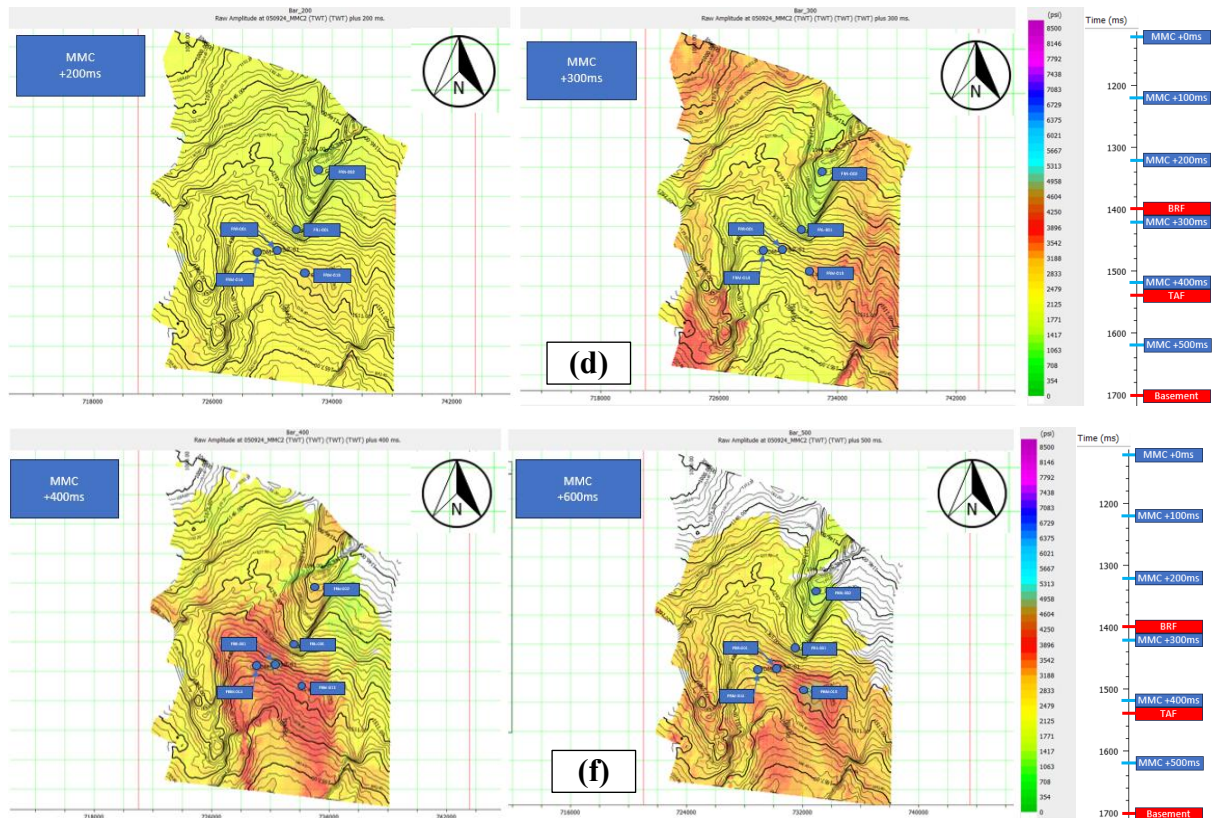
Penampang arbitrary line pada 3D seismik pore pressure pada gambar 4.12 menunjukkan distribusi pore pressure secara vertikal dan lateral di sepanjang lintasan yang dipilih di Lapangan "FRE", Cekungan Jawa Barat Utara. Satuan pore pressure yang digunakan adalah psi dengan skala warna pada penampang mencerminkan variasi pore pressure, dengan hijau menunjukkan tidak adanya data dikarenakan perhitungan pore pressure dikhususkan pada horizon MMC hingga basement, kuning hingga oranye menunjukkan tekanan sedang, dan merah menunjukkan tekanan tinggi.



Gambar 4.12 *Arbitrary Line Seismik*

Pada gambar 4.12 *pore pressure* ditunjukkan dalam gradasi warna, dari hijau (rendah) hingga merah (tinggi), serta dilengkapi dengan horizon stratigrafi utama seperti Cibulakan Atas, Cibulakan Tengah, Cibulakan Bawah, dan *Basement*. Berdasarkan distribusinya, zona *pore pressure* rendah hingga sedang (hijau-kuning) mendominasi pada formasi Cibulakan Atas hingga Cibulakan Tengah, menunjukkan batuan yang relatif kompak, stabil, dan permeabel yang tidak banyak memiliki resiko dalam pemboran. Sebaliknya, *pore pressure* mulai meningkat signifikan pada zona bawah, terutama di bawah Cibulakan Bawah hingga mendekati *Basement*, terlihat dari warna oranye hingga merah yang semakin intens ke arah sumur FRM-014 dan FRM-013. Zona ini mencerminkan kondisi *overpressure*, yang biasanya terjadi pada batuan dengan permeabilitas rendah, seperti lempung atau *shale*, yang menghambat aliran fluida selama proses pengendapan dan pematatan. Akibatnya, batuan menjadi rapuh secara mekanik dan berisiko tinggi terhadap keruntuhan lubang bor. Selain menjadi perhatian dari sisi keselamatan pengeboran, zona tekanan tinggi ini juga bisa menjadi indikasi perangkap fluida atau zona prospektif hidrokarbon tertutup.



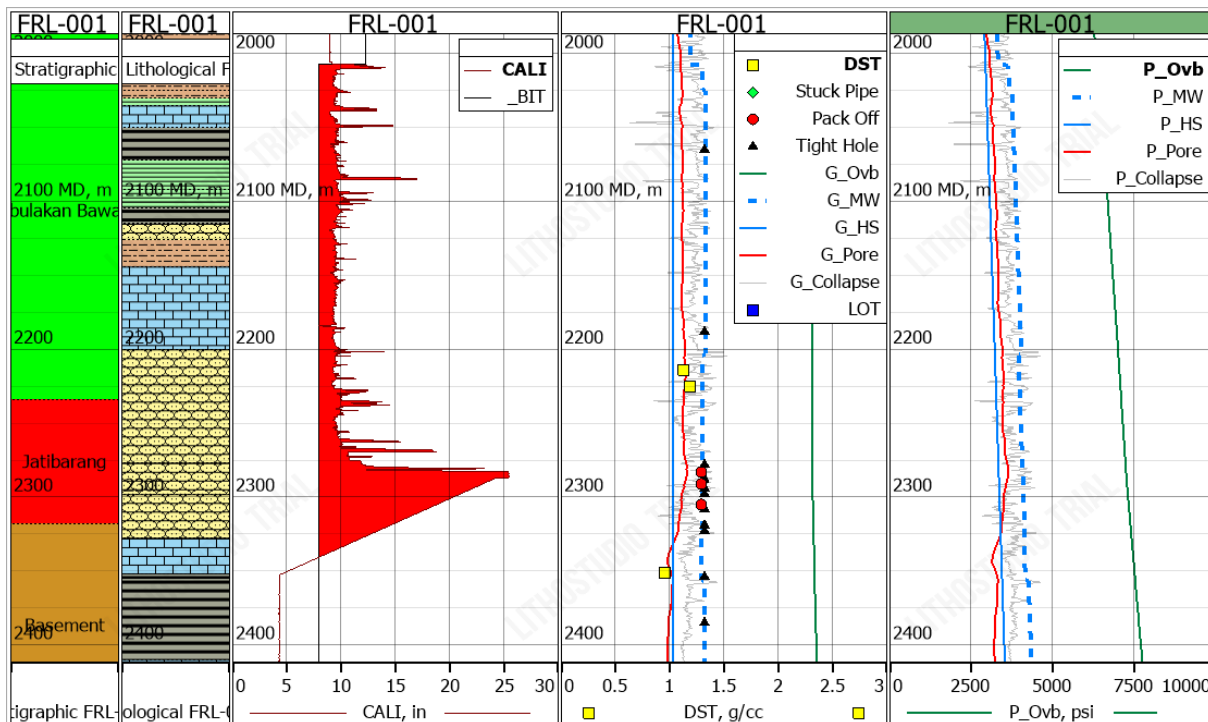


Gambar 4.13 Peta Sebaran *Pore pressure* Lapangan “FRE” (a) *Slice Horizon* MMC +0ms (b) *Slice Horizon* MMC +100ms (c) *Slice Horizon* MMC +0ms (d) *Slice Horizon* MMC +0ms (e) *Slice Horizon* MMC +0ms (f) *Slice Horizon* MMC +0ms

Pada gambar 4.13 yang merupakan peta persebaran *pore pressure* menunjukkan interval MMC +0 ms hingga MMC +200 ms, distribusi *pore pressure* relatif seragam, ditunjukkan dengan warna kuning-hijau (sekitar 3500–5300 psi). Hal ini mencerminkan zona batuan yang stabil, permeabel, dan mengalami kompaksi normal, seperti batupasir atau batugamping dengan porositas cukup tinggi. Pada interval MMC +300 ms hingga MMC +500 ms, terdapat warna oranye hingga merah (tekanan >6000 psi), terutama di wilayah selatan dan barat daya (FRM-014 dan FRM-013). Hal tersebut merupakan indikasi *overpressure*, yaitu *pore pressure* melebihi tekanan hidrostatik normal. *Overpressure* terjadi ketika fluida terperangkap akibat litologi yang *impermeabel*, seperti serpih atau batulempung dan menandakan perubahan sifat fisis batuan menjadi lebih rapuh, kurang padat, dan kurang stabil secara mekanik. Zona *pore pressure* rendah (kuning–hijau) merupakan batuan yang kompak, stabil, dan permeabel. Zona *pore pressure* tinggi (oranye–merah) merupakan batuan bersifat lemah secara mekanik, *impermeabel*, dan berisiko mengalami keruntuhan lubang bor (*wellbore instability*). Zona ini bisa menjadi indikasi reservoir tertutup atau akumulasi hidrokarbon jika disertai sistem perangkap yang efektif. Perubahan drastis tekanan dari MMC +300 ms ke bawah menandakan transisi dari batuan reservoir ke batuan penutup atau batuan zona tekanan, yang penting dalam *petroleum system*.

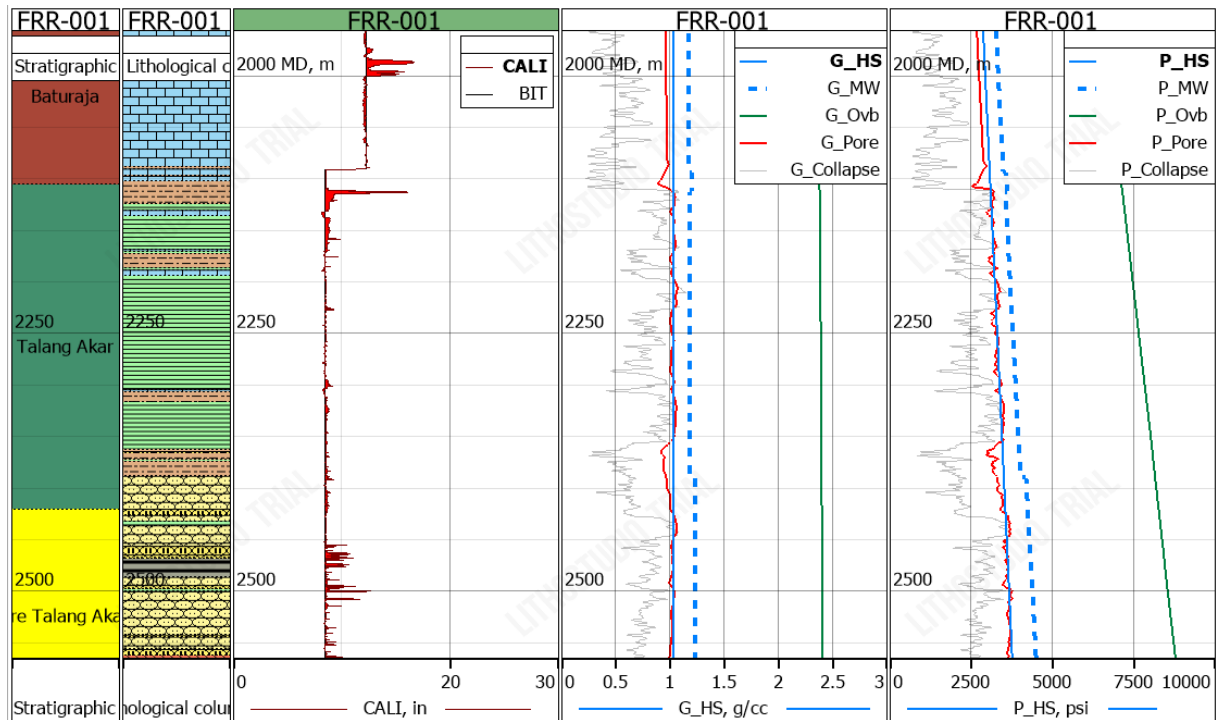
4.5 Analisis *Wellbore Stability*

Analisis *wellbore stability* pada sumur FRR-001 dan FRL-001 menunjukkan perbedaan yang signifikan yang dipengaruhi oleh kombinasi faktor litologi, *pore pressure*, dan sifat fisis batuan di sepanjang lintasan pemboran.



Gambar 4.14 *Wellbore Instability* Sumur FRL-001

Pada gambar 4.14 yaitu sumur FRL-001, interval kedalaman 2000–2400 meter menunjukkan indikasi ketidakstabilan lubang bor yang sangat jelas. Terjadinya pelebaran lubang bor yang ekstrem di kedalaman >2300 meter dengan diameter caliper melebihi 25 inci pada sumur FRL-001 merupakan indikasi kuat adanya kerusakan mekanis lubang bor (*wellbore collapse*) yang diakibatkan oleh kombinasi dari *pore pressure* tinggi (*overpressure*), litologi yang lemah secara mekanik, dan tekanan lumpur (*mud weight*) yang tidak mencukupi untuk menahan tegangan formasi. Selain itu, terdapat banyak indikator kejadian operasional seperti *stuck pipe*, *pack off*, *tight hole*, dan LOT (Leak Off Test), yang menandakan tekanan formasi yang sulit dikendalikan. Grafik *pore pressure* (P_Pore) menunjukkan peningkatan pada kedalaman lebih dari 2250 meter, mendekati bahkan bersinggungan dengan kurva *collapse pressure* (P_Collapse), sehingga mud window (rentang tekanan aman) menjadi sangat sempit. Ini membuat lubang bor sangat rentan terhadap keruntuhan karena tekanan lumpur tidak dapat dinaikkan secara signifikan tanpa risiko fraktur formasi. Litologi yang ditembus pada interval ini meliputi batulempung, batupasir tipis, dan formasi Jatibarang yang umumnya terdiri dari batuan seperti lempung atau serpih. Batuan ini memiliki sifat fisis plastis, porositas tinggi namun permeabilitas rendah, sehingga berperan dalam terbentuknya zona *overpressure* akibat fluida yang terperangkap dan tidak dapat mengalir keluar.



Gambar 4.15 Wellbore Stability Sumur FRR-001

Pada gambar 4.15 yaitu sumur FRR-001, interval kedalaman sekitar 2000–2600 meter mencakup formasi Baturaja, Talang Akar, dan Pre Talang Akar. Data caliper (CALI) menunjukkan profil yang relatif stabil, dengan diameter lubang tetap berada dalam kisaran normal tanpa indikasi pelebaran signifikan. *Pore pressure* (P_Pore) yang diplot terhadap tekanan lumpur (P_MW) dan *collapse pressure* (P_Collapse) memperlihatkan bahwa tekanan lumpur masih berada dalam rentang aman, yaitu di atas *pore pressure* namun di bawah *collapse pressure*. Hal ini menunjukkan kondisi *wellbore stability* yang baik, tanpa potensi keruntuhan lubang bor. Kondisi ini diperkuat oleh litologi dominan berupa batupasir dan batugamping, batuan yang memiliki sifat fisis kompeten, densitas tinggi, dan permeabilitas baik, sehingga mampu menahan tegangan dari lubang bor dan tidak rentan terhadap *overpressure*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada lapangan “FRE” didapatkan tiga kesimpulan sebagai berikut.

1. Lapangan “FRE” Cekungan Jawa Barat Utara memiliki rentang nilai *pore pressure* bernilai 0.87 hingga 1.26 sg EMW atau sebesar 486 hingga 4661 psi. Zona *overpressure* diindikasikan dengan nilai *pore pressure* yang melebihi 1.03 sg EMW sebagai batas tekanan hidrostatik. Zona *overpressure* diakibatkan litologi batuan *shale* yang gagal terkompaksi akibat tekanan *overburden* sehingga meningkatkan *pore pressure*. Litologi lempung atau *shale* memiliki sifat fisis plastis, porositas tinggi namun permeabilitas rendah, sehingga berperan dalam terbentuknya zona *overpressure* akibat fluida yang terperangkap dan tidak dapat mengalir keluar.
2. Persebaran *pore pressure* lapangan “FRE” Cekungan Jawa Barat berbanding lurus dengan kedalaman dan terkonsentrasi pada area timur lapangan “FRE” sebagai area rendahan yang menjadi target eksplorasi hidrokarbon. Zona *pore pressure* tinggi (oranye–merah) merupakan batuan bersifat lemah secara mekanik, *impermeabel*, dan berisiko mengalami keruntuhan lubang bor (*wellbore instability*).
3. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, tiga dari lima sumur pada lapangan “FRE” mengalami *wellbore instability* yaitu sumur FRL-001, FRM-013, dan FRM-014. Desain *mudweight* yang cukup rendah sehingga kurang dari nilai *collapse pressure* pada lubang sumur mengakibatkan keruntuhan lubang sumur terutama pada formasi Cibulakan Atas, Talang Akar, dan Jatibarang. Keruntuhan lubang sumur tersebut berakibat pada terjadinya *geomechanics hazard* seperti *tight hole*, *stuck pipe*, dan *pack off*. Kerusakan mekanis lubang bor (*wellbore collapse*) yang diakibatkan oleh kombinasi dari *pore pressure* tinggi (*overpressure*), litologi yang lemah secara mekanik, dan tekanan lumpur (*mudweight*) yang tidak mencukupi untuk menahan tegangan formasi.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada lapangan “FRE”, penulis memberikan saran berupa pengembangan penelitian ke dalam simulasi *reservoir geomechanics* untuk melihat pergerakan *overpressure* pada daerah potensi yang akan dieksplorasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, R. (2018). Analisis petrofisika dan penyebab low resistivity reservoir zone berdasarkan data *log*, *sem*, *xrd*, dan petrografi pada formasi gumai lapangan raw sub-cekungan jambi sumatera selatan.
- Atashbari, V. (2016). Origin of overpressure and *pore pressure* prediction in carbonate reservoirs of the Abadan Plain Basin (Doctoral dissertation).
- Azadpour, M., & Shad Manaman, N. (2015). Determination of *pore pressure* from sonic *log*: a case study on one of Iran carbonate reservoir rocks. *Iranian Journal of Oil and Gas Science and Technology*, 4(3), 37-50.
- Bahmaei, Z., & Hosseini, E. (2020). *Pore pressure* prediction using seismic velocity modeling: case study, Sefid-Zakhor gas field in Southern Iran. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 10, 1051-1062.
- Baouche, R., Sen, S., Sadaoui, M., Boutaleb, K., & Ganguli, S. S. (2020). Characterization of *pore pressure*, fracture pressure, shear failure and its implications for drilling, wellbore stability and completion design—a case study from the Takouazet field, Illizi Basin, Algeria. *Marine and Petroleum Geology*, 120, 104510.
- Budiman, M. A., Warnana, D. D., & Syaifuddin, F. (2017). Kajian dan Komparasi Teoritis Metode Prediksi *Pore pressure*: Metode Eaton dan Metode Bower. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), B187-B190.
- Eaton, B.A., 1975. The equation for geopressure prediction from well *logs*. In: Fall Meeting of the Society of Petroleum Engineers of AIME. Society of Petroleum Engineers, Dallas, Texas, Sept 28- Oct 1, <https://doi.org/10.2118/5544-MS>. SPE5544-MS.
- Eaton, B.A., Eaton, T.L., 1997. Fracture gradient prediction for the new generation. *World Oil* 218 (10), 93–100.
- Elmahdy, M., Farag, A. E., Tarabees, E., & Bakr, A. (2018, April). *Pore pressure* prediction in unconventional carbonate reservoir. In SPE Kingdom of Saudi Arabia annual technical symposium and exhibition (pp. SPE-194224). SPE.
- Gholami, R., Moradzadeh, A., Rasouli, V., Hanachi, J., 2014. Practical application of failure criteria in determining safe mud weight windows in drilling operations. *J. Rock Mech. Geotech. Eng.* 6, 13–25
- Glover, P. W. J. (2000). Petrophysics. University of Aberdeen, UK, 270.
- Gusty, S., Syarifudin, E., Adriansyah, M., Jamilah, J., Efrianto, E., & Fajrin, A. M. (2024). Perubahan Iklim dan Stabilitas Geoteknik.
- Haldar, S. K. (2018). Chapter 6 - Exploration Geophysics. In S. K. Haldar (Ed.), *Mineral Exploration* (Second Edition) (pp. 103–122). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814022-2.00006-X>.
- Harsono, A. (1997). Evaluasi Formasi dan Aplikasi *Log*. Jakarta : Schlumberger Oilfield Services.
- Jamaluddin., Wagreich, M., Schöpfer, K., Sachsenhofer, R. F., & Rahmawati, D. (2024). Hydrocarbon potential and depositional environment of the Middle Miocene Balikpapan Formation, lower Kutai Basin, Indonesia: *Sedimentology*, calcareous nannofossil, organic geochemistry, and organic petrography integrated approach. *International Journal of Coal Geology*, 293, 104591.
- Kadhim, F. S., Samsuri, A., & Idris, A. K. (2014). Calculation of petrophysical properties for Mishrif carbonate reservoir. *AIP Conference Proceedings*, 1621(1), 756–762.
- Khattab, M. N. E. S., Abou Ashour, N. M. H. A., El-Werr, A. K. M. M., & Afifi, M. F. M. (2022). Pre-drill *pore pressure* prediction from 1D seismic velocity profile to 3D modeling using high resolution full waveform inversion velocity (FWI): Deep water

- offshore, West Nile Delta. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, 8(6), 213.
- Moss, S. J., Chambers, J., Cloke, I., Satria, D., Ali, J. R., Baker, S., ... & Carter, A. (1997). New observations on the sedimentary and tectonic evolution of the Tertiary Kutai Basin, East Kalimantan. *Geological Society, London, Special Publications*, 126(1), 395-416.
- Mouchet, J. Dan Mitchell, A., 1989. *Abnormal Pressure While Drilling*. Boussens: Elf Aquitaine.
- Syahputra, M. R., Mulyatno, B. S., Karyanto & Herdiana, Y., 2017. *Pemodelan Prediksi Pore pressure Menggunakan Metode Eaton Berdasarkan Data Interval Velocity Pada Lapangan Hidrokarbon "Ertiga", Cekungan Sumatera Selatan*. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 3(1), pp. 1-14.
- Sen, S., Kundan, A., & Kumar, M. (2020). Modeling *pore pressure*, fracture pressure and collapse pressure gradients in offshore panna, western India: implications for drilling and wellbore stability. *Natural Resources Research*, 29(4), 2717-2734.
- Weakley, R. R., Determination of Formation *Pore pressures* in Carbonate Environments from Sonic Logs, in Annual Technical Meeting, Petroleum Society of Canada, 1990.
- Zhang, J., 2013. Borehole stability analysis accounting for anisotropies in drilling to weak bedding planes. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 60, 160–170.

BIODATA PENULIS



E.T.A. Farhan dilahirkan di Kotaagung, 26 Agustus 2002, merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 2 Kuripan, MTsN 1 Tanggamus, dan MAN Insan Cendekia OKI. Setelah lulus dari MAN Insan Cendekia OKI tahun 2021, Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Geofisika FTSPK - ITS pada tahun 2021 dan terdaftar dengan NRP 5017211053.

Selama masih berkuliah di Departemen Teknik Geofisika, penulis aktif di beberapa kegiatan organisasi, kegiatan, dan perlombaan yang diselenggarakan setingkat Departemen, Kampus, dan Nasional. Penulis mengikuti kegiatan mulai dari *Liaison Officer* GERIGI ITS tahun 2022, *staff* ahli Mentor GERIGI tahun 2023, *staff* OKKBK Teknik Geofisika ITS tahun 2022, dan kegiatan

lainnya dibawah naungan HMTG ITS, PLHS SIKLUS ITS, dan BEM ITS. Penulis juga menjabat sebagai Wakil Ketua HMTG tahun 2023/2024, Sekretaris PLH SIKLUS ITS tahun 2023/2024, Direktur Jenderal Kebencanaan BEM ITS 2023/2024. Penulis pernah mendapatkan pendanaan PKM-RE tahun 2023, pendanaan PKM-PM tahun 2024, Juara 1 Lomba Desain Survey Geofisika pada *event* GEOSCOPE UGM tahun 2024, finalis *Geothermal Case Study Competition* pada *event* DERRICK PEM AKAMIGAS CEPU tahun 2024, Juara 1 *Petrowell Study Case Competition* pada *event* IPW Universitas Pertamina tahun 2025, Juara 3 *Plan of Development* OGIP UPNYK tahun 2025. Penulis juga pernah melakukan studi independen pada MSIB batch 6 PT. AILIMA tentang *geothermal energy*, *internship* pada *Reservoir Solution* (RES) tentang *integrated reservoir analysis*, dan *internship* sekaligus pengerjaan Tugas Akhir di PT. Gecko Geomekanika Persada. Penulis sangat terbuka apabila ada saran, kritik, maupun ajakan diskusi yang ingin disampaikan. Penulis dapat dihubungi melalui email: esatriaqilfarhan@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan