

ANALISIS TEKANAN PORI DAN IN-SITU STRESS PADA SUMUR GA-1 CEKUNGAN KUTAI
KALIMANTAN TIMUR

Ghina Rafifah Zulyan^{1*}, Yusi Firmansyah¹, Zufaldi Zakaria¹, Sena Warman Reksalegora¹,
Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jatinangor

*Email Korespondensi: ghina20004@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Pemahaman mendalam, penelitian, dan analisis tekanan pori menjadi langkah kunci dalam mengoptimalkan proses pengeboran serta meningkatkan produktivitas operasi sumur eksplorasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi tekanan pori dan *in-situ stress* bawah permukaan pada Sumur GA-1 di Cekungan Kutai. Data yang digunakan berupa *wireline log* dan laporan akhir pengeboran serta pengolahan dilakukan dengan menggunakan data pengukuran dari metode langsung, tidak langsung serta metode Eaton (1975). Hasil penelitian menunjukkan bahwa keadaan tekanan pori pada sumur GA-1 diketahui memiliki zona *overpressure* yang sangat kecil yang dimulai pada kedalaman 7333 ft pada Formasi Tanjung. Analisis tekanan pori menggunakan data pengukuran langsung berupa RFT (*Repeat Formation Test*), DST (*Drill Stem Test*) dan data pengukuran tidak langsung berupa data berat lumpur (*mud weight*), serta prediksi tekanan pori juga dilakukan dengan menggunakan metode Eaton (1975). Hasil analisis *in-situ stress* menunjukkan kemungkinan keterdapatan sesar naik pada sumur tersebut.

Kata Kunci : Cekungan Kutai, Tekanan Pori, *Overpressure*, *In-situ Stress*

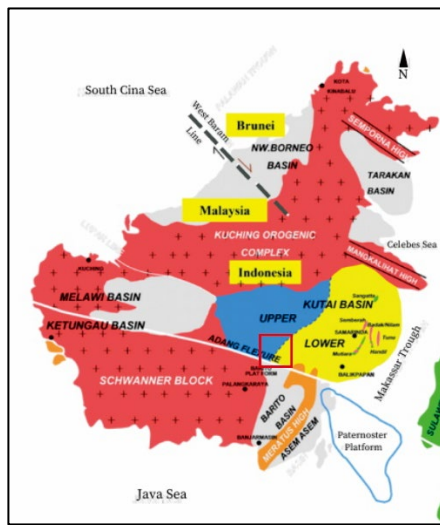
ABSTRACT

A deep understanding, research, and analysis of pore pressure are key steps in optimizing drilling processes and increasing the productivity of exploration well operations. This study aims to determine the conditions of pore pressure and subsurface in-situ stress at Well GA-1 in the Kutai Basin. The data used include wireline logs and final drilling reports, and processing is carried out using measurement data from direct methods, indirect methods, as well as Eaton's method (1975). The research results show that the pore pressure condition in well GA-1 is known to have a very small overpressure zone that starts at a depth of 7333 ft in the Tanjung Formation. Pore pressure analysis using direct measurement data such as RFT (Repeat Formation Test), DST (Drill Stem Test), and indirect measurement data such as mud weight data, as well as pore pressure prediction is also carried out using Eaton's method (1975). The results of LOT (Leak of Test) indicate the possibility of finding an thrust fault in the well.

Keywords : Kutai Basin, Pore Pressure, *Overpressure*, *In-situ Stress*.

1. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas alam merupakan salah satu sektor yang sangat penting dalam ranah energi global, termasuk di Indonesia yang memiliki banyak cekungan sedimen yang berpotensi tinggi untuk memproduksi minyak dan gas. Salah satu cekungan yang terkenal kaya akan potensi tersebut adalah Cekungan Kutai. Pemahaman mendalam, penelitian, dan analisis tekanan pori menjadi langkah kunci dalam mengoptimalkan proses pengeboran serta meningkatkan produktivitas operasi sumur eksplorasi.



Gambar 1. Peta Cekungan Kutai, (Bachtiar, 2013) dengan Wilayah Penelitian ditandai Kotak Merah. (tanpa skala).

Kegiatan pengeboran merupakan salah satu tahapan yang kompleks, karena sering terjadinya *well bore problems* yang dapat menyebabkan kerugian. Seperti halnya pada Sumur GA-1, tercatat beberapa kali mengalami *lost circulation*. Tujuan penelitian ini adalah ; (1) Analisis tekanan pori bawah permukaan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui potensi permasalahan yang dapat

timbul selama pengeboran sehingga dapat dilakukan pencegahan dan meminimalisir akibat yang timbul. Serta (2) analisis *in-situ stress* digunakan untuk memprediksi tegasan bawah permukaan pada sumur tersebut sehingga dapat dilakukan perencanaan pengeboran yang baik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik merupakan tekanan yang disebabkan oleh kolom fluida terbuka yang terhubung dengan atmosfer (Zoback, 2010). Tekanan hidrostatik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P_h = \rho g h \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

P_h = tekanan hidrostatik (Psi)

ρ = densitas rata-rata air (kg.m^{-3})

g = percepatan gravitasi (m.s^{-2})

h = Kedalaman (ft)

2.2 Tegasan Overburden/ Tegasan Vertikal

Tegasan *overburden* merupakan tegasan yang memiliki arah vertikal, serta timbul akibat adanya beban di atasnya (*overburden*). Adapun beban tersebut berupa sedimen. Besaran tegasan *overburden* dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$S_v = \rho_b g h \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

S_v = tegasan *overburden* (Psi)

ρ_b = densitas batuan (kg.m^{-3})

g = gravitasi (m.s^{-2})

h = kedalaman (ft)

2.3. Tegasan Efektif

Tegasan efektif adalah selisih antara tegangan litostatik dan tekanan pori. Berdasarkan hasil tersebut, tegangan efektif merupakan total tekanan yang dapat

ditanggung oleh batuan (Terzaghi and Peck, 1967 dalam Ramdhan, 2010).

Tegangan efektif dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\sigma = Sv - Pp \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

σ = Tegangan efektif

Sv = Tegangan *overburden* (tekanan vertikal)

Pp = Tekanan pori

2.4 Tegangan Horizontal Minimum

Tegangan horizontal minimum, yang juga dikenal sebagai tekanan retakan/ rekah (*fracture pressure*), merupakan batas kekuatan batuan terhadap tekanan yang diberikan. Jika mencapai tekanan rekah ini maka batuan akan pecah. Informasi mengenai tegangan horizontal minimum biasanya diperoleh melalui uji *Leak of Test* (LOT) dan *Formation Integrity Test* (FIT) pada sumur (Zoback, 2010).

2.5 Tekanan Pori

Tekanan pori adalah tekanan hidrolik skalar yang terbentuk di dalam ruang poriyang saling terhubung. Tekanan pori dapat dibagi menjadi dua berdasarkan nilainya, yaitu tekanan normal (hidrostatik), dan tekanan abnormal (*Overpressure* dan *Underpressure*). Tekanan pori dapat diketahui melalui data pengukuran metode langsung, dan tidak langsung serta dapat diprediksi menggunakan metode Eaton (1975, dalam Ramdhan, 2022).

2.6 Metode Eaton (1975)

Data yang diterapkan dalam metode ini berasal dari *wireline log*. Beberapa data *wireline log* yang digunakan adalah data log resistivitas dan log sonik.

$$p = \sigma_v - (\sigma_v - p_h) \left(\frac{\Delta t_n}{\Delta t} \right)^3 \log \text{sonik} \dots \dots \dots (4)$$

$$p = \sigma_v - (\sigma_v - p_h) \left(\frac{R}{R_n} \right)^{1.2} \log \text{resistivitas} (5)$$

dengan:

p = tekanan pori Eaton

σ_v = tegasan litostatik / *overburden stress*

p_h = tekanan pori saat hidrostatik

n = kondisi saat hidrostatik

Δt = nilai-nilai dari *transit time* / log sonik

R = nilai dari resistivitas

Metode Eaton (1975, dalam Ramdhan, 2022) mengandalkan data *transit time* untuk mendapatkan *Normal Compaction Trend* (NCT). Untuk nilai *transit time* dapat menggunakan persamaan Chapman (1983, dalam Ramdhan, 2022) yang menentukan besaran NCT dari data sonik, seperti dibawah ini:

$$\Delta t_n = (\Delta t_0 - \Delta t_m) \times e^{-bz} + \Delta t_m \dots \dots \dots (6)$$

dengan:

Δt_n = nilai pada kondisi NCT

Δt_m = nilai matriks batuan

Δt_0 = nilai dipermukaan

z = kedalaman

b = konstanta

2.7 Mekanisme Overpressure

a. Loading

Mekanisme *Loading* terjadi akibat peningkatan tekanan litostatik / *overburden* yang disebabkan karena adanya sedimentasi yang cepat. Hal ini menyebabkan fluida pada pori-pori batuan tidak dapat keluar ke permukaan sehingga sedimen gagal kompak yang akan berefek pada naiknya tekanan pori melebihi tekanan hidrostatik agar dapat mengimbangi laju kenaikan tekanan litostatik (Ramdhan, 2022).

b. *Unloading*

Mekanisme *unloading* terjadi akibat meningkatnya volume fluida pada batuan dengan tingkat permeabilitas rendah. Hal ini tidak terlepas dari perubahan material sedimen menjadi fluida. Akibatnya fluida tidak mampu keluar sehingga tekanan pori meningkat. Dampaknya tegasan efektif batuan akan berkurang (Ramdhan & Goulty, 2010).

3. Metode Penelitian

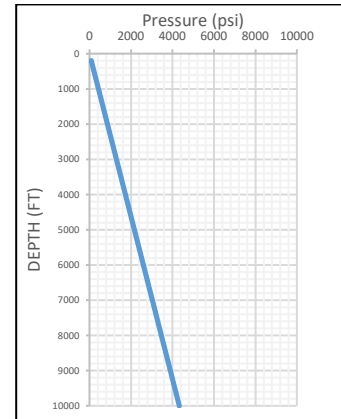
Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif melibatkan pengolahan data *wireline log* menggunakan rumus-rumus tertentu untuk menentukan tekanan pori. Penelitian kualitatif menggunakan hasil perhitungan tersebut untuk memahami kondisi tekanan pori serta *fracture gradien* di daerah penelitian dan implikasi kondisi tekanan pori terhadap kegiatan eksplorasi pada daerah penelitian.

Penelitian menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Kementerian ESDM. Data tersebut diolah menggunakan *software* Excel. Tahap pengolahan data pertama menentukan tekanan hidrostatik, untuk sumur GA-1 digunakan gradien tekanan hidrostatik 0,433 psi/ft (1), menghitung tegasan *overburden* / tegasan vertikal menggunakan permodelan log densitas (2), *plotting* data pengukuran langsung (DST, RFT) dan tidak langsung (*mud weight*) serta data LOT (3), *Normal Compaction Trend* (NCT) dari data log sonik (4), menentukan prediksi tekanan pori menggunakan metode Eaton (1975) (5), menentukan titik top, zona serta mekanisme *overpressure* (6), menentukan *stress regime* daerah penelitian berdasarkan hasil analisis data tekanan dan tegasan bawah permukaan (7).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tekanan Hidrostatik

Tekanan ini merupakan fungsi dari tinggi kolom fluida (air) dan densitas air itu sendiri. Gradien tekanan hidrostatik yang digunakan adalah 0,433 psi/ft.

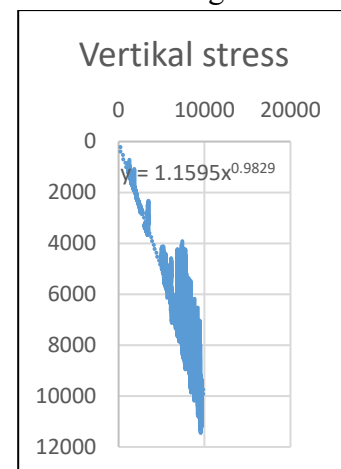


Gambar 2. Grafik Tekanan Hidrostatik Terhadap Kedalaman dengan Gradien Hidrostatik 0,433 psi/ft

4.2 Tegasan *Overburden*/ Tegasan Vertikal

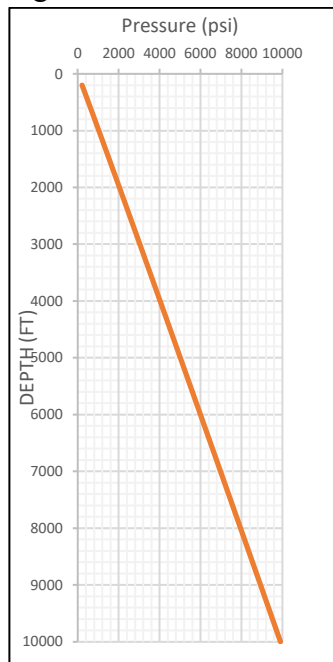
Tekanan litostatik atau tekanan vertikal dihitung menggunakan log densitas yang diaplikasikan pada persamaan (2).

Dari perhitungan tersebut dihasil grafik antara *vertical stress* dengan kedalaman.



Gambar 3. Nilai Tegasan *Overburden* / Tegasan Vertikal, dengan Sumbu X sebagai Fungsi Kedalaman dan Sumbu Y sebagai Fungsi Densitas

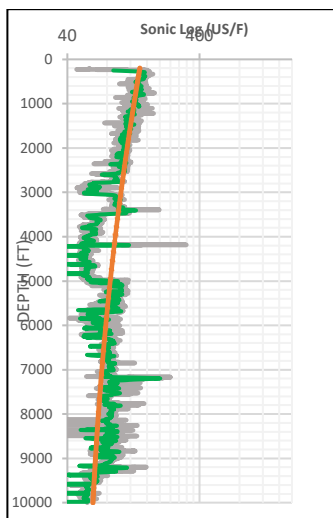
Dari grafik tersebut dihasilkan fungsi yang kemudian digunakan untuk perhitungan akhir dari tegasan vertikal.



Gambar 4. Grafik Tegasan *Overburden*/ Tegasan Vertikal Terhadap Kedalaman

4.3 Normal Compaction Trend

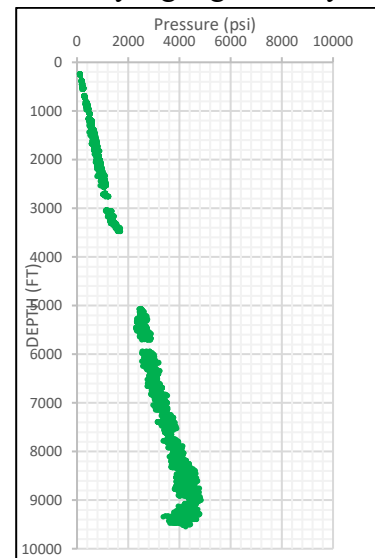
Didapatkan dengan menggunakan grafik plot antara log sonik dengan kedalaman. Pada kedalaman 7339 ft didapati nilai log sonik 91,2 us/ft dan nilai NCT sebesar 71,37 us/ft.



Gambar 5. Interpolasi NCT terhadap Log Sonik

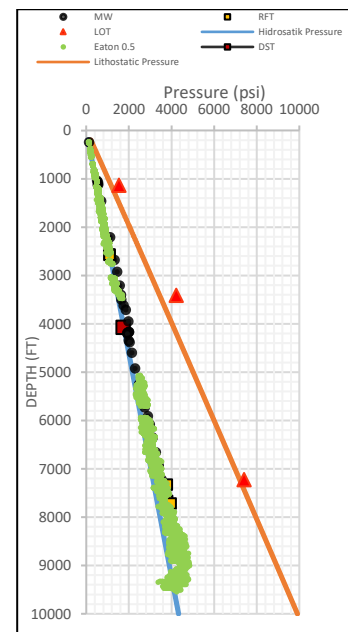
4.4 Prediksi Tekanan Pori Menggunakan Metode Eaton (1975)

Koefisien eaton yang digunakan yakni 0.5.



Gambar 6. Prediksi Tekanan Pori dengan metode Eaton (1975). Sumur GA-1 menggunakan Koefisien Eaton 0,5

4.5 Kondisi Tekanan Pori dan *In-situ* Stress



Gambar 7. Grafik *pressure vs depth* yang Memuat informasi RFT, DST, LOT, MW, *Hidrostatik Pressure*, *Overburden Stress* dan Prediksi Tekanan Pori menggunakan Metode Eaton (1975)

Berdasarkan grafik yang mana terdapat data DST, RFT, *mud weight* dan prediksi tekanan pori oleh metode Eaton (1975), terlihat bahwa kondisi tekanan pori sedikit mengalami peningkatan pada kedalaman 7333 ft yang ditandai dengan hasil RFT yang lebih besar dari pada tekanan hidrostatik. Oleh karena itu, titik kedalaman 7333 ft diprediksi menjadi titik *top overpressure* pada Sumur GA-1. Zona *overpressure* pada Sumur GA-1 teridentifikasi kecil dan dalam sehingga untuk kegiatan pengeboran aman dilakukan. *Overpressure* yang kecil pada sumur ini disebabkan oleh mekanisme *loading*, ini terlihat dari bentuk grafik serta tegasan efektif yang konstan.

Analisis *in-situ stress* dilakukan berdasarkan hasil LOT (*Leak of Test*). Dari grafik terlihat bahwa nilai LOT lebih besar dibanding *vertikal stress*, berdasarkan klasifikasi Anderson (1950), jika $SH_{max} > Sh_{min} > S_v$ maka diperkirakan terdapat indikasi sesar naik pada Sumur GA-1.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Pusdatin ESDM yang telah memberikan kesempatan kepada penulis serta mengizinkan penggunaan data pada penelitian ini.

6. KESIMPULAN

1. *Top Overpressure* pada Sumur GA-1 berada pada kedalaman 7333 ft. Zona *overpressure* pada Sumur GA-1 teridentifikasi sangat kecil dan disebabkan oleh mekanisme *loading*.
2. Tegasan bawah permukaan pada Sumur GA-1 diperkirakan berupa sesar naik, hal ini didasari pada hasil LOT yang lebih besar dari pada *vertikal stress*.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Addis, M. A. (2017). *The geology of geomechanics: Petroleum geomechanical engineering in field development planning*, Geological Society Special Publication, 458(1), pp. 7–29. doi: 10.1144/SP458.7.
- Bachtiar, A., Purnama, Y. S., Suandhi, P. A., Krisnuyunianto, A., Rozali, M., Nugroho, D. H., & Suleiman, A. (2013). *The Tertiary Paleogeography Of The Kutai Basin And Its Unexplored Hydrocarbon Plays*. Proceeding Indonesian Petroleum Association, 37th Anniversary Conference. Jakarta: Indonesian Petroleum Association.
- Ramadhan, A. M. (2022). *Analisis dan Prediksi Overpressure di Cekungan Sedimen*. Bandung: ITB Press.
- Ramadhan, A.M. and Goulty, N.R.(2010) *Overpressure-generating mechanisms in the Peciko Field, Lower Kutai Basin, Indonesia*, Petroleum Geoscience, 16(4), pp. 367–376. doi: 10.1144/1354-079309-027.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice* 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Zoback M. D. (2010). *Reservoir Geomechanics*. Cambridge University Press.