

## **ANALISIS TEKANAN PORI BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE EATON PADA SUMUR ELNUSA BERDASARKAN DATA WELL LOGGING**

<sup>1,\*</sup>Bonaria Datu, <sup>1,2</sup>Djayus <sup>1,3</sup>Adrianus Inu Natalisanto

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

<sup>2</sup>Laboratorium Geofisika Unmul, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

<sup>3</sup>Laboratorium Fisika Dasar, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

\*Corresponding Author : [bonariadt@gmail.com](mailto:bonariadt@gmail.com)

### **ABSTRACT**

Analysis of subsurface pore pressure is used to determine the potential problems that can occur in formation. The research purpose to determine subsurface pressure using the Eaton method and identify potential drilling problems, so prevention can be done to reduce accidents. Research on BD 325 wells is secondary data in the form of resistivity and density log data. Analysis of subsurface pressure is carried out using the Eaton method which results in normal pore pressure and pressure values. Based on the results of graph analysis, the pore pressure value shows the depth interval 3943.9 ft – 3949.1 ft pressure average 5.4 ppg, depth 4407.8 ft - 4417.6 ft pressure average 0.6 ppg, depth 4546.9 ft - 4554.8 ft pressure average 1.4 ppg, depth 4748.3 ft – 4753 ft pressure average 4.8 ppg and depth 5026.5 ft - 5033.7 ft pressure average 4.7 ppg where 5 zones experience subnormal pressure, so it can be concluded that the potential problems can occur lost circulation because the hydrostatic pressure of the mud is greater than the formation pressure which results in loss of drilling mud entering the formation.

**Keywords:** Pore Pressure, Normal Pressure, Eaton Method, Lost Circulation.

### **ABSTRAK**

Analisis tekanan pori bawah permukaan digunakan untuk mengetahui potensi masalah yang dapat terjadi pada formasi. Tujuan penelitian untuk mengetahui tekanan bawah permukaan menggunakan metode Eaton dan mengidentifikasi potensi masalah pemboran, sehingga dapat dilakukan pencegahan untuk mengurangi kecelakaan. Penelitian sumur BD 325 merupakan data sekunder berupa data log resistivitas dan densitas. Analisis tekanan bawah permukaan dilakukan dengan metode Eaton yang menghasilkan nilai tekanan dan tekanan pori normal. Berdasarkan hasil analisis grafik, nilai tekanan pori menunjukkan interval kedalaman 3943.9 ft - 3949.1 ft tekanan rata-rata 5.4 ppg, kedalaman 4407.8 ft - 4417.6 ft tekanan rata-rata 0.6 ppg, kedalaman 4546.9 ft - 4554.8 ft tekanan rata-rata 1.4 ppg, kedalaman 4748.3 ft - 4753 ft tekanan rata-rata 4,8 ppg dan kedalaman 5026,5 ft - 5033,7 ft tekanan rata-rata 4,7 ppg dimana 5 zona mengalami tekanan subnormal, sehingga dapat disimpulkan bahwa potensi masalah dapat terjadi kehilangan sirkulasi karena tekanan hidrostatis lumpur lebih besar dari pada tekanan formasi yang mengakibatkan hilangnya lumpur pemboran yang masuk ke dalam formasi.

**Kata kunci:** Tekanan Pori, Tekanan Normal, Metode Eaton, Lost Circulation.

## 1. PENDAHULUAN

Pemenuhan akan kebutuhan hidup manusia terus mengalami peningkatan. Seiring meningkatnya kebutuhan hidup tersebut kebutuhan energi juga terus bertambah, diantaranya pemenuhan energi listrik. Dimana minyak dan gas digunakan sebagai sumber bahan bakar energi listrik. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka terus dilakukan eksploitasi agar dapat mempertahankan sumber minyak dan gas selalu tersedia dan mencukupi.

Cadangan minyak dan gas yang terus menurun dari waktu ke waktu menjadi salah satu masalah, yang akan menyebabkan terjadi krisis energi. Maka dari itu solusinya adalah melakukan eksplorasi untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Berkaitan dengan eksplorasi banyak faktor yang perlu diperhatikan, salah satunya ialah persiapan teknis prediksi tekanan pori, yang digunakan untuk menganalisa keadaan tekanan dibawah permukaan guna menghindari kecelakaan pada saat pengeboran.

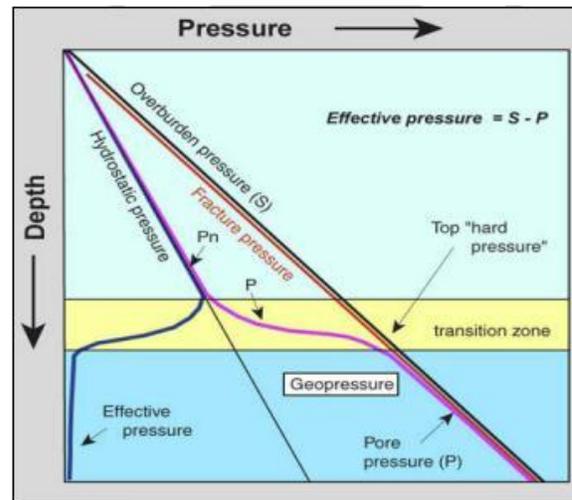
Pemboran merupakan salah satu tahapan yang kompleks karena sering terjadi permasalahan dan dapat menyebabkan kerugian di berbagai aspek. Analisis tekanan bawah permukaan dilakukan untuk mengetahui potensi masalah apa saja yang dapat terjadi ketika dilakukan pemboran, sehingga dapat dilakukan pencegahan untuk mengurangi terjadinya hal yang tidak diinginkan.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini identifikasi prediksi tekanan pori dilakukan dengan menggunakan metode Eaton untuk mengetahui kondisi dibawah permukaan.

## 2. TEORI

### 2.1 Konsep Tekanan

Menurut Dutta (2002) menjelaskan terdapat beberapa tekanan bawah permukaan yang sangat penting untuk diketahui sebelum melakukan kegiatan yang berkaitan dengan tekanan pori.



Gambar 1: Profil Tekanan Pori Terhadap Kedalaman pada Sedimen Klastik

Menurut Muhazzib (2017) jenis tekanan yang pertama adalah tekanan overburden yang ditunjukkan oleh garis berwarna hitam, lalu tekanan rekah (*fracture pressure*) yang ditunjukkan oleh garis berwarna merah. Selain itu, terdapat tekanan hidrostatik yang menjadi faktor penentu dari tekanan pori. Jika tekanan pori melebihi tekanan hidrostatik dan semakin mendekati tekanan rekah dan overburden maka tekanan tersebut merupakan tekanan overpressure seperti yang ditunjukkan oleh gambar di atas. Sebaliknya, jika tekanan tersebut kurang dari tekanan hidrostatik maka disebut dengan tekanan subnormal.

### 2.2 Tekanan hidrostatik

Menurut Oktory (2018) Tekanan hidrostatik ( $P_h$ ) adalah tekanan yang diakibatkan oleh berat dari kolom fluida atau dikenal dengan tekanan normal pada suatu

formasi. Tekanan hidrostatik dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Ph = 0.052 \times MW \times D \quad (1)$$

Keterangan:

MW: Densitas fluida yang mempengaruhi tekanan hidrostatik dalam satuan ppg (*pounds per gallon*)

D: Kedalaman dimana tekanan hidrostatik dalam satuan ft

Ph: Tekanan hidrostatik dalam satuan psi (*pouns per square inch*)

0.052: Faktor konversi dari psi ke ppg

### 2.3 Tekanan Overburden

Menurut Terzaghi (1943), tekanan overburden juga merupakan penjumlahan tekanan yang diakibatkan oleh matriks-matriks batuan dan fluida yang ada di dalamnya pada suatu kedalaman tertentu. Dengan kata lain, semakin dalam penimbunan suatu sedimen maka akan semakin besar tekanan overburden ataupun sebaliknya.

Menurut Oktory (2018) secara matematis tekanan overburden dapat ditulis dengan persamaan berikut :

$$Pob = 0.052 \times \rho_b \times D \quad (2)$$

Keterangan:

Pob: *Stress Vertical*/Tekanan Overburden dalam satuan psi

$\rho_b$ : Densitas Bulk dalam satuan ppg

D: Kedalaman dalam satuan ft

0.052: Faktor Konversi dari ppg ke psi/ft.

Tekanan pori dibagi menjadi 2, yaitu tekanan abnormal (subnormal dan overpressure) dan tekanan normal. Berikut penjelasan masing-masing tekanan.

#### 1. Tekanan Abnormal

Menurut Yanto (2011) Tekanan formasi abnormal didefinisikan sebagai tekanan

pori yang menyimpang dari gradien tekanan normal. Menurut Oktory (2018) tekanan formasi subnormal adalah tekanan formasi yang berada di bawah gradien tekanan hidrostatik normal (di bawah gradien tekanan 0.433 psi/ft) dan tekanan *overpressure* adalah tekanan formasi yang berada di atas gradien tekanan hidrostatik normal (di atas gradien tekanan 0.465 psi/ft). Tekanan abnormal berkaitan dengan sekat (*seal*) dan terbentuk dalam suatu periode sedimentasi. Pada proses kompaksi normal, mengecilnya volume pori akibat dari penambahan berat beban di atasnya dapat mengakibatkan fluida yang ada di dalam pori terdorong keluar dan mengalir ke segala arah menuju formasi di sekitarnya. Kompaksi normal umumnya menghasilkan suatu gradien tekanan formasi yang normal, sedangkan kompaksi abnormal akan terjadi jika penambahan berat beban di atasnya tidak menyebabkan berkurangnya ruang pori. Ruang pori tidak mengecil karena fluida di dalamnya tidak bisa terdorong keluar.

#### 2. Tekanan Normal

Menurut Oktory (2018) tekanan pori normal adalah suatu tekanan formasi sebagai akibat dari tekanan hidrostatik fluida formasi. Gradien tekanan berhubungan dengan lingkungan pengendapan geologi. Karena pada umumnya sedimen diendapkan pada lingkungan air garam, maka banyak tempat di dunia mempunyai gradien tekanan antara 0.433 psi/ft sampai 0,465 psi/ft disebut sebagai tekanan normal.

#### 2.4 Metode Eaton

*Eaton* (1975) menjelaskan bahwa mayoritas tekanan bawah permukaan berasal dari pengaruh overburden atau disebut *primary overpressure*. *Eaton* (1975) mengandalkan data *transit time* untuk

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

Menurut Astuti, Wardana, & Sinaga (2019) persamaan Eaton sebagai berikut:

$$P_p = P_{ob} - (P_{ob} - P_h) \left( \frac{R}{R_n} \right)^X \quad (3)$$

Keterangan:

- P<sub>p</sub>: Pore pressure (ppg/ft)  
P<sub>ob</sub>: Tekanan overburden (ppg/ft)  
P<sub>h</sub>: Tekanan pori normal (ppg/ft)  
R: Resistivitas formasi (*Ohm* -ft)  
R<sub>n</sub>: Resistivitas formasi normal (*Ohm*-ft)  
X: Exponent eaton

Besarnya nilai x menurut berbagai sumber memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan kondisi lapangan tersebut seperti ditunjukkan dibawah ini :

1.  $x = 0,5 - 1,5$  (Azadpour et al., 2015); prediksi tekanan pori dan pemodelan menggunakan data log sumur di salah satu lapangan gas di selatan Iran.
2.  $x = 1-1,5$  (Yully P. Solano et al., 2007); pendekatan yang dimodifikasi untuk memprediksi tekanan pori).

## 2.5 Problem Pemboran

### 1. Lost Circulation

*Lost Circulation* adalah peristiwa hilangnya lumpur pemboran masuk ke dalam formasi. *Lost Circulation* ditandai dengan tidak kembalinya lumpur yang digunakan dalam operasi pemboran ke permukaan pada saat operasi pemboran berlangsung. Tidak kembalinya lumpur bor ke permukaan dikarenakan tekanan hidrostatik lumpur melebihi tekanan formasi.

### 2. Well kick

*Well kick* adalah masuknya fluida formasi (air, minyak atau gas) yang tidak diinginkan ke dalam lubang sumur karena tekanan pada formasi lebih besar dari tekanan hidrostatik lumpur. Apabila tidak terkontrol dengan cepat dapat menyebabkan semburan liar atau *blow out*.

## 3. METODOLOGI

Penelitian “Analisis Tekanan Pori Bawah Permukaan Menggunakan Metode Eaton Pada Sumur Elnusa Berdasarkan Data *Well Logging*” dilaksanakan kurang lebih 6 bulan dimulai pada bulan Juli di PT. Elnusa, Tbk Balikpapan dan dilanjutkan di Laboratorium Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur menggunakan data sekunder.

Data sekunder tersebut diolah menggunakan *Software excel*. Tahap pengolahan data pertama menghitung tekanan formasi normal menggunakan persamaan (1), menentukan *normal compaction trend line* dari data log resistivitas, menghitung tekanan overburden dari *Resistivity* data LWD menggunakan persamaan (2), menghitung *pore pressure prediction* dengan menggunakan persamaan (3), menganalisis dan menentukan potensi masalah pada sumur BD 253 sesuai dengan *pore pressure prediction* yang telah diolah.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Perhitungan Tekanan Formasi dengan Metode Eaton

Perkiraan tekanan dengan metode Eaton membutuhkan data berupa log resistivitas dan densitas batuan. Dilakukan perhitungan tekanan formasi, contoh perhitungan kedalaman 3385.5 ft TVD.

1. Menghitung tekanan formasi normal dengan persamaan (1) :
- 2.

$$P_n = 0.052 \times MW \times TVD$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.052 \times 9.35 \text{ ppg} \times 3385.5 \text{ ft} \\
 &= 1645.40 \text{ psi} \\
 \text{Konversi dalam ppg} \\
 &= \frac{1645.40}{0.052 \times 3385.5} \\
 &= 9.35 \text{ ppg}
 \end{aligned}$$

3. Nilai *normal compaction trend* dt (ohm/ft) didapatkan dengan menggunakan grafik plot antara resistivitas (ohm/ft) dengan kedalaman (TVD). Berdasarkan grafik kedalaman vs resistivitas, didapatkan nilai resistivitas pada kedalaman 3385.5 ft sebesar 2.2964 ohm/ft dengan NCT 1.76 ohm/ft.

4. Menghitung tekanan overburden dengan persamaan (2) :

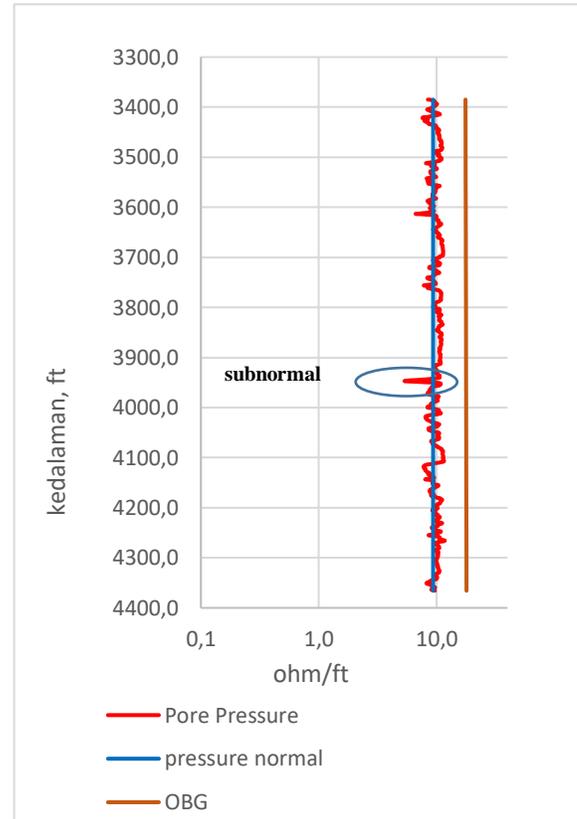
$$\begin{aligned}
 P_{ob} &= 0.052 \times p_b \times TVD \\
 &= 0.052 \times 17.56 \times 3385.5 \text{ ft} \\
 &= 3091.83 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

5. Menghitung tekanan formasi pada kedalaman 3384.9 ft dengan metode Eaton persamaan (3). Besarnya koefisien Eaton yang digunakan yakni 0.5

$$\begin{aligned}
 P_p &= P_{ob} - (P_{ob} - P_n) \times \left(\frac{R}{R_n}\right)^{0.5} \\
 &= (2.11 \times 8.345 - ((2.11 \times 8.345) - 9.35) \times \left(\frac{2.2964}{1.76}\right)^{0.5} \\
 &= 8.2 \text{ ppg}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tekanan formasi menggunakan metode Eaton grafik nilai resistivitas terdapat tekanan subnormal pada kedalaman 3943.9 ft – 3949.1 ft, tekanan formasi mengalami penurunan yang disebabkan oleh pemboran yang menembus zona tekanan abnormal. Hal ini dibuktikan pada **gambar 2** dari grafik dimana garis *pore pressure* menyimpang kearah kiri dan nilai *pore pressure* juga

semakin kecil terhadap bertambahnya kedalaman dengan rerata tekanan 5.4 ppg.

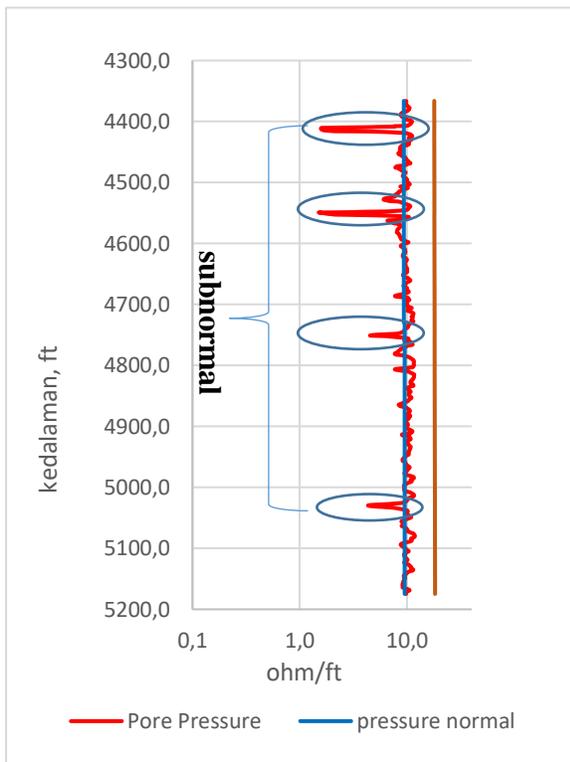


Gambar 2: Grafik *pore pressure* terhadap tekanan normal terhadap tekanan overburden pada kedalaman 3385.5 ft - 4365.8 ft.

Berdasarkan hasil perhitungan tekanan formasi menggunakan metode Eaton grafik nilai resistivitas terdapat tekanan subnormal pada kedalaman 4407.8 ft - 4417.6 ft tekanan formasi kembali mengalami penurunan dan menembus zona tekanan subnormal. Pada nilai resistivitas menyimpang kearah kanan dan menjauhi *trendline* normal dan pada **gambar 3**

diketahui dari grafik dimana garis tekanan pori menjauhi garis tekanan normal dan mengalami defleksi kearah kiri dengan rerata tekanan 0.6 ppg

Pada kedalaman 4546.9 ft - 4554.8 ft , kedalaman 4748.3 ft – 4753 ft dan kedalaman 5026.5 ft - 5033.7 ft zona tekanan subnormal. Pada **gambar 3** menunjukkan grafik tekanan pori menjauhi garis tekanan normal dengan rerata tekanan secara berurutan ialah 1.4 ppg, 4.8 ppg dan 4.7 ppg.



Gambar 3: Grafik *pore pressure* terhadap tekanan normal terhadap tekanan overburden pada kedalaman 4366.1 ft – 5026.2 ft.

Tekanan subnormal adalah tekanan yang berada dibawah tekanan normal, dimana pada hasil penelitian terdapat 5 zona tekanan subnormal yang memiliki nilai tekanan  $\leq 7$  ppg yaitu 5.4 ppg, 0.6 ppg, 1.4 ppg, 4.8 ppg dan 4.7 ppg . Hal ini disebabkan oleh hidrostatik lumpur lebih besar dibanding tekanan formasi yang mengakibatkan

hilangnya lumpur pemboran yang masuk kedalam formasi. Maka diperkirakan potensi permasalahan yang dapat terjadi adalah *lost circulation*.

## 5. KESIMPULAN

1. Prediksi tekanan bawah permukaan menggunakan metode Eaton terdapat tekanan normal dan tekanan subnormal. Tekanan normal pada penelitian ini adalah 7 ppg – 11.5 ppg sedangkan tekanan subnormal memiliki nilai dibawah tekanan normal yaitu  $\leq 7$  ppg.
2. Potensi permasalahan pemboran dari hasil perhitungan pori dari metode Eaton yang timbul akibat tekanan subnormal adalah *lost circulation*, terjadi karena tekanan hidrostatik bertambah oleh karena pengaruh fluida dari injeksi lumpur pemboran menyebabkan lumpur masuk kedalam formasi.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Eaton, B.A., 1975. *The Equation For Geopressure Prediction From Well Logs*.  
SPE Journal, v. 20, no.2, p. 554.
- Dutta, Nader, Mukerji, T., Prasad, M., dan Dvorkin, J., 2002. " *Seismic Estimation and Detection of Overpressure Part II: Field Application*". CSEG Recorder.
- Harsono, A. 1997. " *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log*", Edisi Revisi-8 Mei 1997. Jakarta: Schlumberger Oilfield Service.
- Muhazzib. 2017. " *Prediksi Tekanan Pori Menggunakan Metode Kompresibilitas Di Reservoir Karbonat, Studi Kasus : Lapangan Mz*, Jurnal Teknik ITS., v.6, no.2, B.120.
- Oktory, Abdi M. 2018. " *Prediksi Tekanan Formasi Dan Penentuan Densitas Lumpur Untuk Menganalisa Potensi Problem Pemboran Pada Sumur "Mao – 55" Lapangan "Y" (Skripsi tidak*

diterbitkan). Yogyakarta: UPN Veteran.

Yanto, Hendri. 2011. " *Prediksi Tekanan Pori dengan Menggunakan Data Kecepatan Seismik: Studi Kasus, Lapangan X Laut Dalam Selat Makassar*", *Program Studi Geofisika Reservoar FMIPA* (Thesis). Jakarta : UI.

Weny Astuti, Raka S. Wardana, & Jan F. Sinaga., 2019. *Analisa Prediksi Tekanan Pori Formasi Menggunakan Persamaan Eaton*. *Jurnal Petro*. Vol VII No. 3, p.128.

