

ANALISIS PORE PRESSURE PADA SUMUR IHW-01 CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA

Ilham Hariz Wardhana^{1*}, Ildrem Syafri¹, Reza Mohammad Ganjar Gani¹, Yusi Firmansyah¹, Don Basuki²

¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung

²Pertamina UTC, Jakarta

*Korespondensi: ilham14008@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Fenomena waktu tidak produktif saat kegiatan pengeboran 40% terjadi akibat dari permasalahan mengenai tekanan di bawah permukaan. Untuk mengurangi biaya produksi yang dikeluarkan maupun waktu yang lebih efisien dibutuhkan prediksi mengenai tekanan bawah permukaan pada suatu sumur. Terkait dengan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui metode yang tepat untuk digunakan pada sumur IHW-01 yang bermasalah di daerah Tuban, Cekungan Jawa Timur Utara serta mengetahui mekanisme dari pore pressure pada sumur tersebut.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sumur yang meliputi lumpur pengeboran, suhu, kronologi pemboran, dan data wireline logging. Metode penelitian yang digunakan dalam prediksi pore pressure adalah mengamati reaksi wireline logs, metode Eaton untuk prediksi pore pressure dan metode Fluid Retention Depth untuk mengetahui prediksi pore pressure pada suhu tinggi. Hukum Terzaghi juga digunakan untuk mengetahui stres efektif batuan dan mengetahui mekanisme adanya overpressure pada sumur IHW-01.

Hasil penelitian menyimpulkan bahwa pore pressure yang dianalisis pada sumur IHW-01 diketahui sebagai zona overpressure mulai dari kedalaman 800 m- 1200 m pada Formasi Ngrayong. Analisis prediksi pore pressure yang digunakan adalah metode Eaton sebagai metode yang umum dipakai dalam memprediksi pore pressure. Tetapi setelah diketahui suhu dari sumur ABP-01 meningkat menjadi 112° C, metode yang digunakan adalah metode Fluid Retention Depth karena metode Eaton hanya berfungsi dengan baik pada keadaan normal. Kesalahan pemilihan metode seringkali mengakibatkan beberapa prediksi yang salah. Pore pressure yang ada pada sumur IHW-01 tergolong menjadi overpressure karena beberapa mekanisme seperti loading dan unloading. Loading terjadi karena cekungan Jawa Timur Utara merupakan cekungan muda berumur Tersier dan terjadi pada batulempung. Unloading terjadi karena suhu yang tinggi (113° C) mengakibatkan adanya diagenesis mineral lempung yang mengakibatkan adanya penambahan air pada batuan serta kemungkinan perubahan wujud hidrokarbon pada formasi dari padat menjadi fluida.

Kata kunci: pore pressure, fluid retention depth, Eaton, Cekungan Jawa Timur Utara

ABSTRACT

Unproductive time when drilling occurs 40% due to pressure problems. To reduce the production costs incurred as well as more efficient time required prediction of pressure on a well. The aim of this research is to know the right method to be used on one of the IHW-01 wells in Tuban area, North East Java Basin and to know the mechanism of pore pressure on the well.

The data used in this research is well data which includes drilling mud, temperature, drilling chronology, and wireline logging. The research method used in pore pressure prediction is to observe the reaction of wireline logs, Eaton method for pore pressure prediction and Fluid Retention Depth method to know pore pressure prediction at high temperature. Terzaghi's law is also used to determine the effective stress of rocks and to know the mechanism of overpressure at IHW-01 wells.

The results concluded that pore pressures analyzed at IHW-01 wells are known as overpressure zones ranging from 800 m to 1200 m depth in Ngrayong Formation. Pore pressure prediction analysis used is

Eaton method as a general method in predicting pore pressure. But after the temperature of the well ABP-01 increased to 112° C, the method used is Fluid Retention Depth method because Eaton method only works well in normal condition. Method selection errors often result in some false predictions. Pore pressure on IHW-01 well is classified as overpressure due to several mechanisms such as loading and unloading. Loading occurs because the North East Java basin is a young sedimentary basin and occurs in claystone lithology. Unloading occurs because high temperatures (113°C) result in clay mineral diagenesis which results in the addition of water to rocks and the possibility of changes in the form of hydrocarbons formation from solid to fluid.

Keywords: pore pressure, fluid retention depth, Eaton, North East Java Basin

1. PENDAHULUAN

Cekungan Jawa Timur Utara merupakan salah satu cekungan yang memproduksi hidrokarbon tertua di Indonesia dan menjadi pemegang kunci keberhasilan dalam peningkatan produksi hidrokarbon di Indonesia. Dalam kegiatan eksplorasi, 40% waktu yang terbuang karena permasalahan terjadi karena adanya masalah dari tekanan bawah permukaan.

Lapangan IHW pada Cekungan Jawa Timur Utara memiliki beberapa kali terjadi well bore problems sehingga eksplorasi tidak dilanjutkan. Kemungkinan hal ini terjadi dikarenakan tidak menggunakan metode prediksi pore pressure yang tepat. Prediksi pore pressure yang keliru dapat menyebabkan kerugian besar.

Lapangan IHW yang berada di Cekungan Jawa Timur Utara merupakan lapangan yang akan menjadi evaluasi prospek migas dengan korelasi eksplorasi di sekitarnya, studi prediksi pore pressure diharapkan dapat membantu eksplorasi di lapangan tersebut sehingga dapat mendapatkan produksi yang maksimal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik adalah pore pressure yang disebabkan oleh berat dari kolom air dalam kondisi statis sehingga mencapai datum permukaan (muka air laut). Tekanan ini adalah fungsi dari tinggi kolom air dan densitas air itu sendiri. Tekanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

Dengan ρ adalah berat jenis (fresh water untuk menghitung tekanan hidrostatik), g adalah gravitasi, dan h kedalaman.

2.2 Tekanan Litostatik/Overburden Stress

Tekanan litostatik adalah tekanan vertikal yang disebabkan oleh berat sedimen di atasnya (overburden). Tekanan ini adalah fungsi dari tinggi material sedimen dan densitas material. Tekanan litostatik dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \rho_b \cdot g \cdot z$$

Dengan ρ adalah berat jenis (densitas bulk untuk menghitung overburden), g adalah gravitasi, dan z kedalaman.

2.3 Tegasan efektif vertikal

Tegasan efektif vertikal adalah tegasan antar butir batuan yang disebabkan oleh kompaksi setelah penambahan tekanan litostatik pada batuan (Terzaghi, 1925). Nilai tegasan efektif adalah selisih dari tekanan litostatik dengan pore pressure. Persamaan hubungan tegasan efektif, tekanan litostatik, dan pore pressure:

$$\sigma' = \sigma - P$$

2.4 Pore Pressure

Pore pressure adalah salah satu parameter penting ketika mempelajari mekanika batuan dengan sistem pori yang berisi fluida. Fluida pori akan membawa sebagian dari total tegasan yang diaplikasikan terhadap sistem. Menurut Zoback (2007) pore pressure adalah suatu besaran skalar yang dihasilkan dari potensial

hidrolik suatu fluida pada pori batuan di suatu kedalaman. Besar dari pore pressure dalam kondisi normal di bawah permukaan merupakan tekanan hidrostatik normal yang meningkat berbanding lurus dengan bertambahnya kedalaman dengan laju 0,433 psi/ft untuk fluida berupa air dengan densitas 1 gr/cm³.

Pore pressure di kedalaman dapat melebihi kondisi hidrostatik pada kondisi pori yang tertekan. Kondisi tersebut disebut dengan overpressure. Ketika nilai pore pressure lebih kecil daripada hidrostatik kondisi tersebut dinamakan underpressure.

2.5 Mekanisme Overpressure

a. Loading

Mekanisme loading adalah overpressure yang disebabkan oleh peningkatan tekanan litostatik karena sedimentasi yang cepat akibatnya fluida dari pori-pori batuan tidak mampu keluar ke permukaan sehingga sedimen mengalami kompaksi yang gagal. Dampaknya pore pressure akan naik melebihi tekanan hidrostatik untuk mengimbangi laju kenaikan tekanan litostatik.

Secara geometri, proses kompaksi bekerja melalui tiga arah gaya. Ketika batuan diberi gaya secara lateral (kompresi), stres efektif akan naik seiring proses kompaksi. Akan tetapi, jika fluida dalam batuan tidak mampu keluar, maka batuan mengalami gagal kompaksi dan konsekuensinya pore pressure akan naik sebagai efek kenaikan stres vertikal.

b. Unloading

Mekanisme unloading adalah overpressure yang disebabkan oleh peningkatan volume fluida pada batuan dengan tingkat permeabilitas rendah. Hal ini disebabkan berubahnya material sedimen menjadi fluida. Akibatnya fluida tidak mampu keluar dan pore pressure akan meningkat. Dampaknya stres efektif batuan akan berkurang.

3. METODE

Data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data primer berupa log terdiri dari Gamma Ray, Density Log, dan Sonic Log.

Untuk mendapatkan nilai pore pressure, terlebih dahulu dilakukan perhitungan *volume shale* dari data log *gamma-ray* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I_{GR} = \frac{(GR - GR_{min})}{(GR_{max} - GR_{min})} \dots\dots\dots (1)$$

Dalam hal ini, GR adalah nilai gamma ray yang diukur, GR_{max} nilai gamma ray maksimum dan GR_{min} nilai gamma ray minimum. Perhitungan *volume shale* ini untuk menentukan *normal compaction trend* dari data log sonik untuk dilanjutkan pada perhitungan *pore pressure*.

Kemudian menghitung nilai tekanan hidrostatik dan tekanan lithostatik dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \rho gh \dots\dots\dots (2)$$

Dengan ρ adalah berat jenis (fresh water untuk menghitung tekanan hidrostatik dan densitas bulk untuk menghitung lithostatik), g adalah gravitasi, dan h kedalaman. Dilanjutkan dengan menghitung tekanan pori dengan menggunakan Metode Eaton seperti persamaan:

$$PP = \sigma_{ob} - \left[(\sigma_{ob} - \sigma_{hyd}) * \left(\frac{dt NCT}{dt Observe} \right)^x \right] \dots\dots (3)$$

Dimana σ_{ob} adalah tekanan overburden, σ_{hyd} tekanan hidrostatik, $dt NCT$ adalah nilai sonik pada tren kompaksi normal, $dt observe$ adalah nilai sonik terukur, dan x merupakan konstanta eaton. Setelah perhitungan dengan metode Eaton (1972), menerapkan Prinsip Terzaghi (1925). Prinsip ini bekerja untuk menentukan estimasi dengan melihat hubungan antara porositas batuan-tekanan dan overburden-tekanan efektif pada persamaan:

$$\sigma_{ob} = PP + \sigma' \dots\dots\dots (4)$$

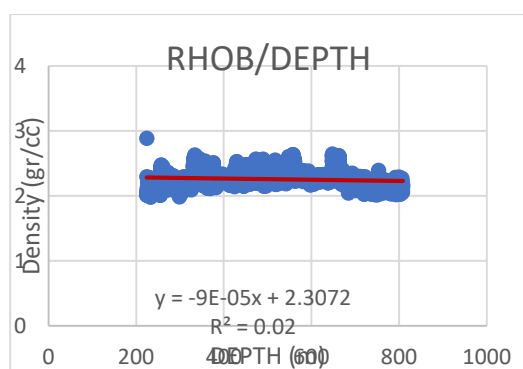
σ_{ob} adalah tekanan overburden, PP merupakan *pore pressure*, dan σ' adalah stres efektif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Wireline Logging

a. Density log

Density log berguna untuk mengetahui nilai densitas setiap lapisan sehingga nantinya didapatkan nilai stres vertikal. Hasil analisis density log bernilai pada interval 2- 2.8 gr/cc. Data yang didapat dimulai dari kedalaman 223.8756 m – 808.3296 m. Oleh karena itu, untuk mengetahui nilai densitas setiap lapisannya dari permukaan dibuatlah grafik antara nilai densitas dengan kedalaman dalam meter. Dari data density log yang didapatkan pada sumur bor, dapat diketahui besarnya stres vertikal di suatu kedalaman tertentu. Pada umumnya data density log tidak sepenuhnya ada untuk setiap kedalaman, sehingga dibutuhkan ekstrapolasi data densitas berdasarkan kurva eksponensial untuk mendapatkan nilai tegasan vertikal yang akurat.



Gambar 1. Densitas Batuan

b. Gamma Ray log

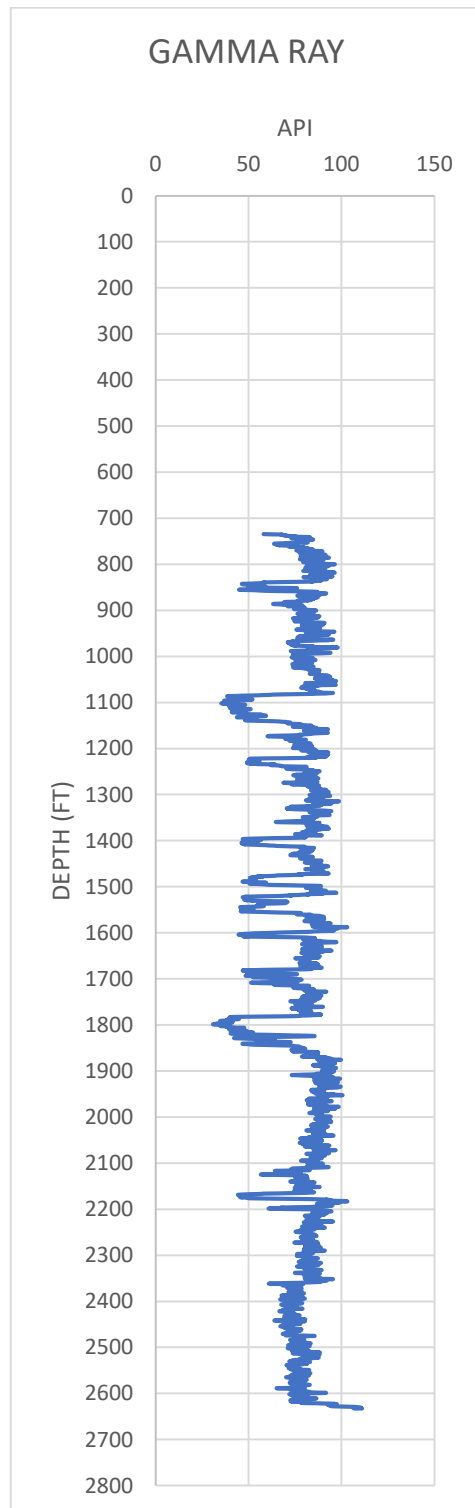
Pengukuran wireline logs sumur IHW-01 dilakukan pada kedalaman 734.5 ft - 2633 ft (Gambar 4.2). Salah satu fungsi gamma ray log adalah memisahkan material lempung dan pasir dengan metode shale base line atau penentuan nilai Vshale. Hasil analisis Vshale menunjukkan material yang permeabilitasnya rendah (batulempung/serpih) dan material yang permeabilitasnya baik (batupasir, batugamping).

Untuk dapat mengetahui kandungan lempung pada batuan pada penelitian ini digunakan data log berupa data log gamma ray. Metode ini menggunakan asumsi bahwa mineral lempung merupakan mineral yang memiliki radioaktivitas tinggi sehingga pembacaan pada log sinar gamma akan tinggi (Russel, 1994).

Kandungan lempung dalam batuan dihitung berdasarkan perbandingan volume lempung pada suatu interval batuan sesuai. Perhitungan volume lempung penting dilakukan untuk dapat membuat tren kompaksi normal. Tren kompaksi normal dilakukan hanya pada litologi batulempung, dikarenakan hanya pada batulempung dapat diprediksi. Pertama dilakukan pembagian satu sumur menjadi beberapa interval berdasarkan tren dari nilai sinar gamma kemudian ditentukan nilai batas (cut off) untuk dapat membedakan litologi batulempung. Penentuan cut off pada penelitian ini menggunakan plot silang dengan volume lempung.

Tabel 1. Pembagian zona dalam menghitung Vshale

	Zone 1	Zone 2	Zone 3
GRmax	97.97	103.7	110.9
GRmin	44.92	31.02	45.55
Depth (ft)	1159	1823	2633
Vshale cutoff	0.57	0.7	0.55

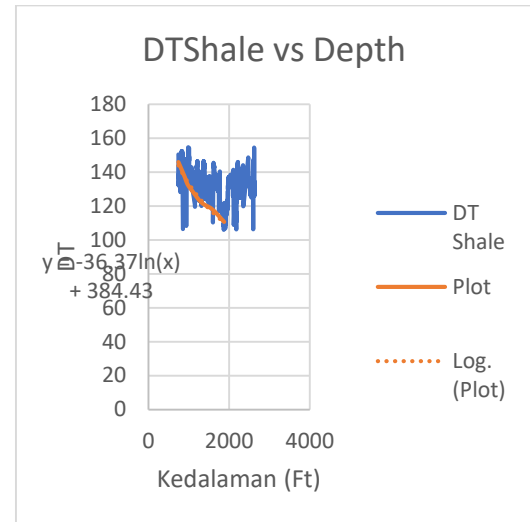


Gambar 2. Nilai Gamma Ray

c. Sonic Log

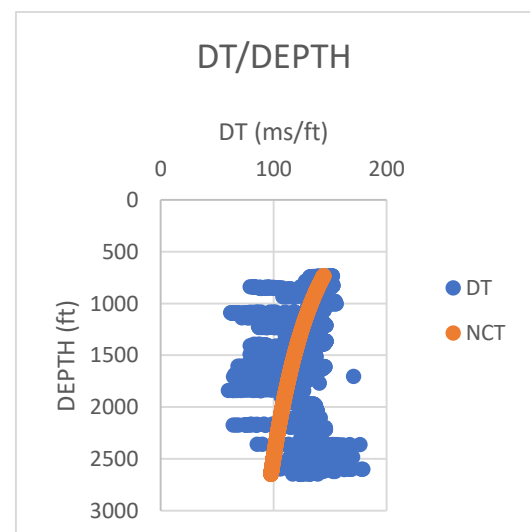
Setelah mendapatkan interpretasi litologi melalui Gamma Ray Log, diketahui litologi setiap lapisannya. Untuk mengetahui tren

kompaksi normal (NCT) digunakan hanya litologi batulempung saja sehingga dibuatlah grafik antara nilai Sonic Log yang berlitologi batulempung terhadap kedalaman.



Hasil analisis sonic log nilainya bervariasi pada interval 97-144 $\mu\text{sec}/\text{ft}$. Berdasarkan plot sonic log terhadap kedalaman, terlihat bahwa distribusi nilai sonic semakin menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini menunjukkan pola kompaksi normal. Berdasarkan hasil perhitungan regresi eksponensial pola kompaksi normal, didapatkan persamaan sebagai berikut:

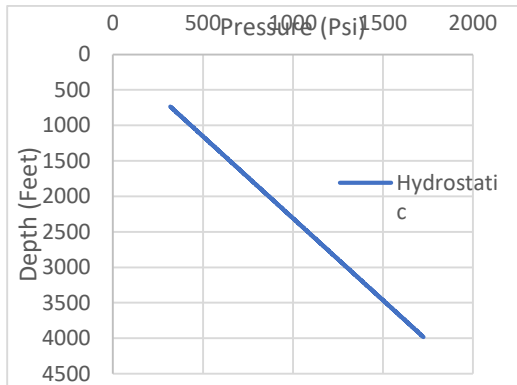
$$\text{DT Shale} = -36.37 \ln(\text{Kedalaman}) + 384.43$$



Gambar 3. Nilai Sonik

4.2 Perhitungan Tekanan Hidrostatik

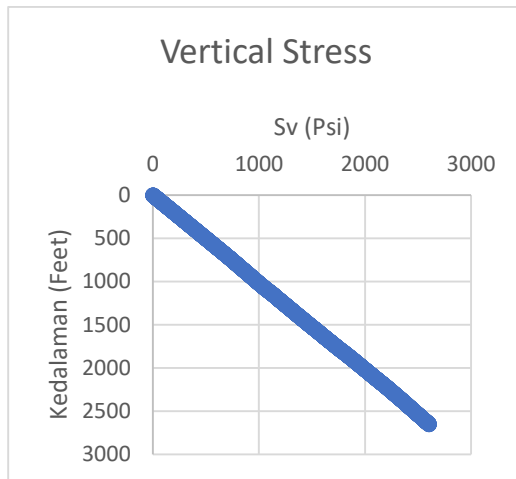
Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang disebabkan oleh berat dari kolom fluida dalam kondisi statis sehingga mencapai datum permukaan (muka air laut). Tekanan ini adalah fungsi dari tinggi kolom fluida dan densitas fluida itu sendiri.



Gambar 4. Nilai Tekanan Hidrostatik

4.3 Perhitungan Tegasan Vertikal (Sv)

Sesuai dengan prinsip bahwa bumi yang merupakan permukaan yang bebas, salah satu tegasan utama berarah vertikal.

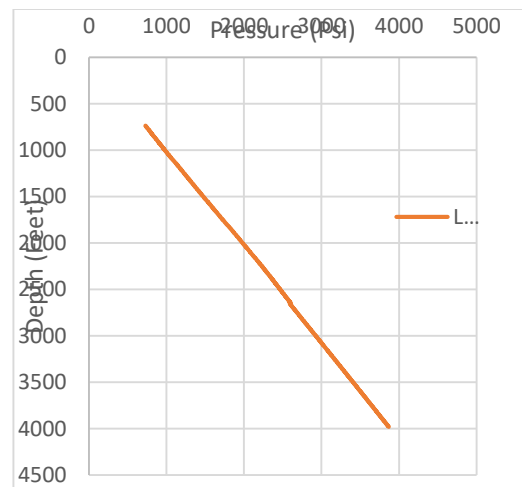


Gambar 5. Nilai Vertical Stress

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa nilai gradien tegasan vertikal berkisar antara 0.999290369- 0.982788026 psi/feet. Sumur yang mencapai Zona Utama memiliki gradien tegasan vertikal rata-rata 1 psi/feet dan memiliki hubungan yang linear terhadap kedalaman. Hal tersebut sesuai dengan asumsi umum gradien tegasan vertikal untuk batuan dengan densitas 2.3

g/cm³. Sumur IHW-01 memiliki gradien tegasan vertikal yang lebih kecil karena kedalamannya hanya mencapai 2800 feet.

Untuk pengaplikasiannya sebagai tekanan litostatik, sesuai dengan data pendukung lainnya data yang diambil hanya dari kedalaman 734.5 feet – 3982 feet. Range nilai stres vertikal ialah 730 psi - 3865 psi. Sehingga memiliki gradien rata-rata tekanan lithostatik sebesar 0,994 psi/ft



Gambar 6. Grafik Tekanan Lithostatik

4.4 Estimasi Pore pressure (Pp)

Pore pressure (Pp) pada kondisi normal meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman dengan laju 0.433 psi/feet untuk fluida dengan densitas 1 g/cm³. Kondisi tersebut disebut sebagai tekanan hidrostatik dan dipengaruhi oleh keadaan konektivitas pori dan rekahan pada batuan.

Hasil pengeplotan data uji tekan sumur pada sumur penelitian menunjukkan bahwa pore pressure mulai melebihi tekanan hidrostatik secara signifikan pada kedalaman sekitar 3371 feet untuk sumur IHW-01. Hal ini memperlihatkan terjadinya abnormal pressure atau sering disebut juga dengan overpressure.

Hal ini didukung juga dari laporan pengeboran bahwa terjadinya kick pada kedalaman 1200 m. Terlihat dari pore pressure yang didapatkan menyentuh Mud

Weight sehingga dapat disimpulkan bahwa adanya abnormal pressure pada sumur IHW-01.

Sumur IHW-01 merupakan sumur dengan suhu yang tinggi, suhu nya mencapai 235°F atau sekitar 113.20°C pada kedalaman 1737 m. Akibatnya, dehydration reactions berasosisasi dengan diagenesis mineral contohnya smektit menjadi illit yang dapat menyebabkan naiknya volume dari batuan dan fluida pori serta membentuk overpressure. Generasi hidrokarbon dari maturasi kerogen secara kinetik dikontrol oleh waktu dan temperatur, menyebabkan naiknya volume fluida pori dan membentuk overpressure

4.5 Metode Fluid Retention Depth

Metode prediksi pore pressure Eaton tidak bisa digunakan pada suhu tinggi dan menghasilkan prediksi yang keliru. Untuk lingkungan sedimentasi yang rapat dengan suhu yang tinggi, metode fluid retention depth lebih cocok digunakan dalam melakukan prediksi pore pressure.

Karena prediksi pore pressure bergantung pada sifat batuan yang diprediksi, suhu membawa perubahan pada hubungan kontak grain to grain berhadapan dengan asumsi asli, contohnya atribut porositas dapat dikaitkan dengan pore pressure lewat Terzaghi effective stress law. Hal ini dikarenakan pada suhu yang tinggi batuan cenderung memiliki sifat adanya endapan semen yang menghasilkan batuan menjadi lebih kaku dan mengakibatkan adanya kemungkinan batuan memiliki ruang pori untuk diisi. Pada suhu yang tinggi juga batuan cenderung melarutkan antar butiran batuan yang mengakibatkan ruang pori berkurang. Batuan lebih memiliki sifat ductile sehingga lebih elastis dan mudah rekah. Pada suhu tinggi juga terjadinya transformasi mineral lempung, Smektit menjadi Illite, atau Smektit menjadi Kaolinit.

Suhu tinggi mengubah sifat fluida, khususnya mengurangi densitas air dan / atau hidrokarbon serta mengubah keadaan hidrokarbon dari cair menjadi gas. air pori

memiliki kecenderungan terhadap pengurangan densitas dan ekspansi fluida (kompresibilitas air memiliki efek peningkatan air kepadatan tetapi efeknya jarang melebihi efek suhu pengurangan kepadatan). Barker (1972) menggambarkan ekspansi cairan dari air yang terkubur dan menyarankan bahwa akan ada penurunan yang signifikan dalam stres efektif vertikal sebagai overpressure diciptakan dalam sedimen. Bahkan, penelitian selanjutnya (misalnya, Luo dan Vasseur, 1992; Swarbrick et al., 2002) telah menunjukkan bahwa efeknya kecil (<500 psi bahkan dengan batuan ultralow-permeabilitas). Dalam hal perubahan volume, efek yang paling signifikan ditemukan dalam pembentukan metana dan molekul hidrokarbon ringan lainnya selama pematangan kerogen (misalnya, Meissner, 1976; Ungerer et al., 1983) dan selama in-situ oil to gas cracking (Barker, 1990).

Perhitungan metode Fluid Retention Depth menggunakan hubungan antara laju sedimentasi. Laju sedimentasi didapatkan dengan perbandingan kedalaman dengan umur formasi tersebut. Kejadian overpressure diketahui pada formasi Lower Ngrayong dengan kedalaman 1000 m. Lower Ngrayong berumur Mid-Miocene atau 12.4224 Ma. Sehingga didapatkan laju sedimentasi sebagai berikut:

$$\text{Sedimentation Rate} = \frac{\text{Kedalaman}}{\text{Umur}}$$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian hasil penelitian pada bab-bab sebelumnya, ditarik beberapa hal untuk menjawab tujuan penelitian, kesimpulannya sebagai berikut:

1. Analisis pore pressure pada Lapangan IHW, Cekungan Jawa Timur Utara berada pada Formasi Ngrayong menggunakan data wireline logging berupa data gamma ray, sonic, dan log densitas. Pore pressure yang dianalisis dengan wireline logging diketahui sebagai zona overpressure mulai dari kedalaman 800 m.

2. Analisis prediksi pore pressure yang digunakan adalah metode Eaton sebagai metode secara umum prediksi pore pressure. Tetapi setelah diketahui suhu dari sumur IHW-01 meningkat menjadi 112 C metode yang digunakan adalah metode Fluid Retention Depth karena metode Eaton hanya berfungsi dengan baik pada keadaan normal. Perubahan suhu tinggi dapat mengakibatkan banyaknya perubahan pada batuan seperti diagenesis mineral lempung, ataupun perubahan hidrokarbon. Perbedaan metode ini mengakibatkan kesalahan prediksi pada eksplorasi sumur IHW-01. Pemilihan metode prediksi pore pressure harus tepat. Seringkali beberapa prediksi masih terus menggunakan formula yang sama padahal formula satu tidak bisa diterapkan diseluruh sumur yang ada di dunia.

3. Pore pressure yang ada pada sumur IHW-01 tergolong menjadi overpressure karena beberapa mekanisme seperti loading dan unloading. Loading terjadi karena cekungan Jawa Timur Utara merupakan cekungan muda berumur Tersier dan terjadi pada litologi batulempung. Unloading terjadi karena suhu yang tinggi mengakibatkan adanya diagenesis mineral lempung yang mengakibatkan adanya penambahan air pada batuan serta

kemungkinan perubahan wujud hidrokarbon pada formasi dari padat menjadi fluida.

DAFTAR PUSTAKA

- Asquith, G., Krygowski, D (2003): *Basic Well Log Analysis*. The American Association of Petroleum Geologist, Tulsa, Oklahoma
- Barker, C. (1972): *Aquathermal Pressuring-Role of Temperature in Development of Abnormal-Pressure Zones*. AAPG Bulletin. v.74, p. 1254-1261
- Bowers, G. L. 1995. *Pore Pressure Estimation from Velocity Data: Accounting for Overpressure Mechanism besides Under Compaction*. SPE Drilling and Completion, Paper IADC/SPE 13042
- Eaton, B. A. 1975: *The Equation for Geopressure Prediction from Well Logs*: SPE paper 5544.
- Katahara, Keith. 2003. *Analysis of Overpressure on the Gulf of Mexico Shelf*. Texas: OTC 15293.