

**ANALISIS TEKATAN PORI DAN PENYEBAB TERJADINYA
OVERPRESSURE PADA SUMUR-X DAN SUMUR-Y CEKUNGAN KUTAI
KALIMANTAN TIMUR**

Kartini Yuni Asih^{1*}, Boy Yoseph Cahya Sunan Sakti Syah Alam¹, Yusi Firmansyah¹, Sena Warman Reksalegora¹

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21, Jatinangor.

*Korespondensi: Kartini20001@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Lokasi penelitian terletak di Cekungan Kutai, Kalimantan timur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi tekanan pori, penyebab *overpressure*, dan persebaran zona *overpressure* pada daerah penelitian. Analisis ini penting dilakukan untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan selama proses pengeboran seperti *kick* dan *blowout*. Penelitian ini menggunakan data *well log* dan laporan pengeboran, serta menggunakan perhitungan metode Eaton (1975). Sumur-X dan Sumur-Y memiliki pangkat Eaton (1975) yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil penelitian, kondisi tekanan pori pada daerah penelitian menunjukkan kondisi *overpressure*. Top *overpressure* pada kedua sumur memiliki kedalaman yang berbeda dan terdapat pada Formasi Pulau Balang. *overpressure* pada sumur- X disebabkan oleh mekanisme *loading*, sedangkan untuk Sumur-Y disebabkan oleh mekanisme *loading* beserta *unloading*. Mekanisme *loading* pada daerah penelitian terjadi karena besarnya kecepatan sedimentasi, untuk mekanisme *unloading* disebabkan karena diagenesis mineral smektit ke illit. Berdasarkan hasil korelasi Sumur-X dan Sumur-Y, kondisi *overpressure* pada daerah penelitian mengalami pendangkalan ke arah selatan.

Kata Kunci: Cekungan Kutai, Tekanan pori, *Overpressure*, Penyebab *overpressure*.

ABSTRACT

The research is located in the Kutai Basin, East Kalimantan. This study aims to determine the pore pressure conditions, the causes of overpressure, and the distribution of overpressure zones in the research area. This analysis is essential to prevent unwanted events during the drilling process, such as kicks and blowouts. The study uses well log data and drilling reports, and employs the Eaton method (1975) for calculations. Wells X and Y have different Eaton exponents (1975). Based on the research results, the pore pressure conditions in the study area indicate an overpressure condition. The top overpressure in both wells is at different depths and is found in the Pulau Balang Formation. Overpressure in Well-X is caused by the loading mechanism, while in Well-Y it is caused by both loading and unloading mechanisms. The loading mechanism in the study area occurs due to the high sedimentation rate, while the unloading mechanism is caused by the diagenesis of smectite to illite minerals. Based on the correlation results between Wells X and Y, the overpressure condition in the study area becomes shallower towards the north.

Keywords: Kutai Basin, Pore pressure, *Overpressure*, The causes of overpressure.

PENDAHULUAN

Daerah penelitian terletak pada Cekungan Kutai, Kalimantan Timur. Cekungan kutai merupakan penghasil minyak terbesar kedua setelah Cekungan Sumatra Tengah (Rizky, Setyawan, & Widada, 2022). Pulau Kalimantan merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki potensi sumber daya alam baik sektor migas maupun non migas.

Pada saat pengeboran, salah satu aspek geologi yang harus dipersiapkan adalah analisa tekanan pori. Manfaat dari analisa tekanan pori tidak hanya untuk keberhasilan pengeboran eksplorasi dan pengembangan, tetapi juga merupakan salah satu elemen keselamatan terpenting yang harus dipertimbangkan sebelum pengeboran sumur. (Baharaldin, 2018)

Dengan adanya kondisi *Overpressure* pada saat pengeboran yang merujuk pada situasi di mana tekanan formasi (batuan dan lapisan bumi di sekitar sumur pengeboran) melebihi tekanan yang diharapkan. Pembentukan *Overpressure* dipengaruhi kondisi geologi daerah tersebut.

Penelitian ini dilakukan. Sumur-X dan Sumur-Y yang memiliki jarak antar sumur sejauh 6,9 km dan terletak pada Cekungan Kutai. Pada cekungan ini terindikasi adanya *Overpressure*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kondisi tekanan pori dan penyebab *overpressure* pada daerah penelitian.

GEOLOGI REGIONAL

Cekungan Kutai adalah cekungan sedimen tersier terbesar dan terdalam di Indonesia. Cekungan Kutai memiliki kedalaman dari 12.000 hingga 14.000 m dan memiliki luas 165.00 km². Cekungan Kutai dibatasi oleh Tinggian Mangkaliat di utara, Sesar Adang di selatan, Tinggian Kuching-bagian dari Pegunungan Tengah Borneo di barat, dan Selat Makassar di timur (Zajuli & Wahyudiono, 2018).

KERANGKA TEKTONIK

Fase-fase tektonik pada Cekungan Kutai menurut Moss dan Chambers (1999)

dibagi menjadi lima fase, yaitu: fase syn-rift (Eosen Tengah - Eosen Akhir), fase sagging (Eosen Akhir - Oligosen Akhir) (gam, rift dan aktivitas vulkanik (Oligosen Akhir-Miosen Awal), Progradasi-agradasi delta dan inversi (Miosen Awal), dan progradasi-agradasi delta dan inversi (Miosen Tengah - sekarang). (Dominic, Sapiie, & Gunawan, 2023)

KERANGKA STRUKTUR

Menurut Allen dan Chambers (1998), Cekungan Kutai dibatasi oleh Sesar Sangkulirang pada bagian utara dan Sesar Adang pada bagian selatan yang keduanya diperkirakan terbentuk pada kala Eosen (gambar 2.3). Lapisan batuan sedimen pada Cekungan Kutai telah membentuk sejumlah antiklin dan sinklin yang dikenal sebagai Antiklinorium Samarinda. Lipatan pada daerah ini umumnya berarah timurlaut-baratdaya.



Gambar 1 Struktur Geologi Regional Cekungan Kutai (Allen & Chambers, 1998)

KERANGKA STRATIGRAFI

Stratigrafi Cekungan Kutai terdiri dari dua fase utama yaitu fase transgresi Paleogen dan fase regresi Neogen. Fase transgresi Paleogen dimulai saat tektonik ekstensional dan pengisian cekungan pada Kala Eosen dan diakhiri dengan ekstensional post-rift serpih laut dalam dan paparan karbonat pada Kala Oligosen Akhir. Fase regresi Neogen dimulai pada Miosen awal sampai sekarang yang menghasilkan progradasi delta. Sedimen regresi ini terdiri dari lapisan-lapisan

sedimen klastik delta hingga laut dangkal dengan progradasi dari barat ke arah timur. (Allen dan Chamber, 1998 dalam Aga Rizky dkk, 2022).

- Formasi Pamaluan

Formasi ini diendapkan pada Miosen Awal hingga Miosen Akhir di lingkungan neritik. Ciri litologi formasi ini adalah batulempung, serpih, batugamping, batulanau dan sisipan batupasir kuarsa.

- Formasi Pulau Balang

Formasi ini diendapkan selaras di atas Formasi Pamaluan pada Miosen Tengah, terdiri dari selang-seling pasir lanauan dengan disipan batugamping tipis dan batulempung. Lingkungan pengendapan formasi ini adalah sub litoral dan kadang-kadang dipengaruhi oleh marine influx. Formasi ini mempunyai hubungan menjari dengan Formasi Bebulu yang tersusun oleh batugamping pasiran dengan serpih.

- Formasi Bebulu

Formasi ini diendapkan pada Miosen Awal hingga Miosen Tengah di lingkungan neritik. Ciri litologi Formasi Bebulu adalah batugamping.

- Formasi Balikpapan

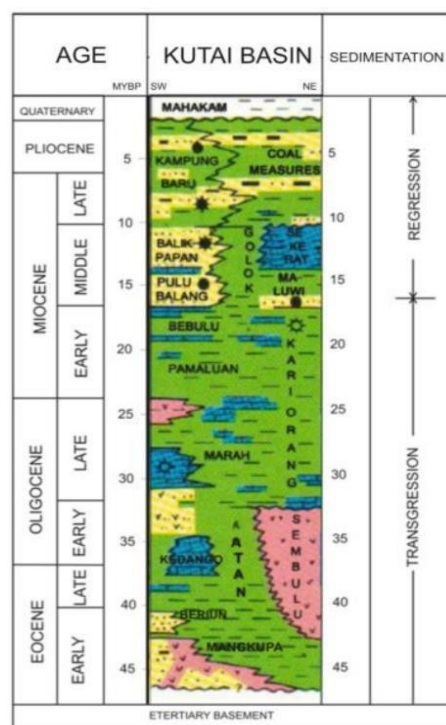
Formasi Balikpapan diendapkan secara selaras di atas Formasi Pulau Balang. Formasi ini terdiri dari selang seling antara batulempung dan batupasir dengan sisipan batubara dan batugamping di bagian bawah. Data hasil pemboran menunjukkan bahwa Formasi Balikpapan diendapkan pada sistem delta yakni delta plain hingga delta front. Umur formasi ini Miosen Tengah – Miosen Akhir.

- Formasi Kampung Baru

Formasi ini berumur Mio-Pliosen, terletak di atas Formasi Balikpapan, terdiri dari selang-seling batupasir, batulempung dan batubara dengan disipan batugamping tipis sebagai marine influx. Lingkungan pengendapan formasi ini adalah delta.

- Formasi Mahakam/Attaka

Formasi Mahakam terbentuk pada kala Pleistosen – sekarang. Proses pengendapannya masih berlangsung hingga saat ini, dengan ciri litologi material lepas berukuran lempung hingga pasir halus.



Gambar 2 Kolom stratigrafi Cekungan Kutai(Satyana dkk., 1999).

DATA LOG

Well logging merupakan proses kegiatan dengan mengambil rekaman dengan melakukan pengukuran dari parameter sifat-sifat batuan pada suatu sumur untuk memperoleh kondisi dari suatu formasi batuan.

Log sinar gamma adalah catatan dari radioaktivitas formasi. Radiasi berasal dari uranium, torium, dan kalium yang terjadi secara alami.

Log resistivitas adalah pengukuran resistivitas formasi, yaitu resistansinya terhadap lalu lintas arus listrik. Ini diukur oleh alat resistivitas. Resistivitas formasi adalah salah satu karakteristik geofisika khasnya dan sebagai hasilnya dapat memberikan informasi tentang litologi, tekstur, fasies, tekanan berlebih, dan aspek batuan sumber.

Log densitas adalah catatan berkelanjutan dari densitas massa formasi. Secara geologis, densitas massa adalah fungsi dari densitas mineral yang membentuk batuan (yaitu matriks) dan volume fluida bebas yang terperangkap di dalamnya.

Log sonik menyediakan waktu transit interval formasi, yang ditunjukkan dengan Δt (delta-C yang merupakan kebalikan dari kecepatan). Ini adalah pengukuran kapasitas formasi untuk mentransmisikan gelombang suara. Secara geologis, kapasitas ini bervariasi dengan litologi dan tekstur batuan, terutama porositas.

KONSEP TEKANAN

Tekanan dapat didefinisikan sebagai total gaya yang diterapkan pada suatu area tertentu, diukur per satuan luas.

TEKANAN HIDROSTATIS

Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang diakibatkan oleh kolom fluida terbuka, yang terhubung dengan atmosfer.

$$P = \rho_f g z \text{ (Persamaan 2.1)}$$

dengan:

P = tekanan fluida

ρ_f = densitas fluida

g = percepatan gravitasi

z = tebal kolom fluida

TEGASAN VERTIKAL (TEGASAN OVERBURDEN)

Tegasan overburden ini ditahan bersama-sama oleh tekanan pori (P) dan tegasan efektif (σ'). Tegasan efektif adalah tegasan yang timbul akibat kontak antar butir batuan (Ramdhan A. M., 2022). Tegasan ini timbul akibat beban overburden yang berada di atasnya dan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma = \rho_b g z \text{ (Persamaan 2.2)}$$

Atau dalam bentuk gradien:

$$\frac{d\sigma}{dz} = \rho_b g \text{ (Persamaan 2.3)}$$

dengan:

σ = tegasan overburden

ρ_b = densitas bulk batuan

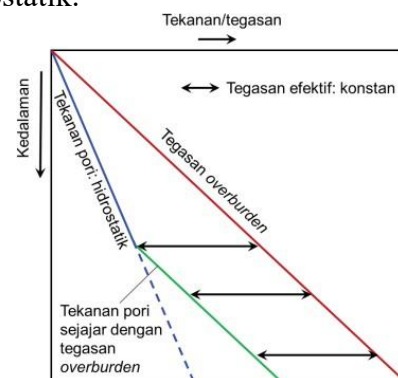
z = tebal kolom batuan

PENYEBAB TERJADINYA OVERPRESSURE

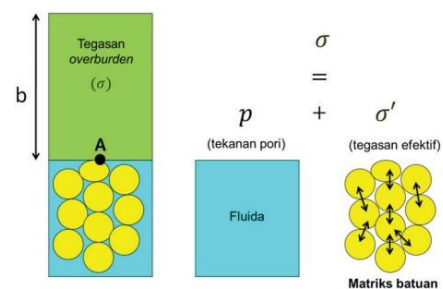
Penyebab *Overpressure* dengan magnitude yang besar dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu penyebab yang berhubungan dengan

penambahan tegasan (*stress-related*) (mekanisme *loading*), dan penyebab yang berkaitan dengan penambahan fluida dan atau penurunan tegasan efektif (mekanisme ekspansi fluida, *unloading*, atau *non-loading*).

Mekanisme *loading* yang menyebabkan terjadinya *disequilibrium compaction* dan *overpressure* ini dapat dipandang secara lebih umum dan realistis sebagai proses kompetisi antara kecepatan sedimentasi dengan kecepatan air yang keluar dari sistem batuan. Jika kecepatan sedimentasi, yang berarti kecepatan penambahan *overburden* lebih besar dibandingkan dengan kecepatan air yang keluar, maka akan terjadi kondisi *disequilibrium compaction* sehingga tekanan pori berada pada kondisi *overpressure*. Sebaliknya, jika kecepatan sedimentasi dapat diimbangi oleh kecepatan air yang keluar, maka batuan akan terkompaksi secara normal, dan tekanan pori akan berada pada kondisi hidrostatik.



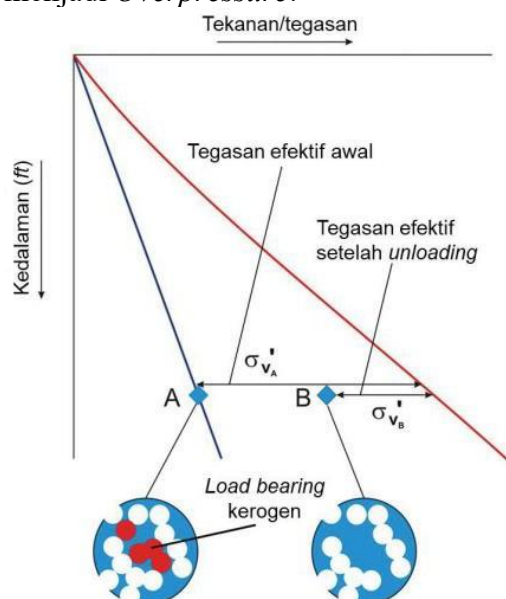
Gambar 3 Diagram tekanan/tegasan terhadap kedalaman. (Ramdhan A. M., 2022)



Gambar 4. Ilustrasi dari tegasan overburden dan tegasan efektif. (Ramdhan A. M., 2022)

Istilah unloading mengacu pada penurunan tegasan efektif. Mekanisme unloading terjadi akibat adanya ekspansi fluida berupa penambahan volume fluida, pengurangan tegasan efektif, atau tandem antara kedua proses tersebut. Diagenesis mineral lempung smektit menjadi ilit dapat menghasilkan *Overpressure* melalui dua cara, yaitu penambahan volume fluida dan pengurangan tegasan efektif.

Kematangan batuan induk dapat menghasilkan *Overpressure* melalui mekanisme yang sama dengan perubahan smektit menjadi ilit, yaitu melalui load transfer dan penambahan volume fluida. Gambar 2.12 adalah ilustrasi yang menunjukkan bahwa sebagai contoh, pada kedalaman tertentu, pada kondisi awal, tekanan berada dalam kondisi hidrostatik. Dalam kasus kematangan batuan induk, sebagian butiran yang menyusun batuan tersebut, yaitu kerogen (dapat dikategorikan sebagai butiran organik untuk mengkontraskan dengan butiran anorganik seperti kuarsa) berubah menjadi hidrokarbon, maka secara otomatis tegasan efektif akan berkurang. Dan dengan mengacu kepada Persamaan Terzaghi, pengurangan tegasan efektif ini akan dikompensasi oleh kenaikan tekanan pori menjadi *Overpressure*.



Gambar 5. Ilustrasi transformasi kerogen menjadi batuan induk yang mengurangi tegasan efektif). (Ramdhan, 2022)

Mekanisme *Overpressure* ini dapat terjadi karena adanya pergerakan lempeng tektonik berupa subduksi lempeng dan deformasi struktural. Ketika terjadi subduksi, batuan didalam lempeng yang tenggelam dapat mengalami peningkatan tekanan hidrostatik karena terperangkap dibawah lapisan batuan diatasnya. Deformasi struktural seperti lipatan, sesar atau patahan dapat menyebabkan peningkatan tekanan hidrostatik pada zona tekanan yang terperangkap.

METODE PENGUKURAN TEKANAN PORI

Data tekanan pori bisa didapatkan dari pengukuran langsung tekanan ataupun secara tidak langsung yang diimplikasikan dari parameter pengeboran. **Gambar 2.13.** menunjukkan sumber dari data tekanan pori. Gambar ini menunjukkan tingkat kepercayaan data; semakin ke bawah, semakin rendah tingkat kepercayaannya.

	Sumber data	Hirarki
Metode pengukuran langsung	Wireline formation tester (RFT, FMT, MDT)	
	Formation interval test (FIT)	
	Drill stem test (DST)	
	Well or pressure kick	
Metode pengukuran tidak langsung	Gas while drilling (GWD)	
	Measurement whilst drilling (MWD/LWD)	
	Mudweight	

Gambar 6 Sumber data tekanan bawah permukaan (dimodifikasi dari Swarbrick, 1999). (Ramdhan A. M., 2022)

METODE PENGUKURAN LANGSUNG

1. Repeat formation tester (RFT)

Data tekanan yang diambil dengan menggunakan alat *wireline formation tester* (WFT) mempunyai tingkat kepercayaan tertinggi. Generasi pertama dari WFT ini adalah RFT.

2. Drill stem test (DST)

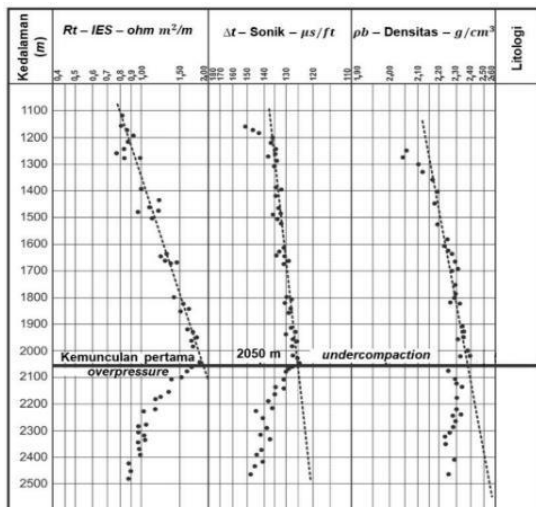
DST sebenarnya adalah uji untuk mengetahui produktivitas suatu sumur yang akan memproduksi hidrokarbon dari suatu interval reservoir. Parameter produktivitas yang diukur dalam uji ini

adalah tekanan pori, permeabilitas, dan kimia air.

METODE PENGUKURAN TIDAK LANGSUNG

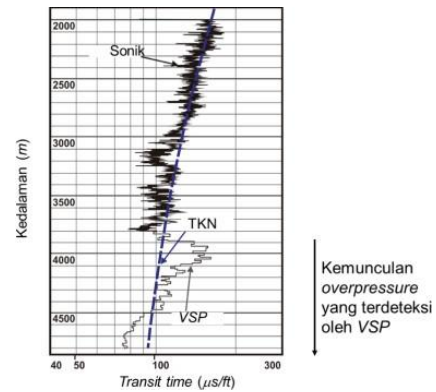
1. *Logging while drilling* (LWD) dan *vertical seismic profiling* (VSP)

Standar di industri pengeboran sekarang adalah melakukan logging geofisika ketika sedang melakukan pengeboran (*logging while drilling*/LWD). Data log yang cukup umum diambil saat pengeboran ini adalah log gamma-ray, resistivitas, sonik, dan densitas. Gambar 2.17 menunjukkan deteksi kemunculan *Overpressure* dari log resistivitas, sonik, dan densitas.



Gambar 7 Kemunculan *Overpressure* yang terdeteksi oleh log resistivitas, sonik, dan densitas (disederhanakan dari Mouchet dan Mitchel, 1989). (Ramdhan A. M., 2022)

VSP bertujuan untuk mendapatkan data kecepatan batuan sebelum dilakukan pengeboran (ahead of the bit). Salah satu tujuan dari dilakukan VSP ini adalah untuk mengetahui kedalaman lapisan yang cukup krusial, misalnya batugamping dengan porositas tinggi. Lapisan ini penting untuk diketahui karena berpotensi mengakibatkan terjadinya loss circulation. (Gambar 2.18)



Gambar 8 Kemunculan *Overpressure* yang terdeteksi oleh VSP (courtesy of Total Indonesia). (Ramdhan A. M., 2022)

2. *Mudweight* (berat lumpur)

Mudweight adalah densitas lumpur yang digunakan dalam pengeboran. Lumpur dengan densitas tertentu memberikan tekanan lumpur di lubang bor sebesar:

$$P_{\text{mud}} = \rho_{\text{mud}} \times g \times h_{\text{mud}}$$

(Persamaan 2.4)

dengan:

P_{mud} = tekanan di lubang bor

ρ_{mud} = densitas lumpur

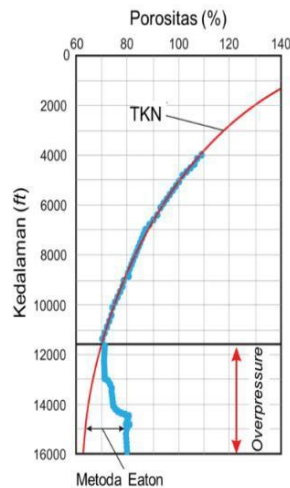
h_{mud} = tinggi kolom lumpur

Tekanan lumpur ini sering disebut sebagai *hydrostatic mudweight pressure*/ *static mudweight pressure*.

METODE PREDIKSI TEKANAN PORI

Estimasi tekanan pori hanya dapat dilakukan pada litologi batulempung. Hal ini karena batulempung lebih elastis dibandingkan dengan litologi lainnya seperti batupasir dan batugamping. Hal ini mengakibatkan batulempung lebih sensitif terhadap perubahan tegasan.

Penelitian ini menggunakan metoda Eaton (1975) dalam menentukan tekana pori Metoda Eaton diajukan oleh Eaton (1975) dalam pekerjaannya untuk mengestimasi *Overpressure* di daerah Teluk Meksiko. Berdasarkan Eaton (1975), besar *Overpressure* berbanding lurus dengan besar defleksi data dari tren kompaksi normal (TKN) (Gambar 2.19)



Gambar 9 Terlihat adanya defleksi data dari TKN pada data. (Ramadhan A. M., 2022)

Metoda Eaton (1975) ini adalah metoda empiris, yang didasarkan pada dataset Eaton di GoM. Jika Eaton mendapatkan nilai pangkat 3 dan 1,2 di GoM, maka nilai-nilai tersebut hanya berlaku di daerah tersebut. Di cekungan-

cekungan lain di dunia angka-angka tersebut sangat mungkin berbeda.

Dengan melakukan estimasi *Overpressure* menggunakan metode Eaton (1975), hal pertama yang harus dilakukan adalah dengan merekonstruksi Normal Compaction Tren (NCT) dari data sonic.

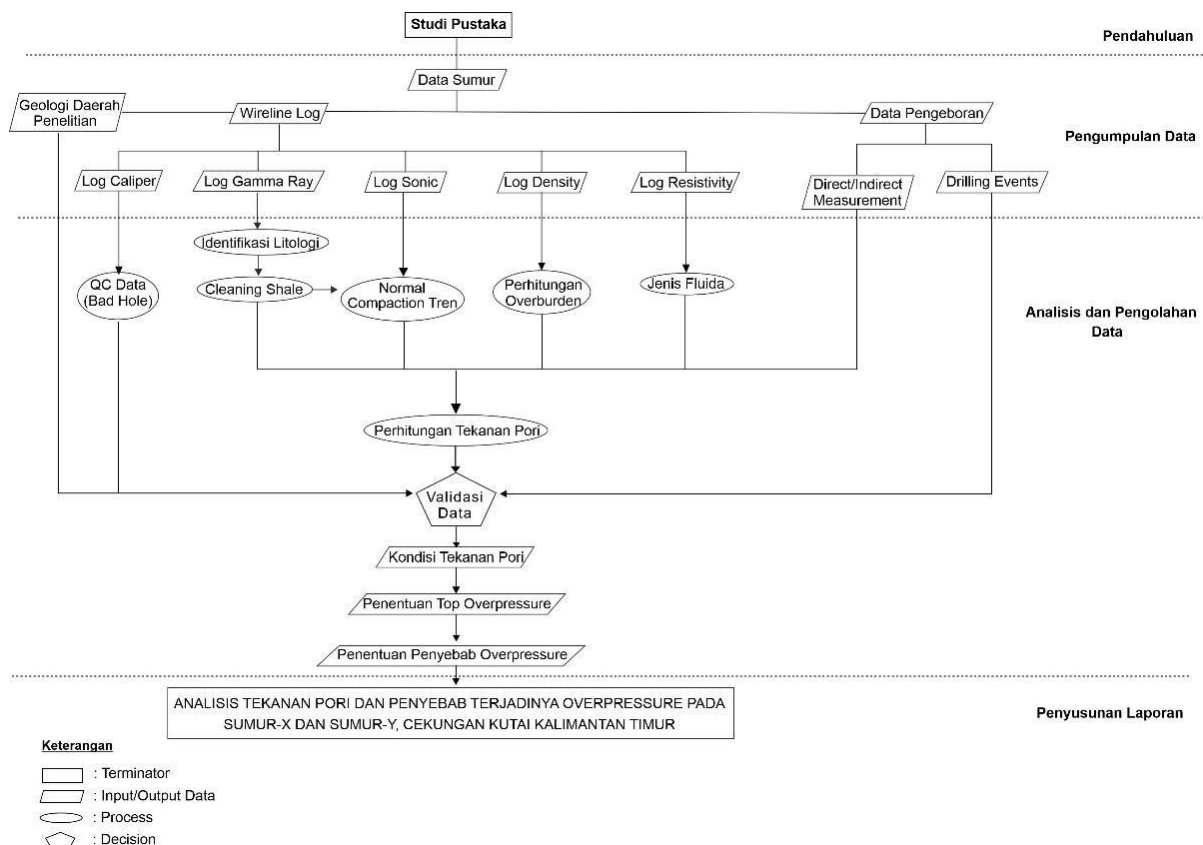
Data sonic yang digunakan hanya yang memiliki litologi batulempung. Rekonstruksi normal compaction tren (NCT) dilakukan dengan cara menginterpolasi data sonik terhadap kedalaman di zona yang hidrostatik, kemudian mengesktrapolasikannya ke zona yang *Overpressure*.

Tren kompaksi normal (NCT) pada log sonik dapat dihitung menggunakan rumus:

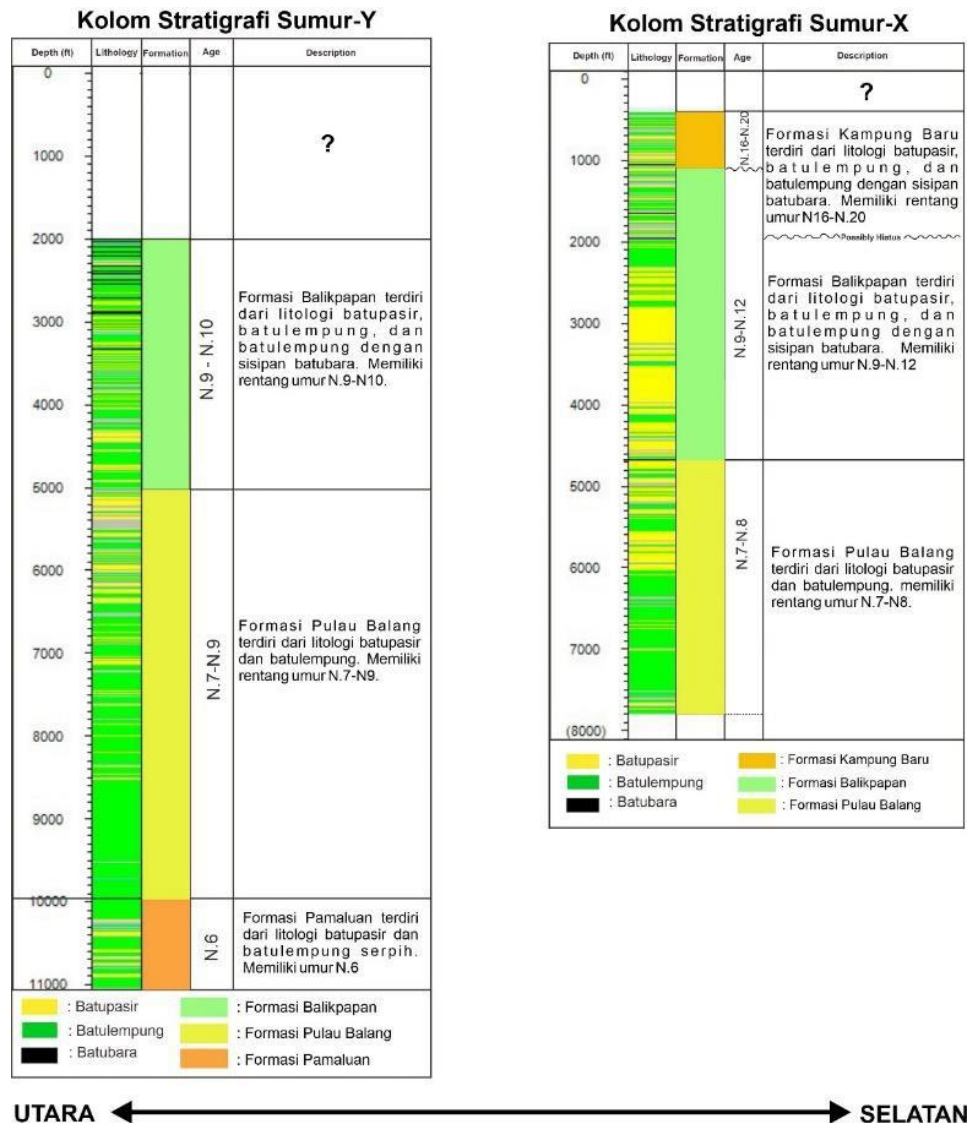
$$\Delta t = (\Delta t_0 - \Delta t_m)e^{-bz} + \Delta t_m$$

(Persamaan 2.8)

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian



Gambar 11 Kolom Stratigrafi Sumur-Y (kiri) dan Sumur-X (Kanan)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

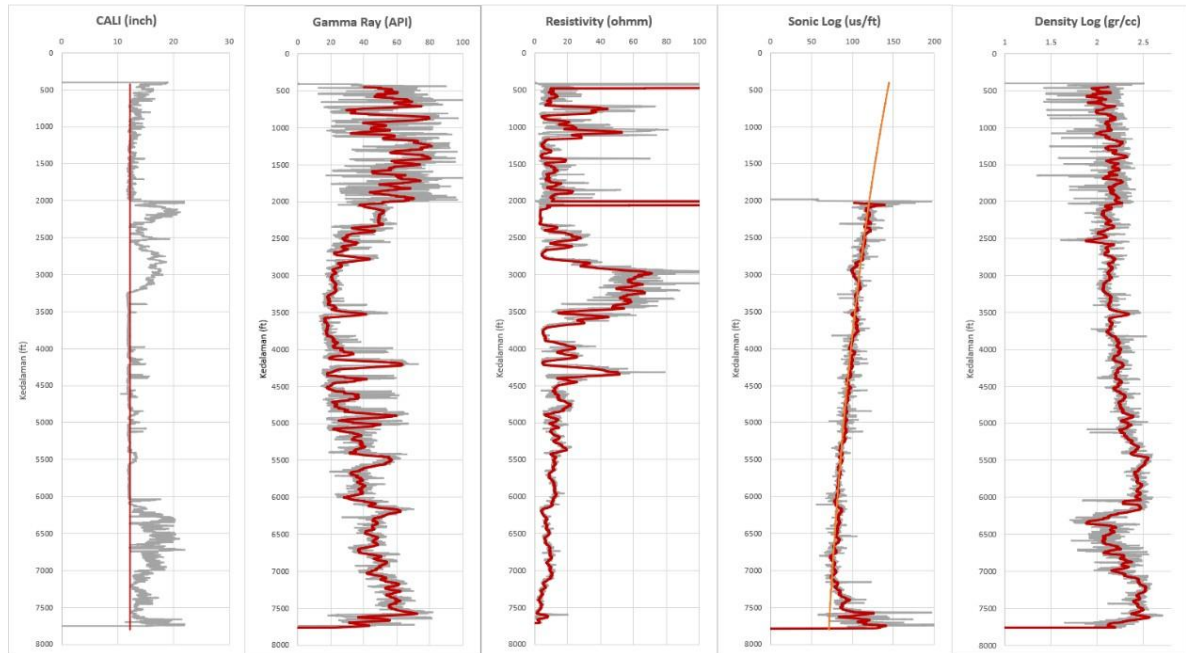
Sumur-X terletak sekitar 10 km barat daya dari Sumur-Y, 12 km (7,5 mil) timur laut dari Balikpapan. Sumur-X di bor pada tanggal 1 Januari 1976. Sumur-X dibor hingga kedalaman total 7800 ft. Sumur-X menembus Formasi Kampung Baru, Balikpapan, dan berakhir pada lapisan Pulau Balang. Sumur-X memiliki urutan stratigrafi dari yang tertua hingga termuda adalah Formasi Pulau Balang, Formasi Balikpapan, dan Formasi Kampung Baru. Sumur-Y memiliki jarak sekitar 10 km

timur laut dari Sumur-X. Sumur-Y di bor pada tanggal 16 Oktober 1973.

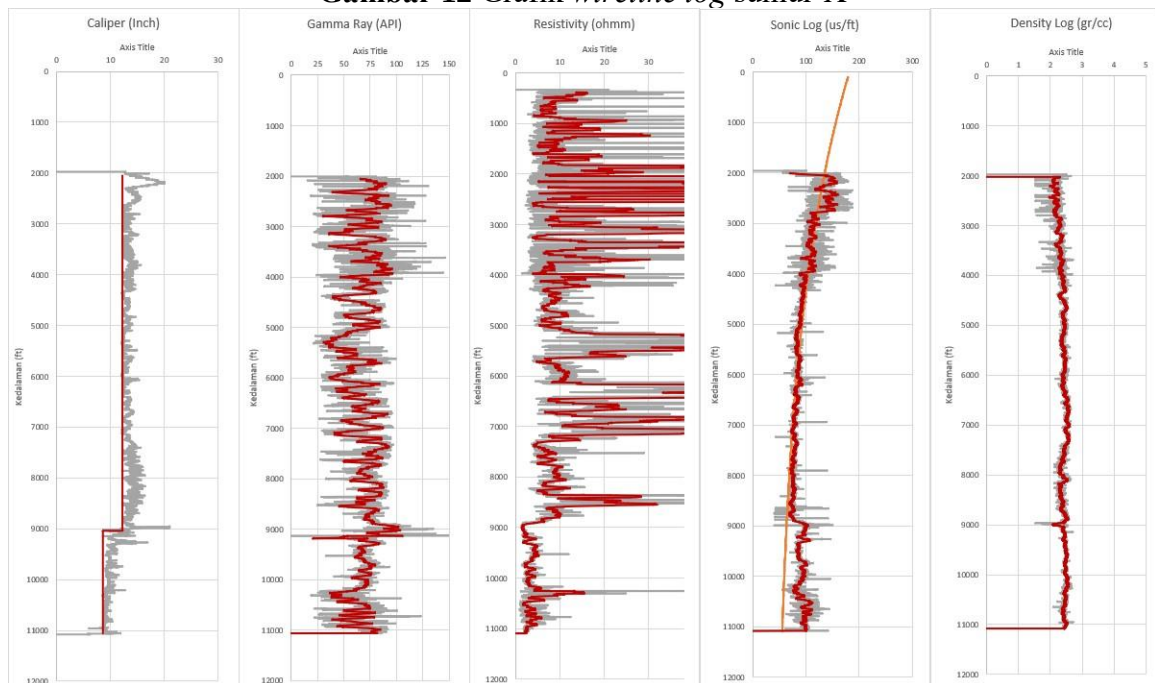
Sumur-Y dibor hingga kedalaman total 11063 ft. Sumur-Y memiliki urutan stratigrafi dari yang tertua hingga termuda adalah Formasi Pamaluan, Formasi Pulau Balang, dan Formasi Balikpapan.

ANALISIS DATA WIRELINE LOG

Berdasarkan data laporan akhir pengeboran, Sumur-X dan Sumur-Y memiliki data wireline log berupa caliper log, Gamma ray log, Resistivity log, Sonic log dan Density log.



Gambar 12 Grafik wireline log sumur-X



Gambar 13 Grafik wireline log sumur-Y

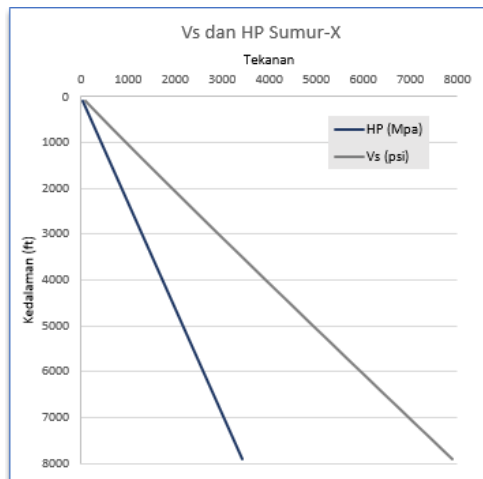
ANALISIS TEKANAN

Tegasan overburden merupakan tegasan vertikal, tegasan total, dan tegasan litostatik. Dengan adanya data log densitas, maka dapat diketahui nilai tegasan overburden pada Sumur-X dan Sumur-Y. Berdasarkan persamaan 2.2, maka dapat dilihat hasil nilai tekanan overburden dan menghasilkan persamaan.

TEKANAN HIDROSTATIS

Sumur-X dan Sumur-Y memiliki fluida yang diasumsikan sebagai fresh water, dengan nilai densitas 1000 kg/m³ (Ramdhan A. M., 2022). Dengan menggunakan persamaan 2.1, maka didapat hasil nilai tekanan hidrostatik dari Sumur-

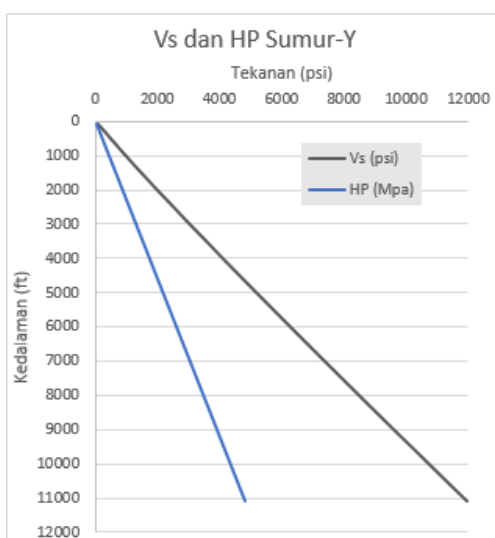
X dan Sumur-Y. Pada gambar 4.4 terlihat nilai hidrostatik terhadap kedalaman.



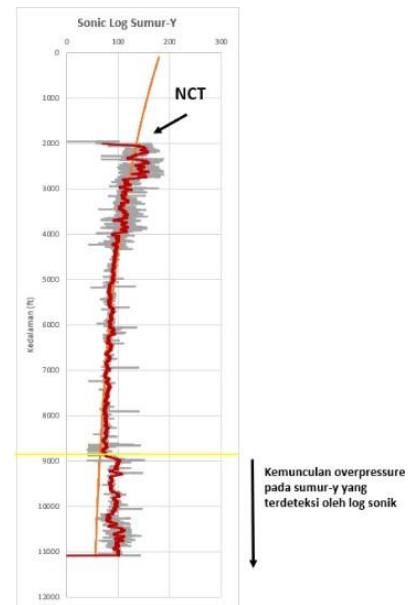
Gambar 14. Grafik tegasan overburden (Vs) dan Tekanan Hidrostatik (HP) sumur-X Gambar

TEKANAN PORI

Pada grafik (gambar 4.6) tersebut terlihat bahwa nilai estimasi tekanan pori menggunakan metode Eaton memiliki tren yang relatif konstan, namun pada kedalaman 7200 ft tren Eaton mengalami kenaikan. Diikuti berat lumpur yang terlihat konstan namun pada kedalaman 7200 ft mengalami kenaikan yang signifikan. Nilai berat lumpur pada kedalaman 7200 – 7800 ft adalah 9 – 11,7 ppg.



Gambar 15. Grafik tegasan overburden (Vs) dan tekanan hidrostatik (HP) sumur-Y



Gambar 16. Grafik Normal Compaction Trend (NCT) pada Sonic log Sumur-X

Data *Sonic log* dapat digunakan untuk memprediksi nilai tekanan pori. Pada gambar 4.5 terlihat hasil plot sonik dan tren kompaksi normal (NCT) terhadap kedalaman. Gambar 4.5 menunjukkan nilai sonic yang melambat seiring bertambahnya kedalaman. Nilai tren kompaksi normal dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.8. Pada gambar terlihat bahwa pada kedalaman 0 – 7200 ft berada pada keadaan kompaksi normal. Sedangkan pada kedalaman 7200 – 7800 ft berada pada keadaan *undercompaction*.

ZONA OVERPRESSURE SUMUR-X

Dengan adanya perbedaan tren kompaksi normal dengan Sonic log, maka pada kedalaman tersebut terdapat abnormal pressure berupa *overpressure*. Gambar 4.6 menunjukkan *Overpressure* pada Sumur-X. Pada kedalaman 7100 ft nilai tekanan pori mulai keluar dari tren tekanan hidrostatik. Lalu top overpressure terjadi pada kedalaman 7200 ft, maka pada kedalaman 7200 – 7800 ft menjadi zona *Overpressure* di Formasi Pulau Balang. Formasi tersebut, di dominasi oleh litologi Batulempung. Pada grafik terlihat tren nilai mudweight memiliki jarak yang jauh dari tren prediksi

tekanan pori, hal ini menandakan adanya event kick pada kedalaman tersebut.

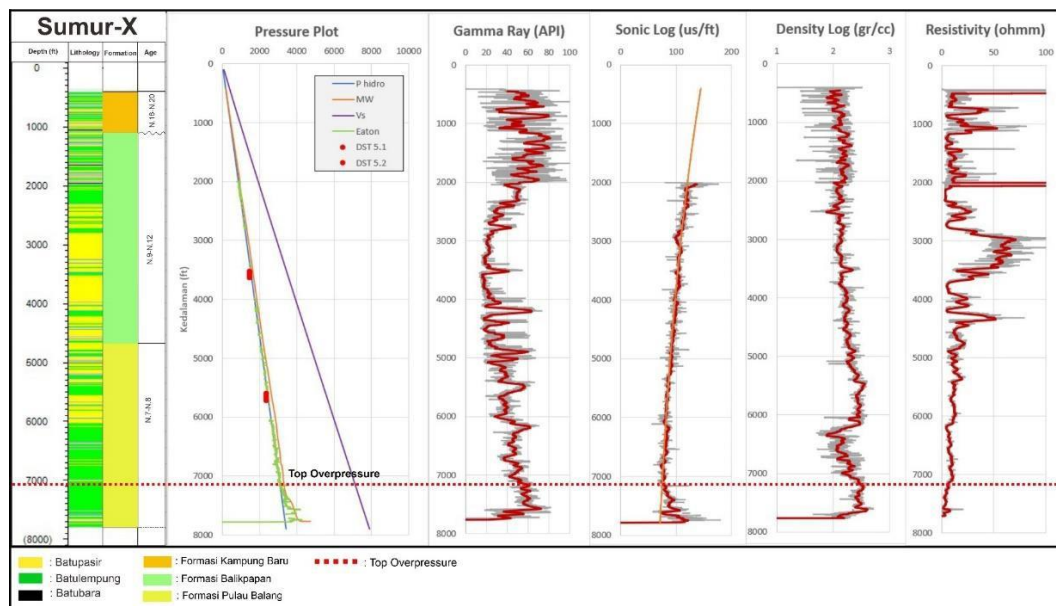
Gambar 4.11 menunjukkan bahwa nilai estimasi tekanan pori sumur-Y menggunakan metode Eaton (1975) memiliki tren yang relatif konstan, namun pada kedalaman 8900 ft tren Eaton mengalami kenaikan. Diikuti berat lumpur yang terlihat konstan namun pada kedalaman 7200 ft mengalami kenaikan yang signifikan. Nilai berat lumpur pada kedalaman 8900 – 11100 ft adalah 9,9 – 17,2 ppg.

Data *Sonic log* dapat digunakan untuk memprediksi nilai tekanan pori. Pada gambar 4.10 terlihat hasil plot sonik dan tren kompaksi normal (NCT) terhadap kedalaman. Gambar 4.10 menunjukkan nilai *sonic* yang melambat seiring bertambahnya kedalaman. Nilai tren kompaksi normal dapat diketahui dengan

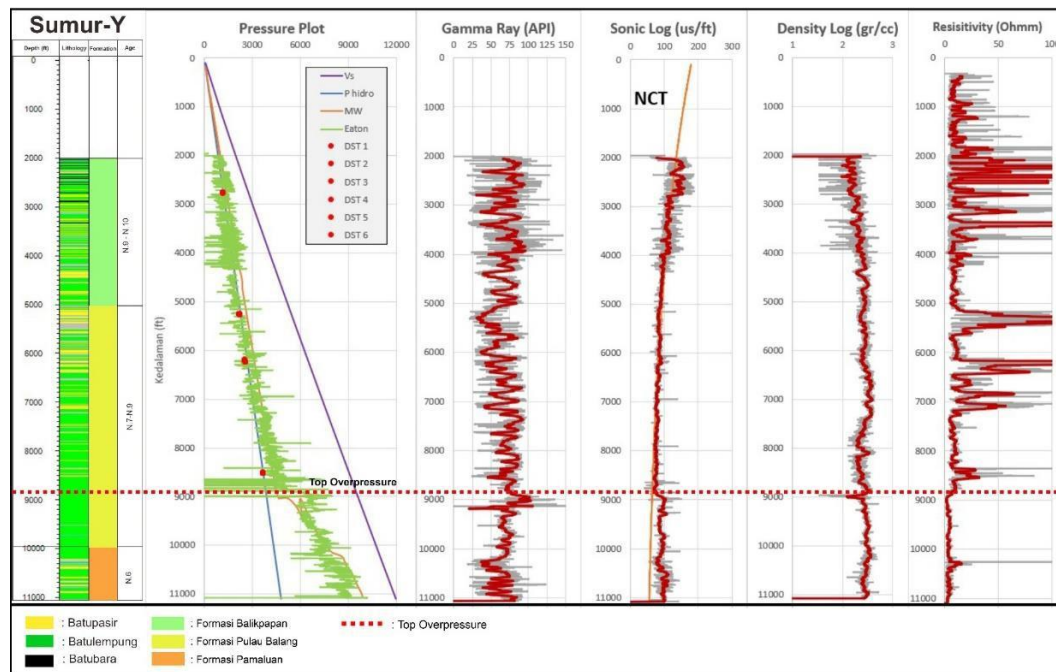
menggunakan persamaan 2.8. Pada gambar terlihat bahwa pada kedalaman 0 – 8900 ft berada pada keadaan kompaksi normal. Sedangkan pada kedalaman 8900 – 11063 ft berada pada keadaan *undercompaction*.

ZONA OVERPRESSURE SUMUR-Y

Dengan adanya perbedaan tren kompaksi normal dengan Sonic log, maka pada kedalaman tersebut terdapat abnormal pressure berupa *overpressure*. Gambar 4.6 menunjukkan *Overpressure* pada Sumur-Y. Pada kedalaman 8800 ft nilai tekanan pori mulai keluar dari tren tekanan hidrostatik. Lalu top overpressure terjadi pada kedalaman 8900 ft, maka pada kedalaman 8900 – 7800 ft menjadi zona *Overpressure* di Formasi Pulau Balang. Formasi tersebut, di dominasi oleh litologi Batulempung.



Gambar 17. Grafik Tekanan Pori Sumur-X



Gambar 18. Grafik Tekanan Pori Sumur-Y

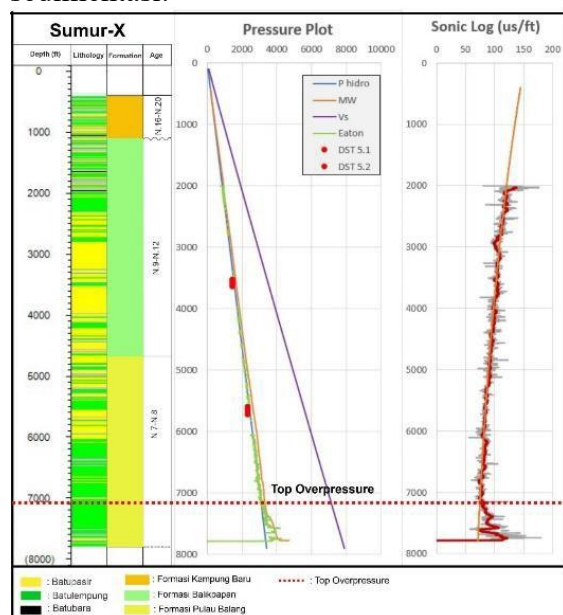
MEKANISME TERJADINYA OVERPRESSURE SUMUR-X

Mekanisme *Overpressure* dapat dipahami dalam prinsip Terzhagi (1925) dan berhubungan dengan kompaksi batulempung. Pada Sumur-X dapat terjadi mekanisme *Overpressure* berupa loading dicirikan dengan besarnya nilai kecepatan sedimentasi.

Sumur-X terdiri dari Formasi Kampung Baru, Balikpapan, dan Formasi Pulau Balang. Pada Sumur-X terjadi mekanisme *Overpressure* berupa loading, yang diakibatkan oleh kecepatan sedimentasi yang lebih besar dibanding kecepatan air yang keluar dari sistem batuan (tabel 4.1).

Tabel 1. Kecepatan sedimentasi pada Sumur-X

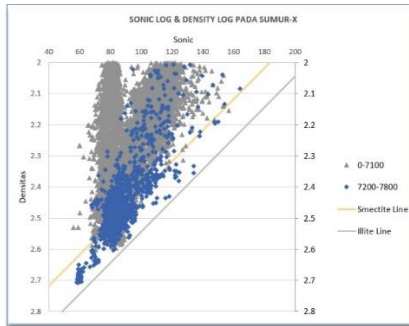
NO	KEDALAMAN	FORMASI	KECEPATAN SEDIMENTASI
1	400-1100"	Kampung Baru	129,63 ft/ma
2	1100-4999"	Balikpapan	2999 ft/ma
3	4999-7800"	Pulau Balang	2334 ft/ma



Gambar 19 Grafik antara Pressure Plot dengan NCT dan Sonic log pada Sumur-X

Mekanisme loading pada Sumur- X juga dapat dilihat dari tren Sonic log dan tren kompaksi normal (NCT). Hal ini dicirikan oleh adanya defleksi nilai Sonic log pada top overpressure dengan kedalaman 7200 ft, dimana nilai Sonic log keluar dari tren kompaksi normal.

Berdasarkan hasil plot sonic log dengan density log, *overpressure* pada Sumur-X tidak terpengaruh oleh diagenesis mineral smectite ilit, karena pada zona *Overpressure* terlihat masih berada pada garis smektit dan belum melewati garis ilit.



Gambar 20. Grafik plot antara sonic log dan density log pada Sumur-X

MEKANISME TERJADINYA OVERPRESSURE SUMUR-Y

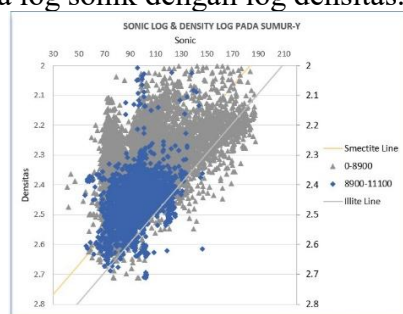
Mekanisme *Overpressure* dapat dipahami dalam prinsip Terzhagi (1925) dan berhubungan dengan kompaksi batulempung. Berdasarkan prinsip Terzhagi (1925), meningkatnya tekanan pori akan mempengaruhi besarnya nilai tegasan efektif.

Sumur-Y terdiri dari Formasi Balikpapan, Formasi Pulau Balang, dan Formasi Pamaluan. Pada Sumur-Y terjadi mekanisme *Overpressure* berupa loading, yang diakibatkan oleh kecepatan sedimentasi yang lebih besar dibanding kecepatan air yang keluar dari sistem batuan (tabel 4.2)

Tabel 2 Kecepatan Sedimentasi pada Sumur-Y

NO	KEDALAMAN	FORMASI	KECEPATAN SEDIMENTASI
1	0-1990"	-	-
2	1990-5030"	Balikpapan	3800 ft/ma
3	5030-9980"	Pulau Balang	2475 ft/ma
4	9980-11100"	Pamaluan	-

Terbentuk nya *Overpressure* pada Sumur-Y juga diiringi oleh adanya mekanisme diagenesis smektit dan illit. Pada gambar 4.15 menunjukkan hasil plot antara log sonik dengan log densitas.

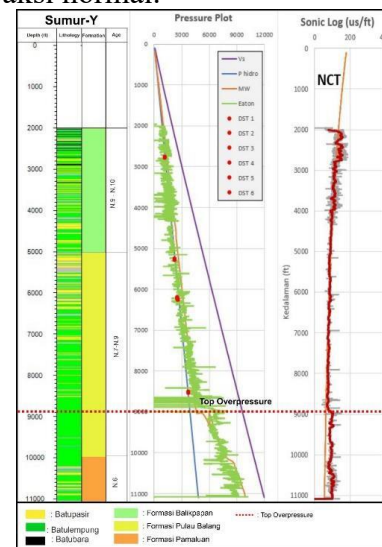


Gambar 21 Grafik plot antara sonic log dan density log pada Sumur-Y

Dapat diketahui bahwa pada Sumur-Y terlihat adanya mekanisme diagenesis smektit menjadi illit yang sudah dimulai pada kedalaman 2000 – 3000 ft. Walaupun diagenesis sudah mulai terjadi pada kedalaman yang dangkal, diagenesis tersebut tidak menyebabkan *Overpressure* karena magnitude yang dihasilkan tidak begitu besar. Hal ini dapat dilihat dari tren tekanan pori yang masih berada pada keadaan hidrostatik. Diperkirakan mekanisme diagenesis smektit dan illit baru mempengaruhi terbentuknya *Overpressure* pada kedalaman berkisar 10000 ft yang ditandai dengan adanya pengurangan tegasan efektif.

PERSEBARAN ZONA OVERPRESSURE

Persebaran zona *Overpressure* secara vertikal dapat diperkirakan menggunakan perhitungan tekanan pori dengan metode Eaton (1975). Hasil tekanan pori tersebut lalu dibandingkan dengan nilai tren kompaksi normal.

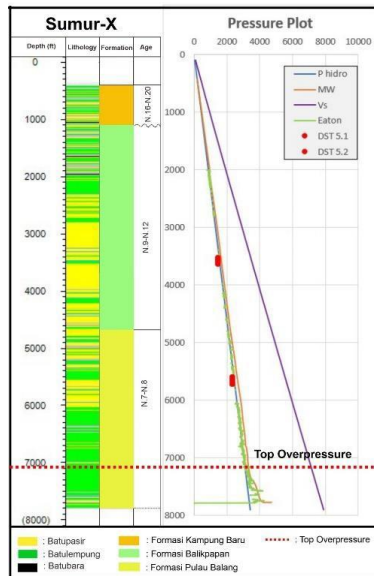


Gambar 22 Grafik antara Pressure Plot dengan NCT dan Sonic log pada Sumur-Y

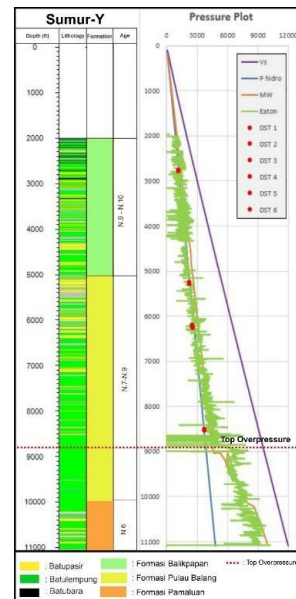
Persebaran zona *Overpressure* secara lateral dapat diperkirakan menggunakan perhitungan tekanan pori dengan metode Eaton (1975). Dengan mengkorelasikan top *overpressure* pada kedua sumur, maka dapat dilihat bagaimana persebaran zona

Overpressure secara lateral berdasarkan kedalaman sumur. Berdasarkan kenampakan sumur secara lateral, dari arah utara ke selatan, penyebaran top

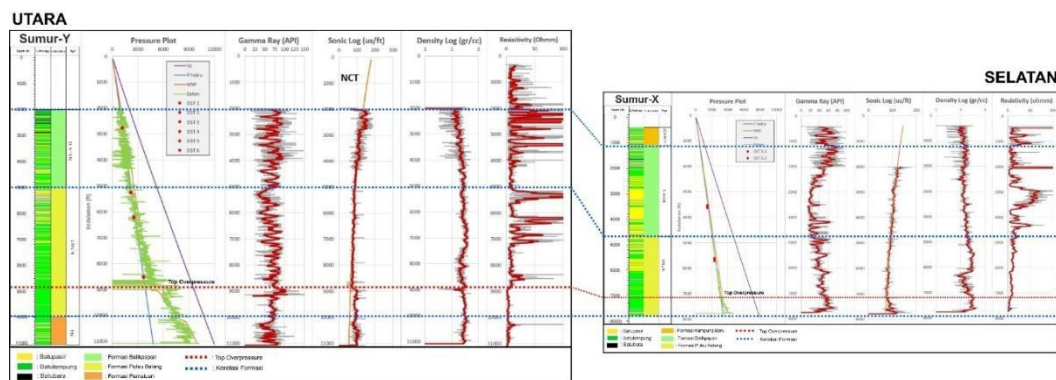
overpressure mengalami pendangkalan ke arah selatan dan berada pada Formasi Pulau Balang.



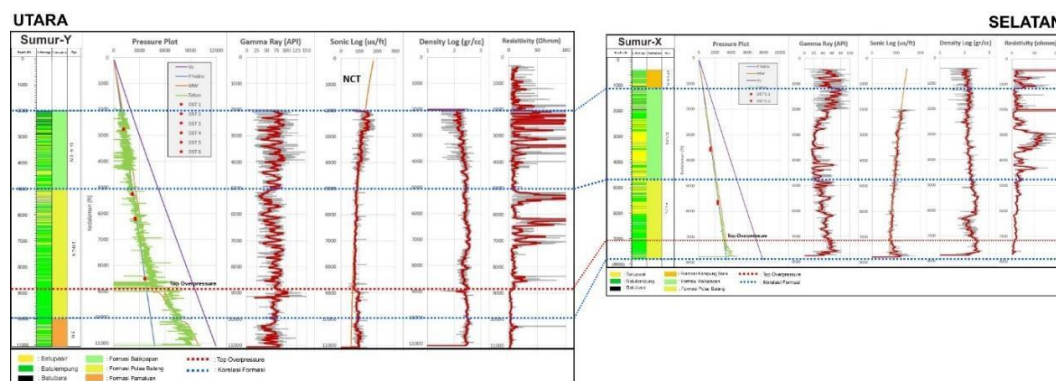
Gambar 23 Persebaran zona Overpressure secara vertikal pada Sumur-X



Gambar 24 Persebaran zona Overpressure secara vertikal pada Sumur-Y



Gambar 25 Korelasi Struktur



Gambar 26 Korelasi Kronostratigrafi

KESIMPULAN

1. Kondisi Tekanan Pori

Berdasarkan estimasi tekanan pori menggunakan metode Eaton (1975), tekanan pori pada Sumur-X memiliki tren yang relative konstan. Namun pada kedalaman 7100 ft tekanan pori perlahan mulai keluar dari tren tekanan hidrostatik. *Overpressure* pada Sumur-X dimulai pada kedalaman 7200 ft. Tekanan pori pada Sumur-Y memiliki tren yang relatif konstan. Namun pada kedalaman 8800 ft tekanan pori perlahan mulai keluar dari tren tekanan hidrostatik. *Overpressure* pada Sumur-Y dimulai pada kedalaman 8900 ft. *Overpressure* pada sumur-X dan sumur-Y terjadi pada Formasi Pulau Balang yang terdiri dari litologi batupasir, batugamping, dan didominasi oleh batulempung.

2. Mekanisme *Overpressure*

Mekanisme *Overpressure* pada Sumur-X disebabkan oleh mekanisme loading. Hal ini dicirikan oleh bentuk defleksi dari tren *sonic log*, dan besarnya nilai kecepatan sedimentasi pada Sumur-X.

Mekanisme *Overpressure* pada Sumur-Y dapat disebabkan oleh mekanisme *loading* dan *unloading*. Mekanisme loading dicirikan oleh bentuk defleksi dari tren log sonic. Mekanisme loading juga dicirikan dengan kecepatan sedimentasi yang besar pada Formasi Pulau Balang yaitu sebesar 2475 ft/ma. Mekanisme *unloading* dicirikan oleh adanya mekanisme diagenesis mineral lempung smektit menjadi ilit pada grafik plot antara log sonic dengan density log.

3. Persebaran Zona *Overpressure* Secara vertikal zona *overpressure*

Sumur-X dimulai pada kedalaman 7200 ft di Formasi Pulau Balang, sedangkan pada Sumur-Y zona *overpressure* dimulai pada kedalaman 8900 ft pada formasi Pulau Balang. Secara lateral zona *Overpressure* pada daerah penelitian menunjukkan dari arah utara ke selatan mengalami pendangkalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, G., & Chambers, J. (1998). Deltaic Sediment in The Modern and Miocene Mahakam Delta. Jakarta: Indonesian Petroleum Association.
- Asikin, S. (1976). Geologi Struktur Indonesia. Bandung, Indonesia: Departemen Teknik Geologi ITB.
- Baharaldin, K. B. (2018). PORE PRESSURE PREDICTION: A CASE STUDY OF BLOCK A, SABAH INBOARD & BARAM BASIN, SABAH OFFSHORE. Doctoral dissertation, Universiti Teknologi Malaysia.
- Doctoral dissertation, UPN" VETERAN" YOGYAKARTA
- Dominic, P. B., Sapiie, B., & Gunawan, I. (2023). MODEL GEOMEKANIKASATU DIMENSI DAN KESTABILAN SUMUR BOR DI LAPANGAN. Bulletin of Geology, 1168-1183.
- Hamdani, A., Noeradi, D., & Iskandar, Y. (2019). POTENSI GAS SERPIH FORMASI PULOBALANG, CEKUNGAN KUTAI, KALIMANTAN TIMUR. Bulletin of Geology, Vol 3, NO.2, 371-380.
- Heriyanto, Umar, H., Pangeran, C., & Shodiqin, A. (2018). GEOLOGI DAN STUDI STRUKTUR GEOLOGI BERDASARKAN CITRA SATELIT DAERAH MUANGLAMA, KECAMATAN SAMARINDA UTARA, . Jurnal Teknik Geologi: Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Vol. 1 No. 1, hal. 27-36.
- Ramadhan, A. M. (2021). In Situ Stress and Stress Regime in the Offshore Part of the Northeast Java Basin. Scientific Contributions Oil & Gas, Vol. 44, No. 2.
- Ramadhan, A. M. (2022). ANALISIS DAN PREDIKSI OVERPRESSURE DI CEKUNGAN SEDIMEN. Bandung: ITB Press.

- Renaldo, Z. (2014). GEOLOGI DAN KARAKTERISTIK RESERVOAR SERTA PERHITUNGAN CADANGAN.
- Rider, M. (2000). The Geological Interpretation of Well Logs. Sutherland: Rider-French Consulting Ltd.
- Rizky, A., Setyawan, I. D., & Widada, S. (2022). Analisis Fasies dan Lingkungan Pengendapan pada Formasi Pulau Balang Cekungan . Jurnal Ilmiah Geologi Pangea , Vol. 9, No.1sp.
- Sagala, J. L. (2020). PENDEKATAN GEOMEKANIKA DALAM ANALISIS KESTABILAN LUBANG BOR DI LAPANGAN
- X. Webinar Nasional Cendekiawan Ke 6 Tahun 2020, Indonesia.
- Satyana, A. H., Nugroho, D., & Surantoko, I. (1999). Tectonic controls on the hydrocarbon habitats of the Barito, Kutei, and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia: major dissimilarities in adjoining basins. Journal of Asian Earth Sciences 17, 99-122.
- Schlumberger. (1997). Log Interpretation Charts. Houston, Texas.
- Tambur, A. A., Burhannidinnur, M., & Herdiansyah, F. (n.d.). MEKANISME OVERPRESSURE PADA SUMUR ATD- 7,LAPANGAN.
- Zajuli, M. H., & Wahyudiono, J. (2018).Rock-Eval Pyrolysis of the Oligocene Fine-grained Sedimentary Rocks from the Pamaluan Formation, Gunung Bayan Area, West Kutai Basin, East Kalimantan : Implication for Hydrocarbon Source Rock Potential Rock-Eval Pyrolysis pada Batuan Sedimen Berbutir Halu. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, 73-82.