

PORE PRESSURE DAN FRACTURE GRADIENT PADA SUMUR AF-78, CEKUNGAN KUTAI, FORMASI BALIKPAPAN, KALIMANTAN TIMUR

Ahmad Fauzan^{1*}, Yusi Firmansyah¹, Febriwan Mohamad¹, Yuyun Yuniardi¹, Reza Moh. Ganjar Gani¹, Danny Nursasono²

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jatinangor

²Pertamina Hulu Indonesia Balikpapan

*Email Korespondensi: ahmad20012@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Lapangan “AF” berada pada Formasi Balikpapan berumur miosen dengan lingkungan pengendapan berupa delta. Karakteristik tekanan pori pada lapangan penelitian terbagi menjadi tekanan hidrostatik dan *overpressure*. Data yang digunakan selama proses penelitian berlangsung ialah data Survey, Data Mudlog, Data Well Log, Data PTFA, LOT/FIT, *Drilling report*, dan *velocity*. Pengolahan data yang dilakukan berupa penentuan shale point berdasarkan log gamma ray, menghitung *overburden gradient* berdasarkan data *density*, menentukan *Normal Compaction Trend* (NCT), mengestimasi nilai *pore pressure* dan *fracture gradient* menggunakan metode Eaton. Zona *overpressure* berada pada nilai yang melebihi nilai tekanan hidrostatik pada Zona-I pada kedalaman 4557ft TVD. Mekanisme pembentukan *overpressure loading* yang disebabkan *sedimentation rate* yang tinggi dan *unloading* yang disebabkan oleh diagenesis mineral lempung smektit-ilite.

Kata Kunci : *Overpressure, Fracture gradient, Metode Eaton, Cekungan Kutai*

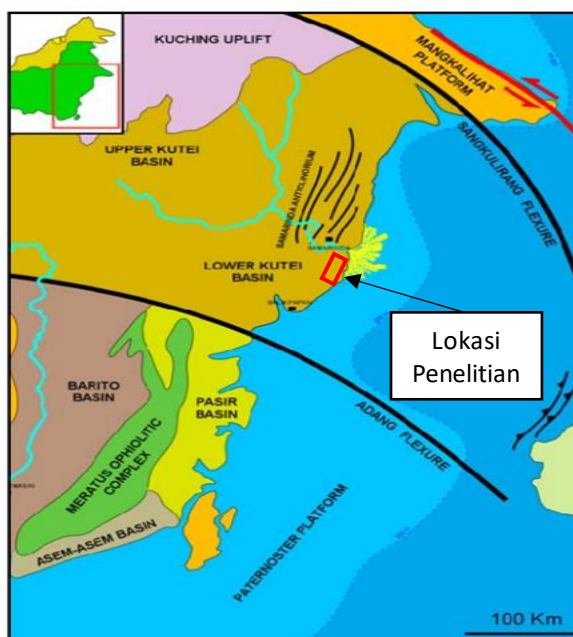
ABSTRACT

The “AF” field is located in the Miocene-aged Balikpapan Formation with a deltaic depositional environment. The pore pressure characteristics in the research field are divided into hydrostatic pressure and overpressure. The data used during the research process are Survey data, Mudlog data, Well Log data, PTFA data, LOT/FIT, Drilling report, and velocity. Data processing is carried out in the form of determining shale points based on gamma ray logs, calculating overburden gradient based on density data, determining Normal Compaction Trend (NCT), estimating pore pressure and fracture gradient values using the Eaton method. The overpressure zone is at a value that exceeds the hydrostatic pressure value in Zone-I at a depth of 4557ft TVD. The mechanism of overpressure formation is loading caused by high sedimentation rate and unloading caused by diagenesis of smectite-ilite clay minerals.

Keyword: *Overpressure, Fracture gradient, Eaton Method, Kutai Basin*

1. PENDAHULUAN

Cekungan Kutai merupakan cekungan sedimen tersier terluas dan terdalam di Indonesia (Satyana, dkk., 1999) yang menjadi salah satu sumber utama dalam produksi minyak dan gas bumi di Indonesia.



Gambar 1. Fisiografi Regional Cekungan Kutai ((Paterson, 1997 dalam Mora, 2001)

Saat ini kebutuhan akan sumber energi khususnya energi minyak dan gas bumi masih merupakan sumber energi yang paling dibutuhkan, karena nilai kalornya yang tinggi, sifat fluida yang mudah disimpan dan didistribusikan, serta dapat digunakan sebagai bahan baku untuk kebutuhan lainnya (Koesoemadinata, 1980).

Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi (SKK Migas) memiliki target produksi minyak bumi mencapai 1 juta bph. Untuk memenuhi target tersebut dapat dilakukan pengeboran yang lebih dalam. Permasalahan yang muncul pada saat melakukan pengeboran yang dalam adalah terdapatnya zona *overpressure* yang beresiko terjadinya *blow out*.

Oleh karena itu diperlukannya analisis *pore pressure* dan *fracture gradient* serta mekanisme pembentukan dan distribusi zona *overpressure* untuk menghindari resiko selama pengeboran dilaksanakan, seperti *kick*, *blow out*, *lost circulation*, dan *stuck pipe*. Adapun tujuan ini adalah (1) Menganalisis *pore pressure* dan *fracture gradient* pada daerah penelitian (2) Menganalisis mekanisme pembentukan *overpressure* pada daerah penelitian

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Overpressure

Overpressure adalah kondisi dimana tekanan pori berada di atas gradien hidrostatik normal. *Overpressure* dapat disebabkan oleh cepatnya proses pengendapan sedimen, lapisan *permeabel* yang tipis terperangkap oleh lapisan *impermeabel*, terjadinya pengangkatan atau daerah sesar, dan pembentukan minyak dan gas bumi yang terekspansi akibat tekanan dan panas yang tinggi sedangkan volume pori pada batuan terbatas (Roy, Ray, dan Biswas, 2010).

2.2 Metode Estimasi Eaton

Metoda Eaton merupakan salah satu metoda empirik yang sudah umum digunakan pada industri migas yang di dalam perhitungannya menggunakan data resistivitas atau *sonic* (Eaton, 1975). Persamaan matematis yang digunakan pada metoda ini adalah sebagai berikut :

$$p = \sigma_v - (\sigma_v - p_n) \left(\frac{\Delta t_n}{\Delta t} \right)^3$$

$$p = \sigma_v - (\sigma_v - p_n) \left(\frac{R}{R_n} \right)^{1.2}$$

Dimana :

- p = Tekanan Pori Eaton
 σ_v = Overburden Stress
 p_n = Tekanan Hidrostatik
 n = Kondisi saat Hidrostatik
 Δt = Nilai dari Transit Time
 R = Nilai dari Resistivitas

2.3 Fracture Gradient

Fracture gradient merupakan total dari tekanan yang dapat ditahan oleh formasi sebelum suatu formasi tersebut rusak atau hancur (Ramdhan, 2017). Nilai dari tekanan rekah harus lebih kecil dari tekanan *overburden* dan lebih besar dari tekanan pori. Besarnya gradien tekanan rekah umumnya dipengaruhi oleh : tekanan *overburden*, tekanan formasi dan kondisi kekuatan batuan. *Fracture gradient* dapat ditentukan dengan melakukan pengujian *leak off test* (LOT) yang dilakukan di laboratorium. Tetapi, karena keterbatasan data LOT, maka pada penelitian ini gradien tekanan rekah dihitung dengan melalui data *log* menggunakan persamaan Eaton, dengan persamaan berikut :

$$FG = (OBG - PP) \times (PR / (1 - PR)) + PP$$

Dimana :

- OBG = Tekanan *Overburden* (Pa)
 PP = Tekanan Pori (Pa)
 PR = *Poisson ratio*
 FG = Tekanan Rekah

2.4 Mekanisme Terjadinya Overpressure

Secara umum mekanisme terjadinya *overpressure* dibagi menjadi dua mekanisme, yaitu mekanisme pembebanan (*loading mechanism*) dan mekanisme peningkatan fluida atau tidak secara pembebanan (*unloading mechanism*).

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 gagal kompak. Dampaknya tekanan pori akan naik melebihi tekanan hidrostatik untuk mengimbangi laju kenaikan tekanan litostatik.

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 tekanan pori akan meningkat. Dampaknya tegasan efektif batuan akan berkurang (Ramdhan & Goulty, 2010).

3. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian menggunakan data pasca hasil pengeboran. Data tersebut terbagi menjadi data pengukuran langsung dan tidak langsung. Data

pengukuran langsung yaitu yang telah diolah seperti data *Repeat Formation Tester (RFT)*, *Leak Of Test (LOT)*, dan *Formation Integrity Test (FIT)*. Sedangkan data pengukuran tidak langsung yaitu data belum terolah seperti *wireline log*, *interval velocity*, dan *drilling report*.

Data-data yang diolah berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang akan diolah kembali untuk dilakukan analisis. Data sekunder adalah data yang telah siap pakai dan telah diolah. Data sekunder yang diperlukan berupa data geologi regional, data *Pressure Test and Fluid analysis (PTFA)* untuk mengetahui tekanan formasi dan jenis fluidanya, data *mudlog* untuk mengetahui jenis lumpur yang dipakai serta deskripsi cutting, data *Leak Of Test (LOT)/Formation Integrity Test (FIT)* untuk mengetahui nilai *fracture gradient*, dan data marker digunakan sebagai batas suatu lapisan batuan berdasarkan paket pengendapan. Sedangkan data primer yang diolah berupa data *Vshale* yang digunakan untuk menentukan litologi shale dalam analisis zona overpressure, dan data *wireline Log* dan *Interval Velocity* untuk membuat profil tekanan terhadap kedalaman.

Prediksi zona *overpressure* dihitung menggunakan metode Eaton pangkat 3 dibantu dengan menggunakan data *Normal compaction trend (NCT)* dari litologi shale. Besaran NCT merupakan keadaan batuan yang terkompaksi secara normal yang dapat dihitung dengan menggunakan data yang diperoleh dari pengukuran respon *wireline log*, yaitu data sonik, yang ditunjukkan dengan pola kurva. Chapman (1983) memberikan persamaan yang digunakan untuk menentukan besaran NCT dari data *sonic*:

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

Dimana :

Δt_n = Nilai pada kondisi NCT

Δt_o = Nilai matrik batuan

Δt_m = Nilai dipermukaan

b = Kedalaman

z = Konstanta

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Estimasi Pore Pressure dan Fracture Gradient

Sumur yang dijadikan sebagai acuan penelitian analisis *pore presure* dan *fracture gradient* adalah sumur AF-78. Hasil analisis pada profile pressure terhadap kedalaman dapat dilihat bahwa sebagian besar kondisi *formation pressure* reservoir sumur lebih rendah dari nilai tekanan hidrostatik. Hasil perhitungan langsung dari *Pressure Test and Fluid Analysis (PTFA)* menunjukkan bahwa *Formation Pressure* pada bagian reservoir berada pada nilai yang berkisar di antara 0.158 psi/ft – 0.437 psi/ft dengan fluida terdiri atas gas, minyak, dan air.

Selama proses pengeboran berlangsung terjadi beberapa masalah, diantaranya adalah *drilling event* berupa *lost circulation* yang terjadi di section 12-1/4 pada kedalaman 990ft MD dan section 8-1/2 inch pada kedalaman 4952 ft MD. Selain itu terjadi event berupa *connection gas* pada kedalaman 5539ftMD menandakan

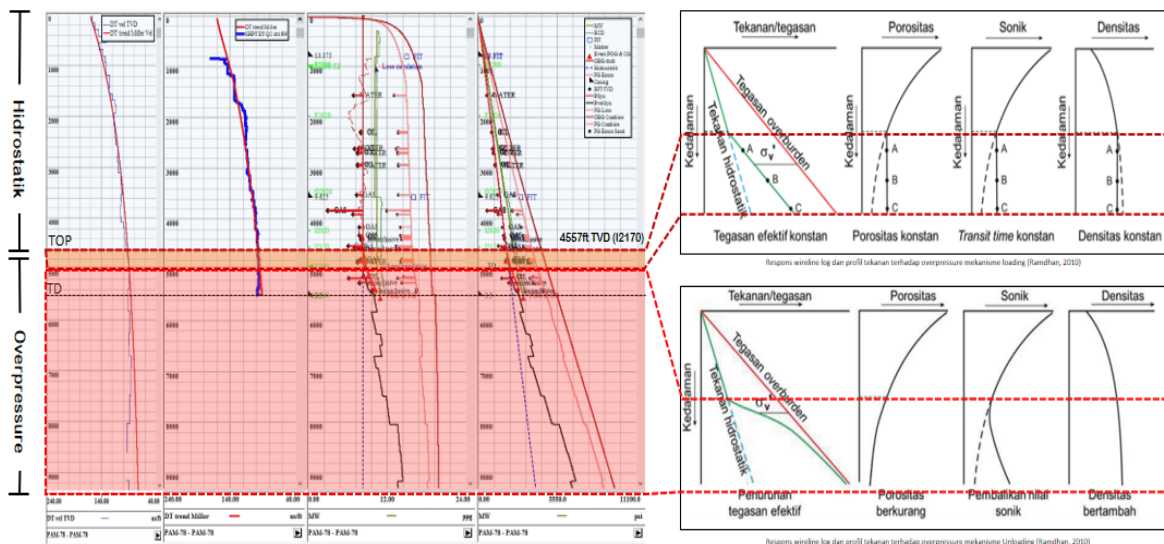
bahwasannya *pore presure* formasi telah mengalami peningkatan tekanan terhadap nilai *mudweight* yang statis sehingga gas dari formasi akan masuk ke

dalam lubang pengeboran. Dengan keterjadian event ini maka dapat divalidasi bahwa pada kedalaman tersebut telah terjadi peristiwa *overpressure*.

Fracture Gradient diperoleh dari data Leak off Test (LOT) pada sumur AF-08 dengan nilai 15 ppg. Kemudian dihitung menggunakan metode Eaton. Hasil perhitungan fracture gradient pada sumur AF-08 dijadikan acuan untuk seluruh sumur penelitian dengan menggunakan poisson ratio 0,423

Pore pressure yang diperoleh melalui data wireline log menunjukkan keterdapatan dua rezim *pore pressure*

yakni tekanan hidrostatik dan *overpressure*. Pada interval 0 - 4557 ftTVD keadaan *pore pressure* masih dalam kondisi hidrostatik (normal) dengan nilai *pore pressure* 0,433 psi/ft atau 8.345 ppg. Terjadi peningkatan *pore pressure* pada kedalaman >4557 ftTVD melebihi nilai hidrostatik (>0.433 psi/ft) yang menunjukkan bahwasannya telah memasuki rezim *overpressure*, sehingga top *overpressure* berada pada Zona-I pada kedalaman ±4557ftTVD. *Pore pressure* yang telah memasuki rezim *overpressure* ini sebanding dengan kenaikan dari mud weight (MW) dan equivalent circulating density (ECD) dari 10,5 ppg hingga 11,00 ppg.



Gambar 2. Profil pore pressure AF-78 terhadap kedalaman serta mekanisme pembentukan overpressure terhadap respon wireline log (Ramdhan,2010)

4.2 Mekanisme Pembentukan Overpressure

Berdasarkan hasil analisis mekanisme keterbentukan *overpressure* pada PAM-78 (Gambar 2) yang mengacu pada Ramdhan,2010 yakni respon wireline logs terhadap profil *pore pressure* menunjukkan bahwa terdapat dua mekanisme yang terjadi yaitu mekanisme loading dan mekanisme *unloading*. Mekanime loading mulai terjadi pada

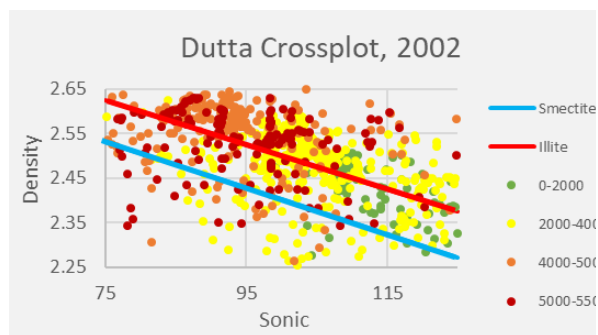
Zona-I dengan kedalaman ±4667ftTVD yang merupakan top *overpressure* hingga kedalaman ±5000ftTVD.

Tabel 1 Sedimentation Rate PAM-78

Sumur	Formasi	Zone	Age Top Zone	Thickness (m)	SR m/Ma
PAM 78	Balikpapan	E	11.2	307.062835	495.997
		F	11.7	456.276761	
		G	12.1	235.040119	
		I	12.4	374.609563	
		TD		15.8032704	

Kecepatan sedimentasi yang tinggi mengakibatkan batuan gagal mengalami kompaksi sehingga mengakibatkan effective stress menjadi konstan. Mekanisme loading ini didukung melalui hasil perhitungan sedimentation rate PAM-78 menunjukkan bahwasanya daerah ini memiliki nilai sedimentation rate yang tinggi dengan rata-rata 496 m/Ma. Berdasarkan Swarbrick, 2002 mekanisme loading dapat terjadi jika kecepatan sedimentation rate mencapai 100 meter/juta tahun. Dengan kecepatan sedimentation rate yang melebihi 100 meter/juta tahun tentu mekanisme loading dapat terjadi.

Mekanisme *unloading* mulai terjadi pada kedalaman ± 5000 ftTVD hingga total depth (TD) pada 5512 ftTVD. Hal ini dikontrol oleh terjadinya pengurangan effective stress terhadap kedalaman. Trend log sonic dari wireline ini dibantu dengan menggunakan data sonic velocity hingga kedalaman >9000 ftTVD menunjukkan adanya pengurangan effective stress, sehingga *pore pressure* mendekati *overburden gradient* (Gambar 2).



Gambar 4. 3 Crossplot Density-Sonic (Dutta, 2002) AF-78

Mekanisme *unloading* ini dibantu melalui analisis diagenesis mineral lempung smektit menjadi ilit berdasarkan Dutta (2002). Berdasarkan hasil analisis tersebut didapatkan bahwa pada kedalaman 0-2000

ftTVD shale masih berada pada trend smektit menuju ke trend ilit. Pada kedalaman 2000-5000 ftTVD shale telah berada pada trend ilit tanpa terjadinya peristiwa *unloading*. Pada kedalaman 5000-5500 ftTVD barulah shale yang berada pada trend ilit mengalami pembalikan yang menunjukkan terjadinya peristiwa *unloading*.

5 KESIMPULAN

1. Analisis PPFG pada daerah penelitian dilakukan dengan rumus Eaton (1975) dengan pangkat Eaton 3. Terdapat dua Zona, yaitu Zona Hidrostatik dan Zona *Overpressure*. Top *Overpressure* berada pada Zona I dengan interval kedalaman Top *overpressure* berada pada 4557 ft TVD
2. Mekanisme pembentukan *overpressure* pada daerah penelitian adalah mekanisme loading (*Constant effective stress*) dan *Unloading* (Diagenesis Mineral Smektit- Ilit). Mekanisme loading dibuktikan dengan menggunakan respon wireline log terhadap profil *pore pressure* serta perhitungan *sedimentation rate* yang tinggi melebihi angka 100 m/Ma. Mekanisme *unloading* dibuktikan dengan menggunakan respon wireline log terhadap profil *pore pressure* serta hasil crossplot density-sonic yang memperlihatkan adanya pembalikan trend ilit pada kedalaman >5000 ftTVD.

6 DAFTAR PUSTAKA

- Allen, G. P. (1998). Sedimentaton in the Modern and Miocene Mahakam Delta. Jakarta: Field trip Guide Book, Indonesia Petroleum Association.

- Bowers, G. &. (2001). The role of shale pore structure on the sensitivity of wire-line logs to overpressure. AAPG Memoir, 76.
- Dutta, N. (2002). Deepwater geohazard prediction using prestack inversion of large offset P-wave and rock model. The Leading Edge, 21.
- Eaton, B. A., (1975). The equation for overpressure prediction from well logs. Proceedings of 50th Annual Fall Meeting of the Society of Petroleum Engineers of AIME. Dallas: American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers.
- Gardner, G., & A.R., G. L. (1974). Formation velocity and density - the diagnostic basics for stratigraphic traps. Geophysics 39: 770.
- Paterson, D. W. (1997). Petroleum system of the Kutei basin, Kalimantan, Indonesia. Jakarta: Proceedings Indonesia Petroleum Association .
- Ramadhan, A. M. (2010). Overpressure and Compaction in the Lower Kutai Basin, Indonesia (Doctoral dissertation, Durham University).
- Ramadhan, A. M., & Goulty, N. R. (2011). Overpressure and mudrock compaction in the Lower Kutai Basin, Indonesia: a radical reappraisal. AAPG bulletin, 95(10), 1725-1744.
- Ramadhan, A. M., & Goulty, N. R. (2014). Overpressure in the Shelfal Area of the Lower Kutai Basin.
- 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(1-2), 99-122.
- Swarbrick, R.E., Osborne, M.J., & Yardley, G.S. (2002). Comparison of overpressure magnitude resulting from the main generating mechanisms. AAPG Memoir, 76.