

	Bulletin of Scientific Contribution GEOLOGY Fakultas Teknik Geologi UNIVERSITAS PADJADJARAN homepage: http://jurnal.unpad.ac.id/bsc p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X	 Volume 22, No.2 Agustus 2024
---	---	---

OPTIMASI BERAT LUMPUR PENGEBORAN DENGAN ANALISIS TEKANAN PORI DAN GRADIEN REKAH PADA LAPANGAN RZZ, FORMASI BALIKPAPAN, CEKUNGAN KUTAI

Raihan Zaki Zahran^{*1}, Abdurrokhim¹, Febriwan Mohamad¹, Danny Nursasono²

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran .Bandung

²PT Pertamina Hulu Sanga Sanga, Balikpapan

Korespondensi: raihan20009@mail.unpad.ac.id

ABSTRACT

Pore pressure and fracture gradient analysis is a crucial process in oil and gas drilling to predict pressure that occurs inside the well and prevent drilling hazards. This analysis is located in RZZ field as part of oil and natural gas production area in East Kalimantan. The objective of this research is to understand the characteristics of pore pressure in order to determine the appropriate method for optimizing drilling mud weight. The data used in the study area is sourced from 14 wells, including wireline log data, PTFA, LOT or FIT, drilling reports, mud logs, interval velocity, and Ro. This study employs the Eaton method for pore pressure and fracture gradient analysis, as well as statistical methods for mud weight optimization. The results indicate that the depth of top overpressure ranges from 9,850 to 11,000 ft TVD in Balikpapan Formation, while the top hard overpressure is found within range of 12,000 to 13,000 ft TVD in the same formation. Correlation results show that the distribution of overpressure follows the geological structure, specifically an anticline. The mechanisms of overpressure affecting the study area are loading and unloading mechanisms. The loading mechanism is supported by historical burial analysis, while the unloading mechanism is evidenced by Dutta cross-plots and Ro values. Mud weight optimization in the 12 ¼" section was achieved by increasing the mud weight to 2.65 ppg above the pore pressure to address issues related to tight spots and overpull. In contrast, for the 8 ½" section, mud weight was reduced to 2.5-3.5 ppg below the pore pressure to mitigate high gas issues. The use of this optimal mud weight will minimize problems during drilling, thereby making the drilling process more effective and efficient.

Keywords: Pore Pressure, Overpressure, Mud Weight, Mechanism, Optimization

ABSTRAK

Analisis tekanan pori dan gradien rekah adalah proses penting dalam pengeboran minyak dan gas untuk memprediksi tekanan yang terjadi di dalam sumur dan mencegah kejadian bencana pengeboran. Analisis ini berlokasi di lapangan RZZ sebagai bagian dari lapangan produksi minyak bumi dan gas alam pada Kalimantan Timur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tekanan pori agar dapat menentukan metode yang tepat dalam optimasi berat lumpur pengeboran. Data yang digunakan pada daerah penelitian bersumber dari 14 sumur termasuk data *log* tali kawat, PTFA, LOT atau FIT, laporan pengeboran, *mud log*, *interval velocity*, dan *Ro*. Penelitian ini menggunakan metode Eaton pada analisis tekanan pori dan gradien rekah serta metode statistika pada optimasi berat lumpur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman *top overpressure* berada pada rentang 9,850 – 11,000 ftTVD pada Formasi Balikpapan dan *top hard overpressure* pada rentang 12,000 – 13,000 ftTVD pada Formasi Balikpapan juga. Hasil korelasi menunjukkan distribusi *overpressure* mengikuti struktur geologi yang berkembang yakni antiklin. Mekanisme *overpressure* yang berperan pada daerah penelitian adalah mekanisme *loading* dan *unloading*. Mekanisme *loading* dibuktikan berdasarkan analisis sejarah pemendaman, sedangkan mekanisme *unloading* dibuktikan oleh plot silang Dutta dan nilai *Ro*. Optimasi berat lumpur pada *section* 12 ¼" dilakukan dengan cara menaikkan berat lumpur menjadi 2.65 ppg dari tekanan pori untuk menanggulangi permasalahan *tight spot* dan *overpull*. Sedangkan pada *section* 8 ½" dengan cara menurunkan berat lumpur menjadi 2.5-3.5 ppg dari tekanan pori untuk menanggulangi *high gas*. Penggunaan berat lumpur optimum ini akan meminimalisir terjadi permasalahan saat pengeboran sehingga pengeboran menjadi lebih efektif dan efisien.

Kata Kunci: Tekanan Pori, Overpressure, Berat Lumpur, Mekanisme, Optimasi

PENDAHULUAN

Lapangan RZZ merupakan bagian dari lapangan minyak bumi dan gas bumi di Cekungan Kutai, Kalimantan Timur (**Gambar 1**). Lapangan ini telah diproduksi secara masif sejak tahun 1972. Namun dilihat dari masih banyaknya permasalahan yang ditemukan dalam pengembangan sumur-sumur pada lapangan ini menunjukkan bahwa masih ada banyak aspek yang perlu dipelajari dan dikembangkan dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi.

Permasalahan yang muncul pada Lapangan RZZ disebabkan oleh keberadaan tekanan pori yang tidak normal yakni zona *overpressure* dan *underpressure*. Permasalahan pengeboran yang dapat terjadi berupa lumpur yang merembes ke dalam formasi (*lost circulation*), *kick*, terjepitnya pipa pemboran (*stuck pipe*), dan lain lain (Azadpour et al., 2015).

Informasi tekanan pori sangat penting untuk perencanaan pengeboran. Pengebor mempelajari gradien tekanan pori karena memudahkan untuk menghitung berat lumpur. Informasi tekanan pori didapatkan dari tiga studi, yaitu pra-engeboran, selama pengeboran dan pasca pengeboran (Zhang, 2011). Prediksi tekanan pori merupakan salah satu tahapan kegiatan yang dilakukan sebelum pengeboran. Kesalahan dalam memprediksi tekanan pori akan mempengaruhi kestabilan lubang bor khususnya zona *overpressure* (Tribuana et al., 2018).

Analisis tekanan pori dan gradien rekah pasca pengeboran digunakan untuk membuat model distribusi tekanan bawah permukaan, serta pemahaman tentang kedalaman *top overpressure* dan mekanisme pembentuknya. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik tekanan pori dan gradien rekah daerah penelitian agar dapat menentukan metode yang tepat dalam optimasi lumpur pengeboran. Optimasi ini akan berguna untuk pengeboran selanjutnya.

GEOLOGI REGIONAL

Pulau Kalimantan menjadi salah satu daerah dengan kondisi geologi yang berbeda dan cukup kompleks dengan interaksi konvergen antara tiga pelat utama bumi diantaranya Lempeng Indo-Australia di sebelah selatan bergerak relatif ke arah utara, Lempeng Pasifik di sebelah timur bergerak relatif ke arah barat, dan Lempeng Eurasia di sebelah utara bergerak relatif ke arah selatan (Hamilton, 1979). Cekungan Kutai adalah cekungan sedimen tersier terdalam (12,000-14,000 m) dan terluas (165,000 km²) di Indonesia (Satyana et al., 1999). Pada cekungan ini sudah ditemukan dan diproduksi minyak dan gas semenjak tahun 1898.

Cekungan Kutai memiliki sejarah yang rumit dan merupakan satu-satunya cekungan di Indonesia yang telah mengalami evolusi dari *internal rifting fracture / foreland basin* menjadi *marginal-sag* (Moss et al., 1997). Deskripsi sejarah tektonik di Cekungan Kutai adalah sebagai berikut (**Gambar 2**) :

Fase Pre-Rift

Pada fase ini, terbentuk batuan dasar dari penggabungan Lempeng Benua Mikro Luconia, Lempeng Benua Schwaner, dan Lempeng Samudera Proto-Laut Cina Selatan yang mengalami subduksi dan diikuti oleh kolisi pada umur Kapur (Asikin, 1995).

Fase Syn-Rift

Selama periode Eosen Tengah, batuan dasar cekungan mulai mengalami proses *rifting* yang dipicu oleh ekstensi regional di Laut Sulawesi. Proses ini menghasilkan serangkaian *half graben syn-rift* yang berarah NNE-SSW hingga NE-SW, yang mendalam ke arah barat dan memiliki sesar mendatar dengan arah ESE-WNW hingga SE-NW (Moss et al., 1997). Selama proses *rifting*, terjadi perubahan lingkungan pengendapan dari *non-marine* menjadi *marine*.

Fase Sagging

Dari Eosen akhir hingga Oligosen Awal, *rifting* berhenti dan diikuti tahap pelenturan cekungan (*sag phase*) serta proses transgresi yang menyertai pengendapan *post-rift* (Moss et al., 2000). Secara regional, cekungan mengalami pendalaman yang mengakibatkan pengendapan *open marine shale* dan karbonat di bagian tinggi cekungan, seperti tepi cekungan dan area *basement high* (Van De Weerd and Armin, 1992).

Fase Uplift

Pengangkatan Tinggian Kuching pada akhir Oligosen dan reaktivasi sesar-sesar yang berarah NW-SE menyebabkan terbentuknya ketidakselarasan pada periode ini (Moss et al., 1997).

Fase Inversi

Pada Miosen Awal, Lempeng Benua Mikro Luconia bertabrakan dengan batas utara Lempeng Benua Sunda, yang menyebabkan terjadinya tektonik inversi dan mengakibatkan pengangkatan pusat cekungan yang terbentuk selama Eosen dan Oligosen (Allen and Chambers, 1998). Ketersediaan sumber sedimen yang melimpah akibat pengangkatan cekungan mengakibatkan terbentuknya pengendapan delta secara masif dengan pola progradasi (Moss, 2000).

Struktur umum di Cekungan Kutai adalah lipatan dari Antiklinorium Samarinda dan beberapa sudah berkembang membentuk sesar naik. Struktur geologi lain yang berkembang adalah sesar normal dengan pola kelurusan berarah barat laut-tenggara (NW-SE). Sesar ini umumnya muncul di utara

cekungan dan memotong batuan sedimen yang berumur Miosen Tengah dan daerah lain memiliki umur lebih tua. Struktur major pada Cekungan Kutai berupa Sesar Adang-Lupar dan Mangkalihat. (**Gambar 3A**)

Stratigrafi regional di area penelitian terdiri dari endapan sedimen tersier yang terbentuk akibat siklus transgresi dan regresi laut, serta memiliki kesamaan dengan Cekungan Barito dan Cekungan Tarakan (Satyana et al., 1999). Stratigrafi regional Cekungan Kutai yang mengacu kepada studi Satyana dkk. (1999) (**Gambar 3B**). Daerah penelitian berada pada Formasi Balikpapan yang tersusun dari litologi dominan Batulempung dan Batupasir dengan sisipan Batubara dan Batugamping yang terendapkan pada umur Miosen Tengah hingga Akhir pada lingkungan *delta plain* hingga *pro delta*. Interval penelitian ini ditandai dengan *marker C* sebagai batas atas formasi dan *marker K* sebagai batas bawah formasi.

METODE PENELITIAN

Estimasi tekanan pori dan gradien rekah dilakukan menggunakan data dari 14 sumur yang tersebar seperti pada peta (**Gambar 4**). Data yang digunakan berupa *log* tali kawat, *Pressure Test and Fluid Analysis* (PTFA), *Leak Off Test* atau *Formation Integrity Test* (LOT atau FIT), laporan pengeboran, *mud log*, *interval velocity* dan *Ro*. Interval estimasi dilakukan pada litologi *shale* karena lebih stabil, *homogen* dan memiliki tren kompaksi. Estimasi perhitungan tekanan pori dan gradien rekah menggunakan metode Eaton (Eaton, 1975). Perhitungan dilakukan pada *log* sonik, *interval velocity*, dan resistivitas. *Overpressure* dapat dideteksi dari penyimpangan pembacaan *log* dari *Normal Compaction Trend* (NCT) (**Gambar 5**).

$$P = \sigma - (\sigma - P_n) \times \left(\frac{\Delta t_n}{\Delta t}\right)^E \quad (1)$$

$$FG = (\sigma - P) \times v / (1 - v) + P \quad (2)$$

Dimana :

σ = tekanan *overburden*

P_n = tekanan hidrostatik

P = tekanan pori

Δt_n = transit time normal

Δt = *transit time log*

E = pangkat Eaton

v = *poisson ratio*

FG = tekanan rekah

Perhitungan tekanan pori pada daerah penelitian menggunakan Eaton pangkat 3 pada sonik dan 3.4 pada *interval velocity*. Hasil estimasi tekanan pori akan divalidasi dan dikalibrasi menggunakan pengukuran langsung dan event pengeboran, sedangkan hasil estimasi gradien rekah akan divalidasi dan dikalibrasi menggunakan LOT dan ECD saat *loss* (event).

Hasil perhitungan tekanan pori dan gradien

rekah pada 14 sumur ini akan dilakukan korelasi untuk menentukan distribusi *overpressure*. Pada daerah penelitian korelasi dibagi menjadi dua yaitu, *top overpressure* dan *top hard overpressure*. Berdasarkan persebaran sumurnya, distribusi *overpressure* dapat diketahui dengan membuat dua penampang, yaitu utara-selatan (A – A') dan barat-timur (B – B') (**Gambar 4**).

Mekanisme *overpressure* secara umum dibedakan menjadi dua. Menurut Ramdhan dan O'Connor (Ramdhan and O'Connor, 2022), *overpressure* yang dihasilkan oleh mekanisme *loading* dan *unloading* harus dideteksi secara terpisah. Deteksi terlebih dahulu dilihat respon *log* tali kawat dan profil tekanan (**Gambar 5**), kecepatan sedimentasi, plot silang Dutta (Dutta, 2002), dan nilai *Ro*.

Optimasi berat lumpur dilakukan menggunakan metode statistika berdasarkan analisis tekanan pori dan gradien rekah serta identifikasi potensi bahaya pada daerah penelitian. Hal ini disebabkan tidak terdapatnya data *shear sonic* untuk membuat model geomekanik. Model geomekanik dibuat dengan mengestimasi jendela tekanan lumpur sehingga dapat ditentukan berat lumpur (Dominic et al., 2023).

Optimasi berat lumpur dilakukan pada dua *section* pengeboran yakni 12 ¼" dan 8 ½". Optimasi pada *section* 12 ¼" dilakukan dengan membuat plot silang antara *differential pressure* dan berat lumpur untuk melihat persebaran permasalahan dan menentukan *cut-off* berat lumpur yang aman untuk pengeboran. Sedangkan pada *section* 8 ½" dengan membuat plot silang antara *differential pressure* dengan *total gas* dan *connection gas*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Tekanan Pori dan Gradien Rekah

Sumur acuan pada penelitian ini adalah RZZ-044. Sumur ini dipilih berdasarkan kedalaman sumur, letak sumur, kelengkapan data, keterdapatannya tekanan abnormal (*underpressure* dan *overpressure*), dan keberagaman mekanisme *overpressure* berdasarkan penelitian Lestari (Lestari, 2023).

Sumur RZZ-044 ditajak pada tanggal 17 Februari 1977. Sumur ini berada pada puncak antiklin yang memiliki kedalaman akhir sampai 16,407' ftMD / 16,405' ftTVD. Hasil perhitungan tekanan pori (**Gambar 5**) mengindikasikan pada kedalaman 0'–9,858' ftTVD berada pada zona hidrostatik, kedalaman 9,858'–12,045' ftTVD pada zona transisi *overpressure*, dan kedalaman 12,045' ftTVD sampai akhir pada zona *hard overpressure*. Kedalaman *top overpressure* berada pada 9,858' ftTVD (*Marker F-012*)

karena tekanan pori memiliki nilai lebih besar dari hidrostatik dan divalidasi oleh data pengukuran langsung dan berat lumpur pengeboran yang dinaikan secara perlahan. Kedalaman *top hard overpressure* berada pada 12,045' ftTVD (*Marker H-013*) ditandai dengan kenaikan tekanan pori secara signifikan mulai dari 9.1 ppg hingga 14.8 ppg. Hal ini juga divalidasi oleh kemunculan *gas cut mud, gain, dan well flowing*.

Mekanisme Overpressure

Mekanisme *overpressure* dilihat dari respon *log* tali kawat (sonik dan densitas) menunjukkan adanya periode *defleksi* dari NCT dan konstan saat memasuki kedalaman 9,858' ftTVD. Tren ini menunjukkan adanya mekanisme *overpressure* berupa *loading*. Mekanisme ini didukung oleh profil tekanan yang menunjukkan tegasan efektif yang bernilai konstan pada kedalaman 9,585'–12,045' ftTVD. Sedangkan pada kedalaman 12,045' ftTVD sampai akhir terdapat tren

pembalikan pada data sonik. Tren ini menunjukkan adanya mekanisme *overpressure* berupa *unloading*. Hal ini juga selaras dengan profil tekanan yang menunjukkan nilai tekanan efektif yang semakin berkurang (**Gambar 5**).

Mekanisme *loading* divalidasi dari kecepatan sedimentasi yang tinggi pada *marker F*, menurun saat memasuki *marker G*, dan naik lagi pada *marker H* hingga *marker J* (**Tabel 1**). Mekanisme *loading* pada *marker F* ini sesuai dengan respon *log* tali kawat dan profil tekanan. Mekanisme ini berlanjut hingga *marker H-013, I, dan J* yang mana sudah memasuki zona *hard overpressure*, ini sesuai dengan Ramdhan dan Hutasoit (2022) yang menganalisis penyebab *overpressure* di Cekungan Kutai. Mereka menemukan bahwa pada kedalaman 12,000'–14,000' ftTVD atau setara dengan temperatur 140–160°C mekanisme *loading* masih merupakan salah satu penyebab *overpressure* di interval tersebut.

Tabel 1 Kecepatan Sedimentasi

Sumur	Formasi	Group	Marker	Ketebalan (ft)	Umur (MA)	Kecepatan (m/MA)
RZZ-044	Balikpapan	B	B001-B012C	764	0.40	587.62
		C	C001A-C025	1192	0.58	622.87
		D	D001-D020B	1092	0.98	338.49
		E	E001-E024A	1746	0.76	696.03
		F	F001-F021	1429	0.54	807.28
		G	G001-G009	428	0.21	630.55
		H	H001-H013	1216	0.48	767.84
		I	I015-I017	1570	0.60	794.38
		J	J017-J023	1110	0.39	870.19
		K				

Mekanisme *unloading* yang disebabkan oleh diagenesa mineral lempung teramati oleh plot silang Dutta (Dutta, 2002). Pada kedalaman $\pm 6,000'$ – $\pm 11,000'$ ftTVD, *shale* berada pada tren kompaksi smektit. Kemudian mengalami pembalikan pada kedalaman $\pm 11,000'$ – $\pm 12,000'$ ftTVD dan pada kedalaman $\pm 12,000'$ – $\pm 16,000'$ ftTVD sudah memasuki tren kompaksi illit dengan mekanisme *unloading* (**Gambar 7**).

Mekanisme *unloading* lainnya dapat diamati melalui data *Ro*. Pada saat *Ro* bernilai 0.48 – 0.59 tekanan pori berada pada zona hidrostatik. Namun saat menyentuh *Ro* 0.6 (*mature*) didapatkan adanya kenaikan tekanan pori atau memasukin zona transisi *overpressure* dengan *top overpressure* pada *Ro* 0,6 dan memiliki nilai temperatur 110°C. Transisi *overpressure* ini berlangsung hingga *top hard overpressure* yang ditandai dengan *Ro* 0,8 (*post mature*) serta memiliki nilai

temperatur 130°C (**Gambar 5**). Berdasarkan hal tersebut mengindikasikan bahwa generasi hidrokarbon merupakan salah satu mekanisme *unloading* yang berperan.

Distribusi Overpressure

Pada penampang utara–selatan, sumur tersebar mulai dari kaki, *flank*, hingga puncak antiklin. Hasil korelasi *overpressure* menunjukkan *top overpressure* berada pada rentang kedalaman 9,850' – 11,000' ftTVD dengan *marker F-011* hingga *F-015*, kecuali sumur RZZ-269 pada kedalaman 11,906' ftTVD dengan *marker F-020* karena berada jauh di kaki antiklin. *Top hard overpressure* berada pada rentang kedalaman 12,000' – 13,000' ftTVD dengan *marker H-013*.

Pada penampang barat–timur, sumur tersebar mulai dari kaki timur hingga puncak antiklin, sedangkan dari puncak antiklin ke kaki barat tidak terdapat sumur karena sudah

memasuki area kota. Hasil korelasi *overpressure* menunjukkan *top overpressure* pada rentang kedalaman 9,850' – 10,650' ftTVD dengan *marker* F-011 hingga F-013 dan *top hard overpressure* sama dengan penampang utara-selatan. Berdasarkan distribusi *overpressure* baik penampang utara-selatan dan barat-timur mengikuti pola struktur geologi yang berkembang, yakni semakin mendangkal saat mendekati puncak antiklin. (**Gambar 8**)

Optimasi Berat Lumpur

Optimasi berat lumpur dilakukan pada zona tekanan pori abnormal dan memiliki bencana pengeboran. Berikut dua *section* pengeboran yang dilakukan optimasi berat lumpur.

Section 12 ¼"

Permasalahan utama pada *section* ini adalah terdapat banyaknya *tight spot*, *stuck*, *overpull*, dan *sloughing shale*. Semua permasalahan tersebut disebabkan oleh nilai berat lumpur yang terlalu rendah, sehingga tidak dapat tidak menciptakan lingkungan baru yang melindungi lubang bor dari mata bor.

Hasil plot silang antara *differential pressure* dan berat lumpur pada sumur RZZ-234 terlihat permasalahan terjadi saat *differential pressure* bernilai 0.96-2,65 ppg dan pada sumur saat RZZ-266 saat 1.15-2,55 ppg (**Gambar 9**). Dilihat dari persebaran berat lumpurnya permasalahan pada *section* ini terjadi pada rentang berat lumpur 9–11 ppg. Penentuan nilai *cut-off* untuk optimasi berat lumpur pada *differential pressure* yang terbesar agar permasalahan ini tidak terjadi di semua sumur yang akan dilakukan pengeboran selanjutnya. Besaran optimasi berat lumpur dengan cara menaikkan berat lumpur lebih besar dari 2.65 ppg dari tekanan pori. Rekomendasi berat lumpur pada *section* ini menjadi 11-11.5 ppg dan diharapkan tidak terjadi permasalahan *tight spot*, *stuck*, dan *overpull* saat pengeboran sehingga proses menjadi lancar dan data yang dihasilkan menjadi lebih baik karena tidak terdapat *mudcake* dan *rugose*.

Section 8 ½"

Section 8 ½" berdasarkan analisis tekanan pori sudah memasuki rezim tekanan transisi *overpressure* dengan magnitudo yang tidak terlalu besar dengan nilai puncak yakni 10.6 ppg. Namun pada saat pengeboran berat lumpur yang digunakan jauh melebihi estimasi tekanan pori yakni 14.5 ppg. Peningkatan berat lumpur yang terlalu tinggi dari tekanan pori ini diperkirakan karena terdapatnya banyak permasalahan terkait *high gas* seperti *connection gas* dan *pump of gas*.

Berdasarkan analisis diketahui bahwa sumber *high gas* pada *section* ini tidak berasal dari *overpressure* dengan *magnitude* yang tinggi

tetapi berasal dari gas batugamping dan gas dari reservoir saat ekspansi ($R_o = 0.8$). Permasalahan tersebut tidak dapat diselesaikan dengan cara menaikkan berat lumpur melainkan dengan cara disirkulasi. Oleh karena itu, optimasi berat lumpur yang diperlukan pada *section* ini adalah dengan cara menurunkan nilai berat lumpur.

Plot silang antara *differential pressure* dengan *total gas* dan *connection gas* dilakukan pada sumur RZZ-242 dan 251 yang mewakili sumur baru yang memiliki nilai berat lumpur yang tinggi dan sumur RZZ-198 yang mewakili sumur lama yang memiliki nilai berat lumpur yang rendah. Teramati bawah pada rentang *differential pressure* 3.5 – 4.5 ppg memiliki *high gas* dan banyak event *connection gas* (**Gambar 10**). Sehingga optimasi berat lumpur yang dilakukan pada *section* ini dengan cara menurunkan berat lumpur dengan *differential pressure* 2.5-3.5 ppg untuk menghindari *high gas*. Jika lebih rendah dari itu masih terdapat potensi *high gas* berdasarkan sumur RZZ-198 karena memasuki fase *underbalance*. Rekomendasi berat lumpur pada *section* ini menjadi 11.5-13.5 ppg dan akan membuat pengeboran menjadi lebih aman karena berat lumpur yang terlalu tinggi dapat membentuk *induce fracture*, yang mana memfasilitasi *high gas* untuk keluar.

KESIMPULAN

Daerah penelitian dibedakan menjadi tiga rezim tekanan yakni hidrostatik (8.345 ppg), transisi *overpressure* (8.345–14.8 ppg) dan *hard overpressure* (>14.8 ppg). Keterdapatannya *top overpressure* pada rentang *marker* F-011 – F-015 dan *top hard overpressure* pada *marker* H-013. Distribusi *overpressure* ini mengikuti struktur geologi yang terbentuk pada daerah penelitian berupa antiklin sehingga *top overpressure* semakin dangkal pada bagian puncak antiklin.

Mekanisme *overpressure* yang berperan pada daerah penelitian berupa *loading* (*disequilibrium compaction*) dan *unloading* (*diagenesis mineral lempung* dan generasi hidrokarbon). Pada zona transisi *overpressure* mekanisme yang berperan hanya *loading* dan generasi hidrokarbon. Namun pada zona *hard overpressure* tepatnya kedalaman $\pm 12,000$ ftTVD *diagenesis mineral lempung* mulai berperan dan menciptakan magnitudo *overpressure* yang semakin besar. Hal ini dibuktikan dari pembelokan tren *diagenesis smektit-illit* pada plot silang Dutta.

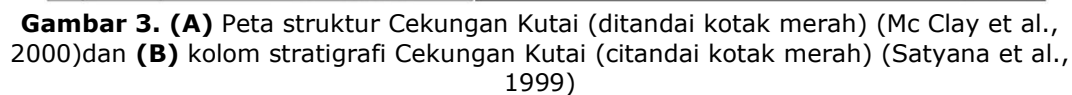
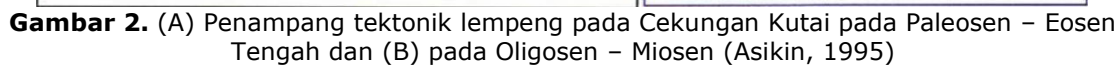
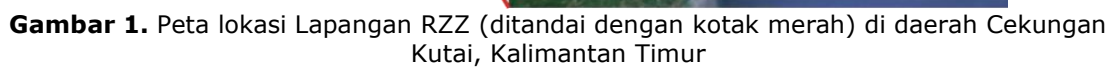
Perhitungan tekanan pori dan gradien rekah ditambah dengan data identifikasi bahaya dapat diimplikasikan untuk optimasi berat lumpur. Optimasi dilakukan pada dua *section*

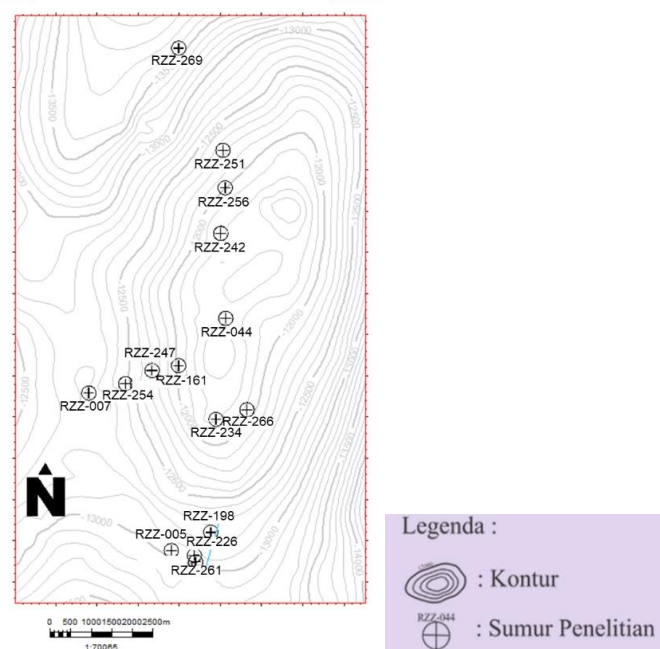
pengeboran. Optimasi pada *section* 12 ¼" dengan cara menaikkan berat lumpur menjadi 2.65 ppg dari tekanan pori untuk menanggulangi masalah *tight spot* dan *overpull*. Sedangkan optimasi pada *section* 8 ½" dengan cara menurunkan berat lumpur menjadi 2.5-3.5 ppg dari tekanan pori untuk menanggulangi masalah terkait *high gas*. Optimasi ini akan meminimalisir terjadi permasalahan saat pengeboran sehingga pengeboran menjadi lebih efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

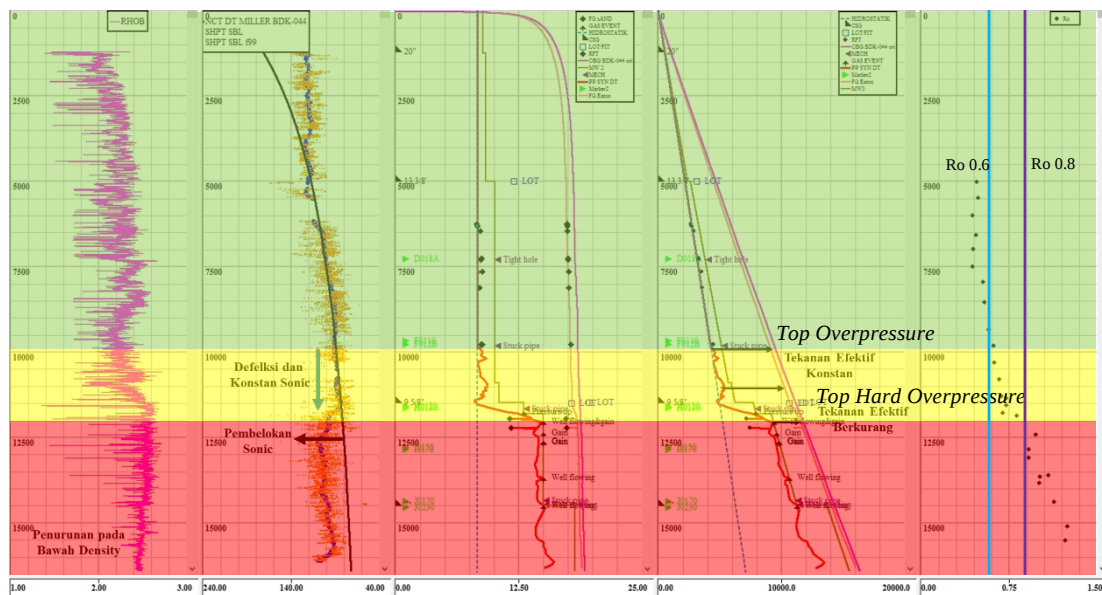
- Allen, G.P., Chambers, J.L.C., 1998. Sedimentation in the Modern and Miocene Mahakam Delta. Field Trip Guide Book, Indonesian Petroleum Association, Jakarta.
- Asikin., 1995. Evolusi tektonik di cekungan Kutai. Laporan Internal VICO Indonesia.
- Azadpour, M., Shad Manaman, N., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Sedghipour, M.-R., 2015. Pore pressure prediction and modeling using well-logging data in one of the gas fields in south of Iran. *J Pet Sci Eng* 128, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2015.02.022>
- Dominic, P.B., Sapiie, B., Gunawan, I., 2023. Model Geomekanika Satu Dimensi Dan Kestabilan Sumur Bor Di Lapangan Handil, Cekungan Kutai, Kalimantan Timur. *Bulletin of Geology*, 7(2), 1168–1183.
- Dutta, N.C., 2002. Deepwater geohazard prediction using prestack inversion of large offset *P*-wave data and rock model. *The Leading Edge* 21, 193–198. <https://doi.org/10.1190/1.1452612>
- Eaton, B.A., 1975. The Equation for Geopressure Prediction from Well Logs, in: All Days. SPE. <https://doi.org/10.2118/5544-MS>
- Hamilton, W.B., 1979. Tectonics of the Indonesian Region. US Government Printing Office.
- Lestari, D.P., 2023. Geologi dan Studi Karakteristik Distribusi Zona Overpressure di Lapangan "DEA", Formasi Balikpapan, Cekungan Kutai Bawah, Kalimantan Timur (Doctoral dissertation, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta).
- Mc Clay, K., Dooley, T., Ferguson, A., Poblet, J., 2000. Tectonic Evolution of the Sanga Sanga Block, Mahakam Delta, Kalimantan, Indonesia. *Am Assoc Pet Geol Bull* 84. <https://doi.org/10.1306/A96733EC-1738-11D7-8645000102C1865D>
- Moss, S.J., 2000. Depositional modeling and facies architecture of rift and inversion episodes in the Kutai basin, Kalimantan, Indonesia, in: *Proc. Indon. Petrol. Assoc.*, 27th Ann. Conv. Indonesian Petroleum Association (IPA), Jakarta. <https://doi.org/10.29118/IPA.1918>. G.188
- Moss, S.J., Chambers, J., Cloke, I., Satria, D., Ali, J.R., Baker, S., Milsom, J., Carter, A., 1997. New observations on the sedimentary and tectonic evolution of the Tertiary Kutai Basin, East Kalimantan. *Geol Soc Spec Publ* 126, 395–416. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.126.01.24>
- Mouchet, J.P., dan Mitchell, A., 1989. Abnormal Pressures While Drilling: Origins, Prediction, Detection, Evaluation (Vol. 2). Editions Technip.
- Nursasono, D., 2015. Overpressure di Lapangan "X", Cekungan Kutai, Kalimantan Timur: Karakteristik, Penyebab, dan Hubungan dengan Akumulasi Hidrokarbon. Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
- Ramadhan, A.M., Goult, N.R., 2010. Overpressure Generating Mechanisms in the Peciko Field, Lower Kutai Basin. *Indonesia: Petroleum Geoscience*, v. 16, p. 366–376.
- Ramadhan, A.M., 2017. Overpressure in Indonesia's Sedimentary Basins. Bandung
- Ramadhan, A.M., O'Connor, S., 2022. Generation and estimation of overpressure from wireline logs using deterministic approaches in western Indonesia's Tertiary sedimentary basins. *Petroleum Geoscience* 28. <https://doi.org/10.1144/petgeo2021-062>
- Reksalegona, S.W., Hutasoit, L.M., Harsolmakso, A.H., Ramadhan, A.M., 2022. Pore pressure prediction using velocity-mean effective stress relationship in Madura Sub-basin, East Java Basin - Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 9, p.247–262. DOI: 10.17014/ijog.9.2.247–262
- 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. *J Asian Earth Sci* 17, 99–122. [https://doi.org/10.1016/S0743-9547\(98\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0743-9547(98)00059-2)
- Swarbrick, R.E., Osborne, M.J., Yardley, G.S., 2002. Comparison of overpressure magnitude resulting from the main generating mechanisms. In: Huffman AR, Bowers GL (eds) *Pressure regimes in sedimentary basins and their prediction*. AAPG Memoir 76, pp 1–12
- Suryana, E., Hutasoit, L. M., Ramadhan, A. M., Nugroho, D., 2023. Pore Pressure and Compartmentalization of Carbonate Reservoirs in Northern Madura Platform-

- East Java Basin, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 10(3).
- Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G. 1996. Soil mechanics in engineering practice, 3rd edn. Wiley, Hoboken
- Tingay, M.R.P., 2004. In-situ Stress and Overpressures of Brunei Darussalam [Disertasi. Tidak dipublikasikan] Adelaide: University of Adelaide. 271 p.
- Tribuana, I.Y., Mulyadi, U., Ramdhan, A.M., Rustam, A.H., 2018. Pore Pressure Estimation in Hard Unloading-Overpressure Zone Using Single Compaction Equation, Case Study : Lower Kutai Basin. *Scientific Contributions Oil and Gas* 39, 77–90. <https://doi.org/10.29017/SCOG.39.2.105>
- Tribuana, I. Y., Nursasono, D., Kurniawan, A., Apranda, Y., Ihsandani, H., Supriady., 2022. Onshore Kutai Basin Pore Pressure Synthesis and Hydrocarbon Accumulation. *Indonesia Petroleum Association*
- Van De Weerd, A.A., Armin, R.A., 1992. Origin and Evolution of the Tertiary Hydrocarbon-Bearing Basins in Kalimantan (Borneo), Indonesia (1). *Am Assoc Pet Geol Bull* 76. <https://doi.org/10.1306/BDFF8ACE-1718-11D7-8645000102C1865D>
- Zhang, J., 2011. Pore pressure prediction from well logs: Methods, modifications, and new approaches. *Earth Sci Rev* 108, 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.06.001>

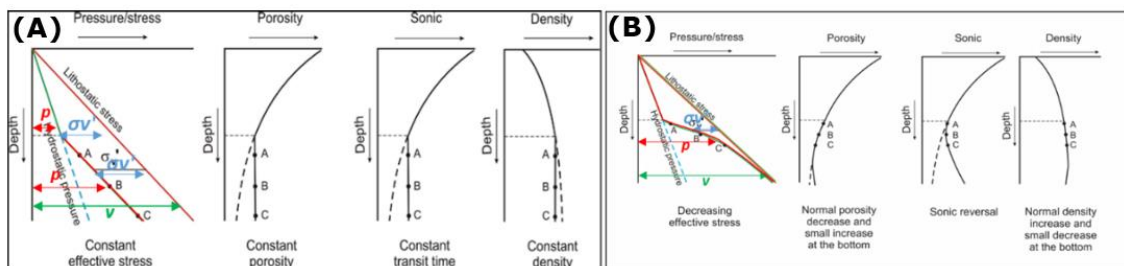




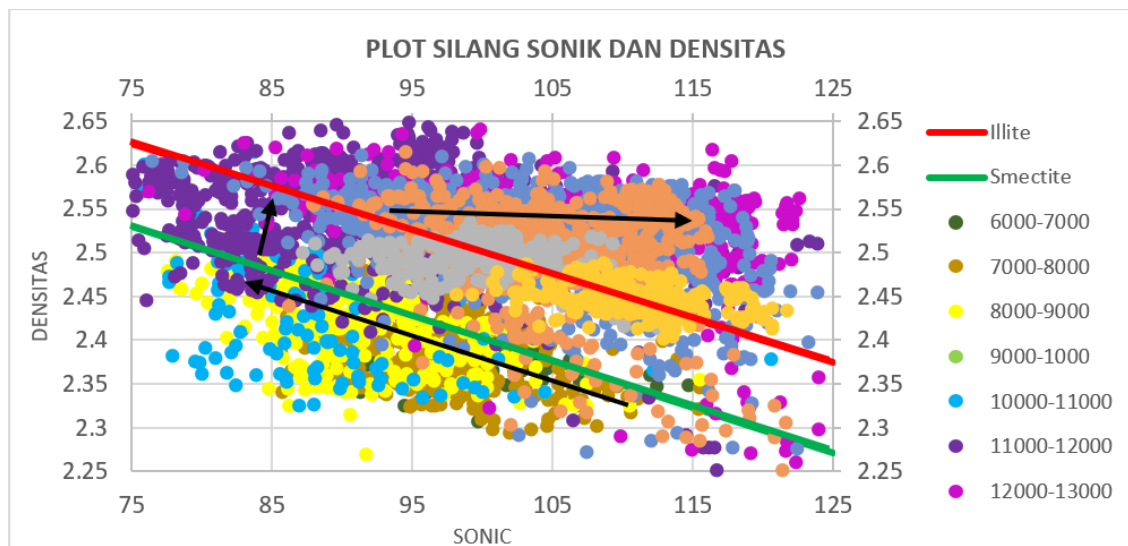
Gambar 4. Lokasi sumur – sumur penelitian pada Lapangan RZZ dengan simbol “lingkaran-tambah” sebagai penanda sumur



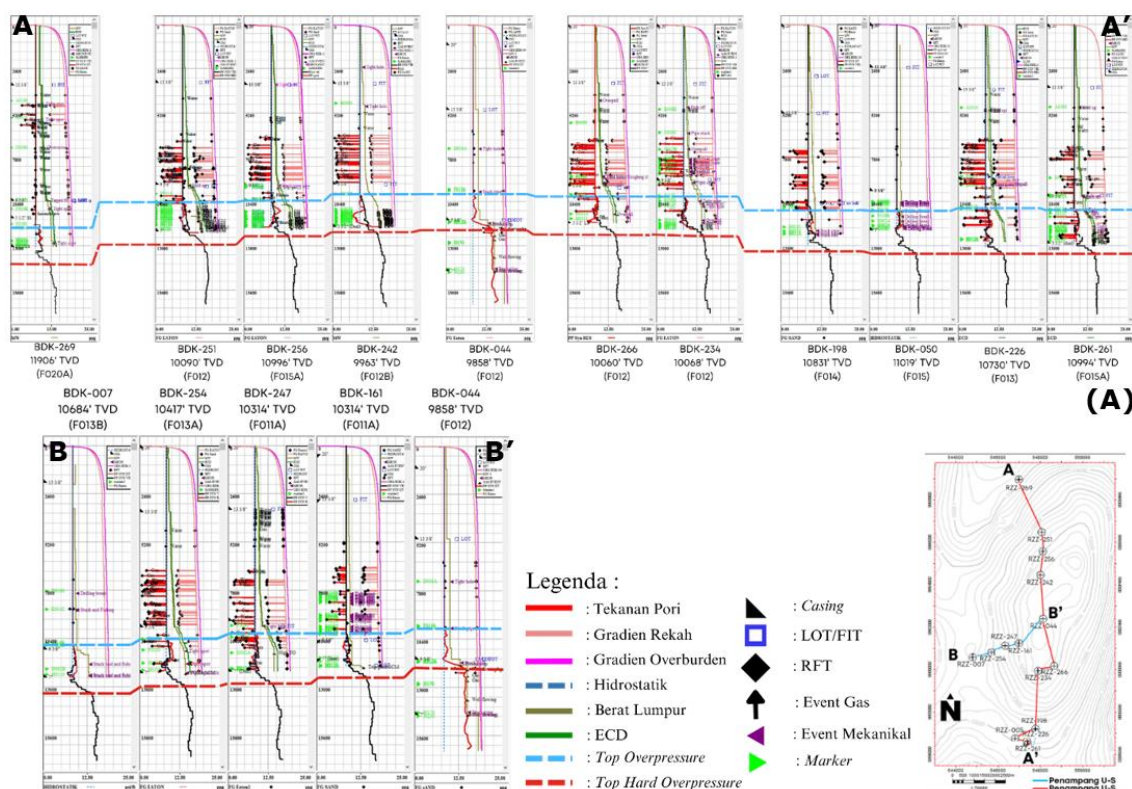
Gambar 5. Analisis tekanan pori dan gradien rekah sumur acuan RZZ-044, terdapat *log* densitas, sonik, profil tekanan dalam satuan ppg, dan satuan psi, serta R_o . *Overpressure* mulai teramati pada kedalaman 12,045' ftTVD.



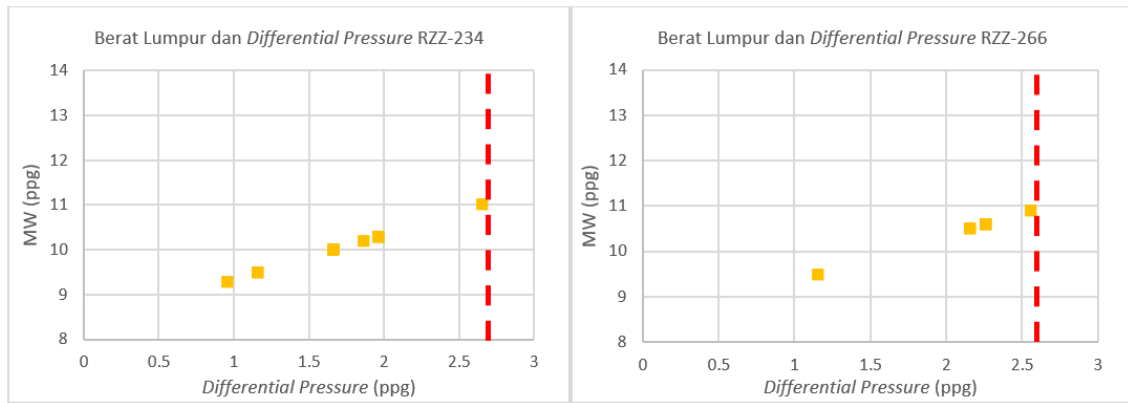
Gambar 6. (A) Respon log tali kawat dan profil tekanan terhadap overpressure mekanisme loading, dan (B) mekanisme unloading (Ramadhan, 2010).



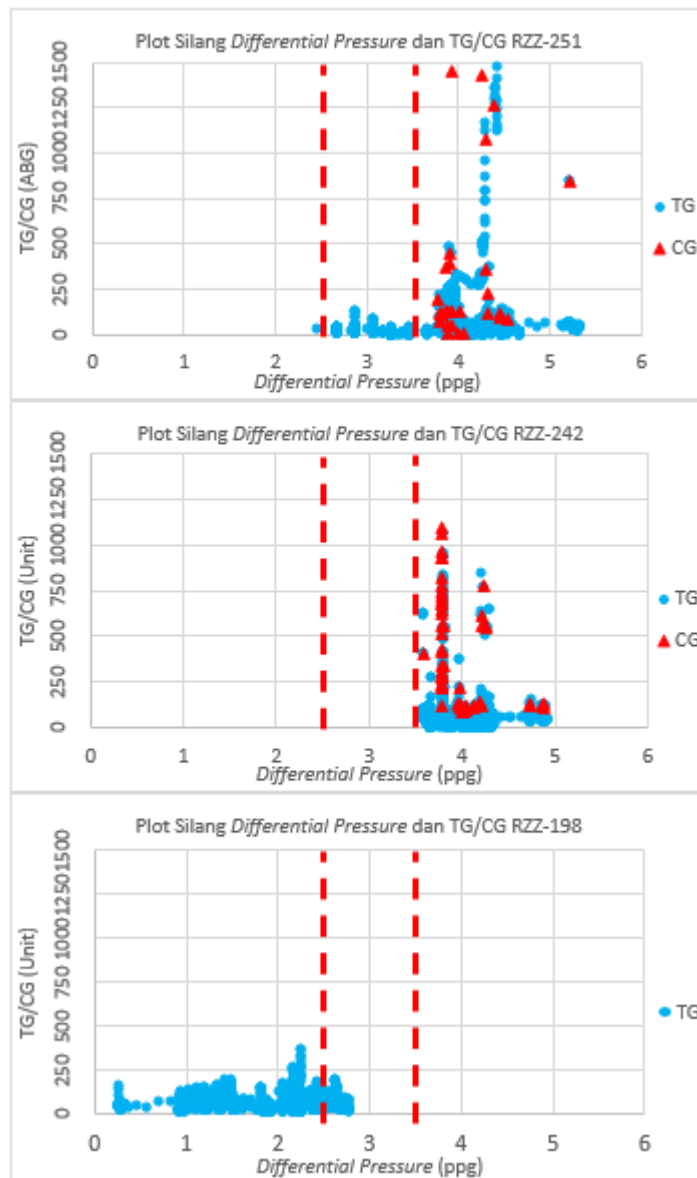
Gambar 7. Plot silang sonik (sumbu x) dan densitas (sumbu y) sumur RZZ-044, dimana garis merah dan hijau menunjukkan tren smektit dan illit, lingkaran sebagai representatif kedalaman, dan panah hitam sebagai penunjuk tren diagenesa pada daerah penelitian. Data yang terdapat mekanisme unloading dimulai dari kedalaman 12,000' ft TVD ditandai dengan pembelokan panah hitam



Gambar 8. (A) Distribusi *overpressure* pada penampang utara-selatan (A – A') dan **(B)** penampang barat-timur (B – B'). Korelasi *top overpressure* mengikuti struktur geologi yang berkembang yakni antiklin berdasarkan peta struktur, semakin mendangkal mendekati puncak antiklin



Gambar 9. Plot silang *differential pressure* (sumbu x) dan lumpur pengeboran (sumbu y) pada sumur RZZ-234 (kanan) dan RZZ-266 (kiri), dimana kotak kuning sebagai hasil plot silang dan garis merah nilai *cut off* untuk penentuan optimasi berat lumpur *section 12 ¼"*



Gambar 10. Plot silang *differential pressure* (sumbu x) dan total gas / connection gas (sumbu y) pada sumur dengan high gas (RZZ-242 dan RZZ-251) dan tanpa high gas (RZZ-198), dimana lingkaran biru merupakan total gas, segitiga merah connection gas, dan garis merah sebagai rentang optimasi berat lumpur yakni 2.5 3.5 ppg

