

PENDEKATAN GEOMEKANIKA DALAM ANALISIS KESTABILAN LUBANG BOR DI LAPANGAN X

Jekky L B Sagala¹⁾

¹⁾Jurusan Magister Teknik Perminyakan Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi
Universitas Trisakti
Corresponding Author : jekkysagala87@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan kestabilan lubang bor akan mengakibatkan meningkatnya biaya pengeboran dan berdampak pada jadwal pengeboran. Kestabilan lubang bor dipengaruhi faktor yang tidak dapat dikendalikan seperti tekanan-in-situ, tekanan pori, kekuatan batuan, serta faktor yang bisa dioptimalkan seperti arah sumur pemboran dan berat jenis lumpur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi tekanan pori, tegangan in-situ dan kekuatan batuan untuk rekomendasi rentang berat jenis lumpur pemboran berdasarkan atas nilai tekanan pori dan tekanan rekah dan arah pemboran sumur-sumur rencana berdasarkan atas kondisi struktur geologi. Pendekatan secara geomekanika dilakukan terhadap 5 sumur yang telah dilakukan pengeboran. Data sekunder berupa log sumur dan data geologi dikumpulkan dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan parameter geomekanika yaitu tekanan pori, tekanan rekah, tekanan vertikal, tekanan horizontal dan kekuatan batuan. Kemudian dilakukan analisis tekanan sumur, analisis tekanan lumpur, analisis kekuatan batuan dan analisis struktur. Hasil penelitian ditemukan estimasi pore pressure yang menunjukkan adanya tekanan subnormal pada kedalaman sekitar 5000-7000 feet yang mungkin disebabkan oleh pergantian Formasi Cibulakan ke Formasi Baturaja. Selain itu Formasi Talang Akar merupakan formasi dengan tekanan pori paling tinggi. Rekomendasi rentang berat jenis lumpur akan stabil pada 8,5 – 9,5 ppg untuk Formasi Cisubuh, Parigi, Cibulakan dan Batu Raja. Sedangkan untuk Formasi Talang Akar 9,5-10,5 ppg. Kekuatan batuan menunjukkan bahwa kekuatan batuan berkisar dari yang lemah sampai yang sangat kuat. Konfigurasi parameter geomekanik menunjukkan bahwa fault yang terbentuk bersifat transisi antara strike-slip fault ke normal fault ($Sh_{maks} \approx S_v > Sh_{min}$). Sedangkan untuk Sh_{maks} azimuth, berdasarkan data world stress map perkiraan arah Sh_{maks} adalah $025 \pm 20^\circ$ N. Prediksi kestabilan lubang bor dipengaruhi oleh Sh_{maks} yang berarah timur laut-barat daya. Apabila dilakukan pemboran lebih lanjut maka vertical drilling diperkirakan cukup stabil. Namun, directional dan horizontal drilling dapat dilakukan dengan stabil apabila memotong arah Sh_{maks} dan Sh_{min} .

Kata Kunci: *geomekanika, kestabilan lubang bor, berat jenis lumpur, tegangan in-situ.*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Menjaga lubang bor tetap stabil adalah salah satu pekerjaan penting di dalam industri minyak dan gas untuk mengurangi waktu tidak produktif selama pengeboran. Kestabilan lubang bor dipengaruhi oleh dua faktor. Satu faktor

adalah yang tidak dapat kita kendalikan seperti tekanan-in-situ, tekanan pori, kekuatan batuan. Dan faktor lainnya yang bisa kita optimalkan dan rancang untuk mengurangi permasalahan geomekanika terkait permasalahan kestabilan seperti well trajectory, casing seats, berat jenis lumpur dan drilling practice (Xi dkk, 2015). Tekanan pori formasi adalah properti batuan yang sangat penting untuk operasi pengeboran yang aman dan pemodelan reservoir yang efisien. Estimasi tekanan pori yang akurat memungkinkan untuk menentukan tegangan in-situ yang efektif, memilih berat jenis lumpur yang tepat, mengoptimalkan casing program sehingga memungkinkan untuk mengoptimalkan struktur sumur dan mengurangi permasalahan stabilitas lubang bor. Di sisi lain, ketidakakuratan dalam prediksi tekanan pori meningkatkan risiko banyak insiden pengeboran seperti ketidakstabilan lubang bor, kick, loss circulation dan pipe stuck (Zhang, 2011).

Prediksi kondisi tekanan pori, berat jenis lumpur pemboran, serta arah sumur pemboran yang tepat dapat ditentukan dengan pendekatan geomekanika, meliputi penentuan tegangan vertikal (S_v), tegangan horisontal minimum (S_{hmin}), tekanan pori (P_p), tegangan horisontal maksimum (S_{hmax}), kekuatan batuan serta struktur geologi yang terdapat pada batuan. Untuk memudahkan pencarian data geologi bawah permukaan dapat dilakukan dengan menggunakan data wireline log, cutting dan sidewall core guna mengetahui hasil pengukuran sifat fisika batuan pada pemboran.

Kondisi tekanan pori abnormal/subnormal terjadi saat gradien tekanan pori menyimpang dari gradien tekanan hidrostatik (0.433 psi/ft). Oleh karena itu, penting untuk menentukan gradien dari tekanan pori guna mengetahui kondisi tekanan pori (normal ataukah abnormal/subnormal).

Penentuan berat jenis lumpur pemboran yang tepat dapat dilakukan dengan memperhatikan kondisi tekanan pori dan tekanan rekah (lebih besar dari tekanan pori dan lebih kecil dari tekanan rekah). Berat jenis lumpur pemboran yang lebih kecil dari tekanan pori dapat menyebabkan terjadinya kick, sedangkan berat jenis lumpur pemboran yang lebih besar dari tekanan rekah dapat menyebabkan terjadinya lost circulation (Shuling dkk., 2012).

Penentuan arah sumur pemboran (horisontal, vertikal atau direksional) yang paling aman dilakukan guna mencegah terjadinya kick dan lost circulation. Arah sumur pemboran ditentukan berdasarkan atas analisis struktur geologi. Analisis struktur geologi dilakukan dengan cara memperhatikan rekahan pada formation microimager (FMI) guna mengetahui arah dari S_{hmin} dan S_{hmax} . Selain itu, dilakukan pula analisis struktur berdasarkan atas konsep Anderson (1905) dengan memperhatikan nilai dari S_v , S_{hmin} serta S_{hmax} .

Penelitian ini dilakukan dilapangan X dimana saat ini total sumur produksi dilapangan X adalah 26 sumur dan untuk sumur Shut In adalah 35 sumur, sedangkan untuk sumur yang sudah di Plug & Abandon sebanyak 3 sumur. Analisis dilakukan terhadap 5 sumur yang telah dibor untuk mendapatkan parameter geomekanik berdasarkan data log sumur. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai rekomendasi dalam penentuan rentang berat jenis lumpur pemboran, kondisi tekanan pori abnormal/subnormal serta arah sumur pemboran yang paling aman dan tepat pada kegiatan produksi minyak dan gas bumi pada sumur-sumur rencana yang terdapat pada daerah penelitian dimasa yang akan datang.

1.2. Tujuan Penelitian

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi tekanan pori, tegangan in-situ dan kekuatan batuan dengan pendekatan geomekanika pada daerah penelitian?
2. Bagaimana rentang berat jenis lumpur pemboran berdasarkan atas nilai tekanan pori dan tekanan rekah?
3. Bagaimana arah pemboran sumur-sumur rencana berdasarkan atas kondisi struktur geologi?

II. STUDI PUSTAKA

Studi pustaka untuk penentuan parameter geomekanika untuk nilai tekanan pori dan tiga tekanan utama, yaitu tekanan vertikal, tekanan horizontal minimum, dan tekanan horizontal maksimum.

1. Tekanan Normal

Tekanan hidrostatik normal pada bawah permukaan diakibatkan oleh akumulasi berat di atasnya, dan dihitung dengan persamaan :

$$T_n = \rho \times g z \quad [1]$$

2. Tekanan Pori

Tekanan pori (P_p) diestimasi menggunakan metode Eaton (1975) yang menggunakan kombinasi antara Tekanan vertikal yang dikurangi dengan tekanan normal lalu dikalikan dengan nilai sonic terkonfigurasi.

$$P_p = S_v - \left\{ (S_v - T_n) \times \left[\left(\frac{D_t}{D_{tNormal}} \right)^n \right] \right\} \quad [2]$$

3 Tekanan Vertikal.

Tekanan vertikal (S_v) diestimasi untuk mengetahui tekanan pembebanan (overburden pressure) yang terdapat pada batuan. Metode estimasi yang digunakan mengacu pada Zoback (2007).

$$S_{hmin} = \left(\frac{v}{1-v} \right) (S_v - P_p) + P_p$$

4. Tekanan Horizontal

Tekanan horizontal minimum ($shmin$) didapatkan dengan menggunakan metode estimasi eaton (1975).

$$S_{hmin} = \left(\frac{v}{1-v} \right) (S_v - P_p) + P_p \quad [4]$$

Dalam perhitungan $Shmin$ tersebut dibutuhkan nilai Rasio Poisson. Dimana Rasio Poisson adalah salah satu sifat mekanik utama yang digunakan untuk memperkirakan tegangan lubang bor. Untuk memperkirakan rasio poisson dari data log sumur menggunakan persamaan seperti berikut:

$$v = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad [5]$$

Sementara dalam perhitungan Rasio Poisson dibutuhkan nilai kecepatan P-Wave dan S-Wave yang ditentukan dengan dengan persamaan:

$$V_p = DT^{-1} \quad [6]$$

$$V_s = 0.8V_p - 0.86 \quad [7]$$

Tekanan horizontal maksimum ($shmaks$) juga menggunakan metode estimasi

Zoback (2007) yang menggunakan variabel tekanan horizontal minimum dan tekanan pori. Metode Zoback (2007) digunakan karena menunjukkan hasil estimasi terdekat dengan menyesuaikan keterbatasan data yang ada. Tekanan horizontal maksimum dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Sh_{maks} = 3Sh_{min} - 2P_p \quad [8]$$

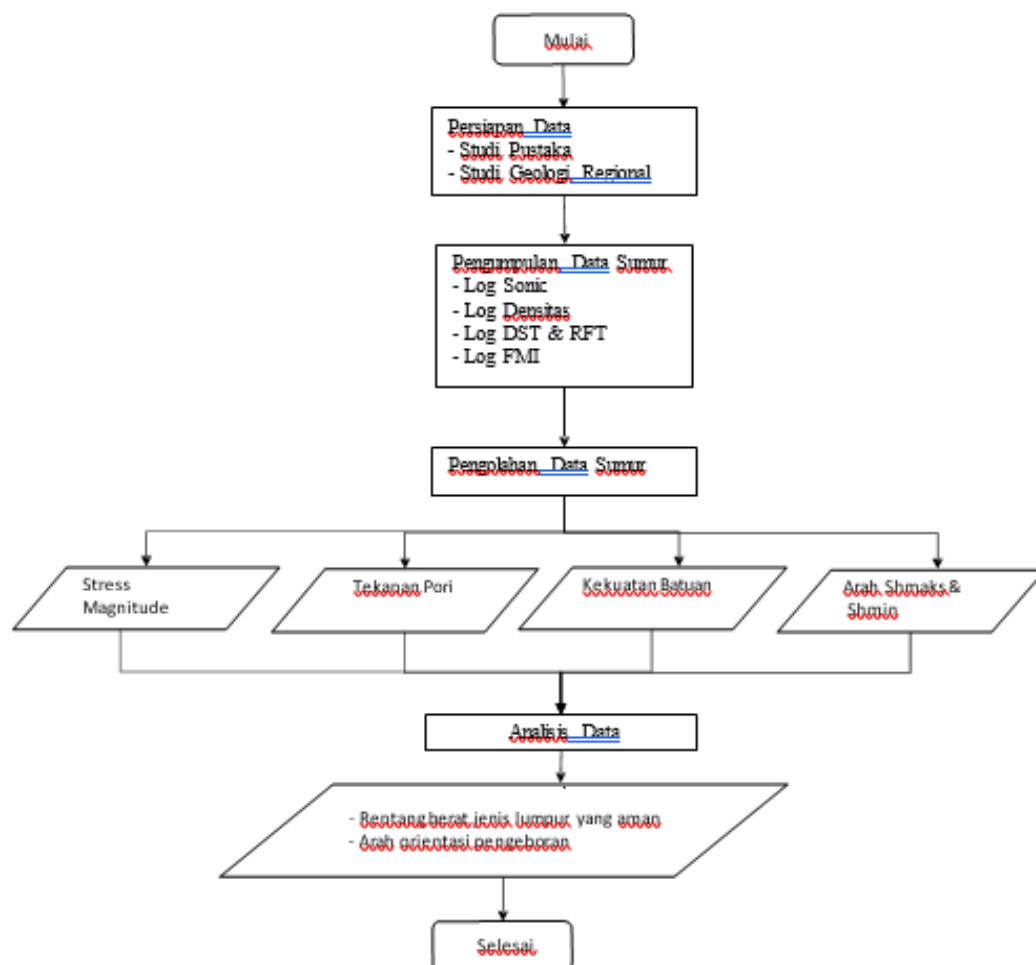
5. Kekuatan Batuan

Penentuan kekuatan batuan dilakukan dengan menggunakan rumus empirik, hal ini dikarenakan tidak adanya data inti batuan. Penentuan nilai UCS dapat dihitung dengan menggunakan :

$$UCS = 1.35 \left(\frac{304.8}{D_t} \right)^{2.6} \quad [9]$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif analisis dengan menggunakan data sekunder yaitu log sumur. Data yang terkumpul kemudian diolah secara kualitatif dan kuantitatif untuk mendapatkan parameter geomekanika yang dibutuhkan untuk melakukan analisis.

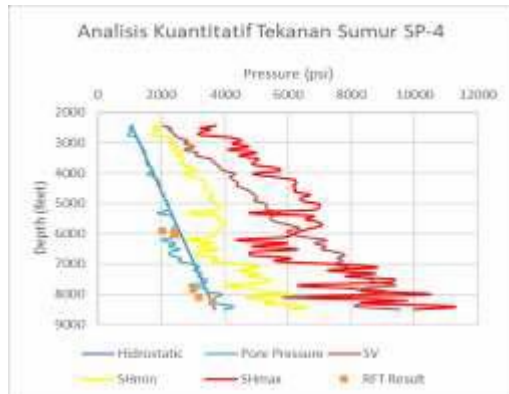


Gambar 1 Diagram alir penelitian

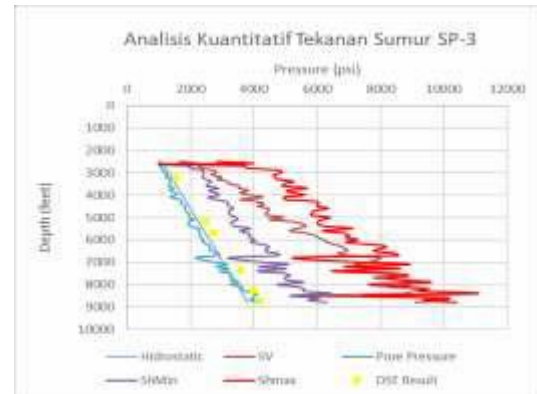
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data sumur dapat ditentukan parameter geomekanika untuk selanjutnya dilakukan analisis yaitu analisis tekanan sumur, analisis tekanan lumpur, analisis kekuatan batuan, dan analisis struktur.

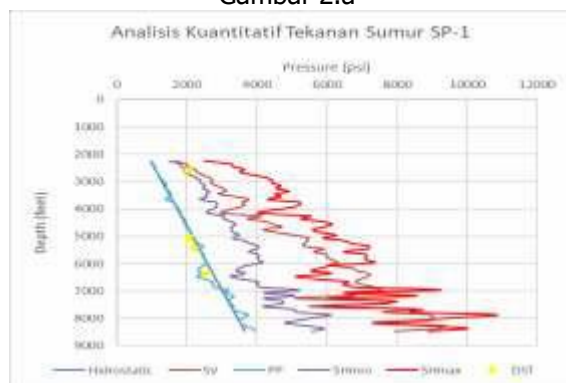
4.1 Analisis Tekanan Sumur



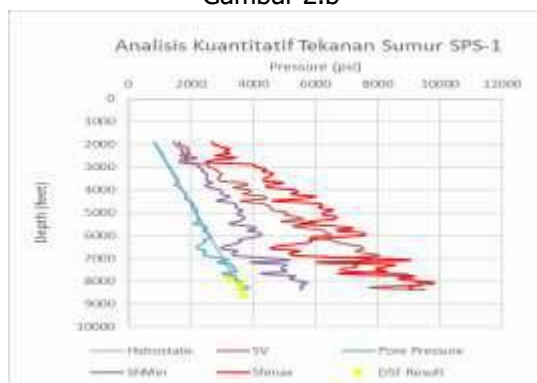
Gambar 2.a



Gambar 2.b



Gambar 2.c



Gambar 2.d

Tekanan pori (P_p) yang didapatkan pada sumur SP-4 (Gambar 2.a) menunjukkan adanya tekanan subnormal yang terjadi pada interval 5314 - 6914 feet. Tekanan pori pada kedalaman 5314 – 6914 feet sebesar 1887 – 2562 psi. Tekanan subnormal/abnormal apabila pada kurva tekanan pori terhadap tekanan normal (T_n) terjadi defleksi menjauhi tekanan normal. Estimasi tekanan pori ini didukung oleh data RFT yang terbaca 2049 psi (5910 feet), 2423 psi (5970 feet), 2430 psi (6038 feet), 3022 psi (7848 feet), 3195 psi (8100 feet), 3602 psi (8250 feet).

Tekanan pori yang didapatkan pada sumur SP-3 (Gambar 2.b) menunjukkan adanya tekanan abnormal yang terjadi pada interval 6790-6890 feet formasi Baturaja. Tekanan abnormal didefinisikan apabila pada kurva tekanan pori terhadap tekanan normal terjadi defleksi menjauhi tekanan normal. Estimasi tekanan pori pada kedalaman 6790 – 6890 feet sebesar 2183 – 2387 psi. Estimasi tekanan pori ini didukung oleh data DST yang terbaca 1564 psi (3195 feet), 2490 psi (5165 feet), 2728 psi (5656 feet), 3576 psi (7350 feet), 3995 psi (8272 feet), 4188 psi (8716 feet). Tekanan pori (P_p) yang didapatkan pada sumur SP-1 (Gambar 2.c) menunjukkan tidak terlihat adanya tekanan abnormal yang terjadi pada interval ini. Tekanan abnormal didefinisikan apabila pada kurva tekanan pori

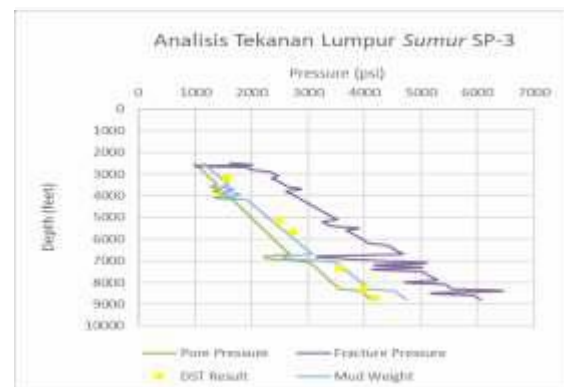
terhadap tekanan normal (T_n) terjadi defleksi menjauhi tekanan normal. Estimasi tekanan pori ini didukung oleh data DST yang terbaca 2078 psi (2596 feet), 2060 psi (5070 feet), 2222 psi (5445 feet), 2554 psi (6356 feet).

Tekanan pori (PP) yang didapatkan pada sumur SPS-1 (Gambar 2.d) menunjukkan adanya tekanan abnormal yang terjadi pada interval 6181 - 6881 feet. Tekanan abnormal didefinisikan apabila pada kurva tekanan pori terhadap tekanan normal (T_n) terjadi defleksi menjauhi tekanan normal. Tekanan pori pada kedalaman 6181 - 6881 feet sebesar 2430 - 2421 psi. Estimasi tekanan pori ini didukung oleh data DST yang terbaca 3265 psi (7896 feet), 3580 psi (8267 feet), 3682 psi (8610 feet). Berdasarkan hasil Analisis tekanan yang dilakukan pada sumur SP-3, SP-1, SP-4 dan SPS-1 ditemukan estimasi Pore Pressure yang menunjukkan adanya tekanan abnormal pada kedalaman sekitar 5000-7000 feet yang mungkin disebabkan oleh pergantian Formasi Cibulakan ke Formasi Baturaja. Formasi Talang akar merupakan formasi dengan tekanan pori yang paling tinggi.

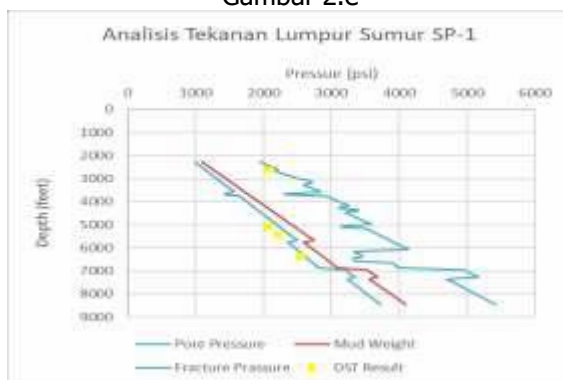
4.2 Analisis Tekanan Lumpur



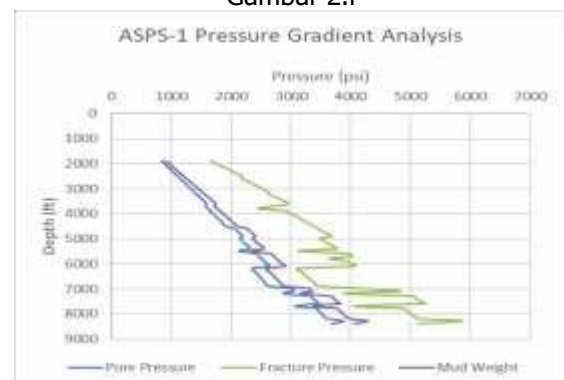
Gambar 2.e



Gambar 2.f



Gambar 2.g



Gambar 2.h

Prediksi berat lumpur pada sumur SP-4 (Gambar 2.e) adalah sebesar 9.4 PPG pada interval 2414-5514 feet formasi Cisubuh, Parigi dan Cibulakan. Kemudian prediksi berat lumpur sebesar 8.8 PPG pada interval 5514-7114 feet formasi Cibulakan dan Baturaja. Kemudian prediksi berat lumpur sebesar 9.6-10.4 PPG pada interval 7114-8514 feet formasi Talang Akar.

Prediksi berat lumpur pada sumur SP-3 (Gambar 2.f) adalah sebesar 8.5 PPG pada interval 2490-3590 feet formasi Cisubuh, Parigi dan Upper

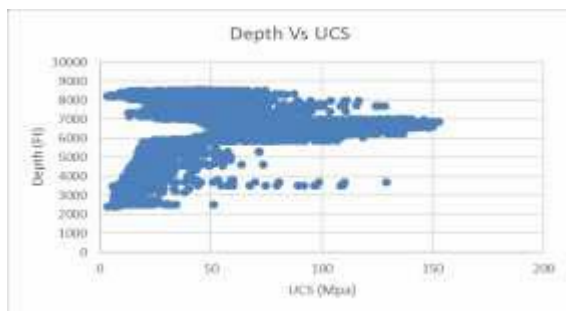
Cibulakan. Kemudian prediksi berat lumpur sebesar 7 - 8.4 PPG pada interval 3590-4190 feet formasi Mass2e Cibulakan. Kemudian prediksi berat lumpur sebesar 8.5 PPG pada interval 4190-6690 feet formasi Mass2e Cibulakan dan Baturaja. Kemudian prediksi berat lumpur sebesar 7 PPG pada interval 6790-6990 feet formasi Baturaja. Kemudian prediksi berat lumpur sebesar 9.1 PPG pada interval 6990-8390 feet formasi Baturaja dan Talang Akar. Kemudian prediksi berat lumpur sebesar 9.9 PPG pada interval 8390- 8785 feet formasi Talang Akar.

Prediksi berat lumpur pada sumur SP-1 (Gambar 2.g) adalah sebesar 9.5 PPG pada interval 2259-5759 feet formasi Parigi dan Cibulakan. Kemudian prediksi berat lumpur sebesar 8.7 PPG pada interval 5759-6959 feet formasi Cibulakan dan Baturaja. Kemudian prediksi berat lumpur sebesar 9.8 PPG pada interval 6959-7359 feet formasi Talang Akar. Kemudian prediksi berat lumpur sebesar 9.4 PPG pada interval 7359-8459 feet formasi Talang Akar.

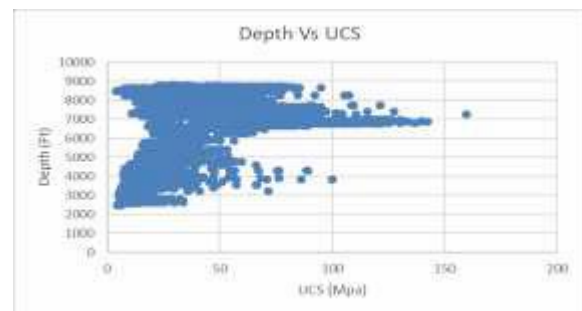
Prediksi berat lumpur pada sumur SPS-1 (Gambar 2.h) adalah sebesar 9.4-9.9 PPG pada interval 1881-4581 feet formasi Cisubuh, Parigi dan Cibulakan. Kemudian prediksi berat lumpur sebesar 9-10.5 PPG pada interval 4518-8381 feet formasi Cibulakan, Baturaja dan Talang Akar.

4.3 Analisis Kekuatan Batuan

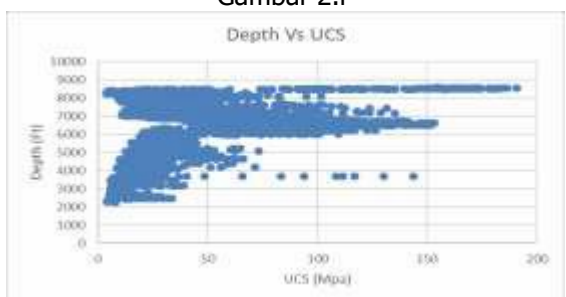
Berdasarkan atas klasifikasi Marinos dan Hoek (2001), nilai UCS sumur SP-4 (Gambar 2.i) berkisar antara 3,5 hingga 152 MPa. Dimana kekuatan batuan berkisar dari lemah hingga sangat kuat. Nilai UCS sumur SP-3 (Gambar 2.j) berkisar antara 4 hingga 159 MPa. Kekuatan batuan berkisar dari lemah hingga sangat kuat. Nilai UCS sumur SP-1 (Gambar 2.k) berkisar antara 3,8 hingga 255 MPa. Kekuatan batuan berkisar dari lemah hingga sangat amat kuat. Nilai UCS sumur SPS-1 (Gambar 2.l) berkisar antara 4 hingga 155 MPa. Kekuatan batuan berkisar dari lemah hingga sangat kuat.



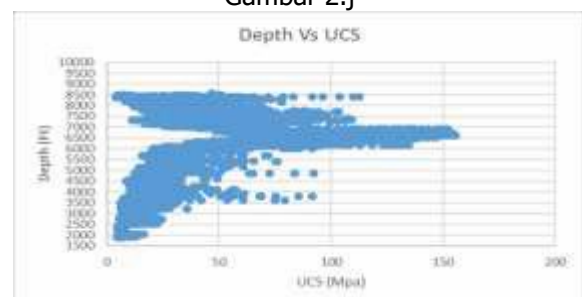
Gambar 2.i



Gambar 2.j

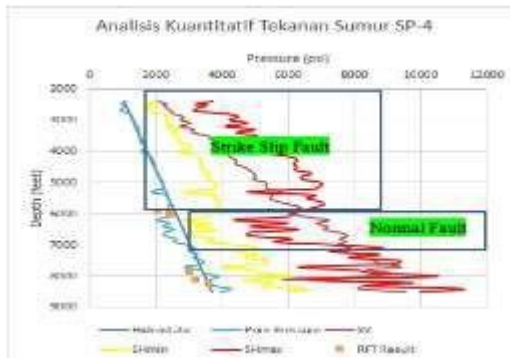


Gambar 2.k

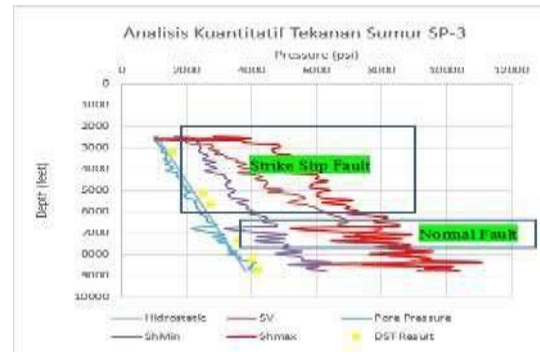


Gambar 2.l

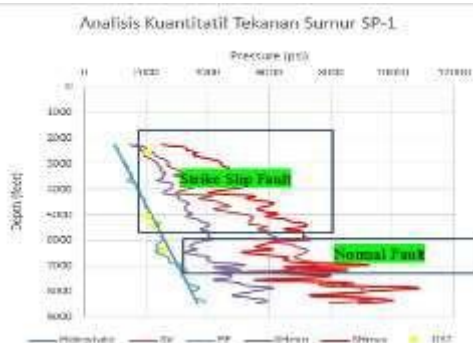
4.4 Analisis Struktur



Gambar 2.m



Gambar 2.n



Gambar 2.o



Gambar 2.p

Fault yang terbentuk berdasarkan konfigurasi tekanan utama untuk sumur SP-4, SP-3, SP-1, SPS-1 (Lampiran D) tampaknya bersifat transisi antara strike-slip ke normal fault ($Sh_{maks} \approx S_v > Sh_{min}$). Data log FMI dari SPU-1 tidak memiliki kualitas yang cukup untuk menyimpulkan secara konklusif apakah ada atau tidak adanya breakout (BO) ataupun drilling induced fracture (DITF). Data gambar dari sumur SPU-1 memberikan informasi yang sangat baik tentang ukuran dan kondisi lubang bor. Lubang sumur menunjukkan ukuran yang lebih besar dari semestinya, mengalami pembesaran di hampir semua rentang kedalaman. Kualitas gambar tidak memadai untuk secara meyakinkan membuktikan atau membantah ada atau tidak adanya pengeboran yang disebabkan oleh breakout atau drilling induced fracture. Dikarenakan analisis log FMI pada sumur SPU-1 tidak menunjukkan adanya gejala struktur. Untuk itu perlu dipertimbangkan cara lain untuk mencari Sh_{maks} azimuth. Berdasarkan data world stress map (Lampiran D) dapat diperkirakan arah dari Sh_{maks} azimuth. Perkiraan arah Sh_{maks} dari ~ 010 hingga $040^\circ N$ ($025^\circ N$) disarankan dari data World Stress Map di daerah Jawa dan Sumatra. Dikarenakan tidak adanya bukti langsung dari Log FMI, maka arah $025 \pm 20^\circ N$ diadopsi untuk model geomekanik.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan pada Lapangan X, diperoleh beberapa kesimpulan. Kesimpulan tersebut antara lain :

1. Dari hasil analisis tekanan sumur, estimasi tekanan pori menunjukkan

adanya tekanan abnormal pada kedalaman sekitar 5000-7000 feet yang mungkin disebabkan oleh pergantian Formasi Cibulakan ke Formasi Baturaja. Estimasi tekanan pori yang paling tinggi ada pada Formasi Talang Akar.

2. Dari hasil analisis tekanan lumpur, prediksi berat jenis lumpur pada rentang 8.5 ppg hingga 9.5 ppg akan stabil pada Formasi Cisubuh, Formasi Parigi, Formasi Baturaja dan Cibulakan. Kemudian untuk formasi Talang Akar, prediksi berat lumpur akan berkisar pada rentang 9.4 ppg- 10.5 ppg.
3. Dari hasil analisis struktur geomekanika, konfigurasi parameter geomekanik seperti S_v , Sh_{maks} , dan Sh_{min} menunjukkan bahwa fault yang terbentuk tampaknya bersifat transisi antara strike-slip fault ke normal fault ($Sh_{maks} \approx S_v > Sh_{min}$). Dikarenakan data Log FMI tidak menunjukkan gejala struktur, perkiraan untuk Sh_{maks} azimuth adalah $025 \pm 20^\circ$ N berdasarkan saran dari data world stress map.
4. Apabila dilakukan pemboran lebih lanjut maka vertical drilling diperkirakan cukup stabil. Namun, directional drilling dan horizontal drilling dapat dilakukan dengan stabil apabila memotong arah Sh_{maks} dan Sh_{min} .

DAFTAR PUSTAKA

- Heidbach, O., Rajabi, M., Reiter, K., Ziegler, M. (2016): World Stress Map 2016, GFZ Data Service, doi:10.5880/WSM.2016.002.
- Hoek, E., Marinos, P. (2001) Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses
such as Flysch. Bull. Engg. Geol. Env. 60, 85-92.
- Guifen Xi, Nabila Labbasen, Bader Saif Al Badi, Thierry Francis Lecoq, Hasan Al Hussein Afifi, Abdul Mohsen., 2015, Mud Weight Optimization to reduce Non Productive Time While Drilling Through Shale/Carbonate Sequence of UAE. SPE-177851-MS.
- Shuling, L., 2012, Pore Pressure and Wellbore-Stability Prediction to Increase Drilling Efficiency, Landmark Halliburton: tidak dipublikasikan.
- Zoback, Mark D. 2007 Geomechanics Reservoir. Cambridge: University Press.