

Analisa Geopressure Dengan Metode Eathon Pada Sumur Gas Lapangan Sumatera Utara Untuk Evaluasi *Problem Partial Loss* Pada Trayek 8 1/2"

Ade Indra Gurada Capah^(1.a), Muhammad Akbar Najib H⁽²⁾ dan Reinaldi Juniarto⁽³⁾

⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾Fakultas Teknologi Mineral, UPN"Veteran" Yogyakarta, DIY, Indonesia, 55283
Email : ^{a)}indracapah15@gmail.com

Diterima (25 September 2020), Direvisi (28 Desember 2020)

Abstract. The drilling of well "X" experienced a delay in reaching the target due to obstacles. Most of the non-productive time is caused by problems of well instability such as partial loss. Well instability occurs when the mudweight used does not match the geopressure model of the well so that it is not optimal. The use of mudweight in well "X" is based on the geopressure model without a safe mud window approach from the nearest well where the well is located far enough away that it is less relevant to be used as a reference. Mudweights used are 14,5 – 14,9 ppg on the trajectory hole 8 1/2 ". Geopressure analysis is carried out using the help of Drillwork Predict Software. Geopressure components to be estimated are overburden pressure, pore pressure, fracture pressure, horizontal stresses and collapse pressure. After analyzing the geopressure model, the safe mud window can be identified, and analysis of the drilling problems that occur by examining the actual mudweight usage data and formation lithology data can be done. The optimal mud weight to minimize well instability must be greater than collapse pressure but not more than the minimum in situ stress. From the results of the geopressure analysis carried out, it can be concluded that there is overpressure at a depth of 890 m / 1279,5 ft due to disequilibrium compaction. On trajectory hole 8 1 / 2 "the mud weight used is too large, causing partial loss. Based on the safe mud window obtained from geopressure analysis of well X, the optimal mud weight design is 14,67 – 15,4 ppg for drilling on the trajectory hole 8 1/2 ".

Keywords: Non Productive Time, Geopressure, Safe Mud Window

Abstrak. Pemboran sumur X mengalami keterlambatan dalam mencapai target dikarenakan terjadi hambatan-hambatan. Sebagian besar *non productive time* disebabkan oleh masalah *well instability* seperti *partial loss*. *Well instability* terjadi apabila mudweight yang digunakan tidak sesuai dengan *geopressure* model sumur tersebut sehingga menjadi tidak optimal. Penggunaan *mud weight* pada sumur X didasarkan pada *geopressure* model tanpa pendekatan *safe mud window* dari sumur terdekat dimana sumur tersebut letaknya cukup jauh sehingga kurang relevan untuk digunakan sebagai acuan. *Mud weight* yang digunakan yaitu 14,5 – 14,9 ppg pada trayek 8 1/2". Analisa *geopressure* dilakukan dengan menggunakan bantuan Drillwork Predict Software. Komponen *geopressure* yang akan diestimasi adalah tekanan overburden, tekanan pori, tekanan rekah, *horizontal stresses* dan *collapse pressure*. Setelah dilakukan analisa *geopressure* model, maka dapat diketahui *safe mud window*, dan dapat dilakukan analisa terhadap *problem* pemboran yang terjadi dengan cara menelaah data penggunaan *mud weight* aktual dan data litologi formasi. *Mud weight* yang optimal untuk meminimalisir *well instability* harus lebih besar dari *collapse pressure* namun tidak boleh lebih dari minimum insitu stress. Dari hasil analisa *geopressure* yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa terjadi *overpressure* pada kedalaman 890 m/1279,5 ft yang disebabkan oleh disequilibrium compaction. Pada trayek 8 1/2" mud weight yang digunakan terlalu besar sehingga menyebabkan *partial loss*. Berdasarkan *safe mud window* yang diperoleh dari analisa *geopressure* sumur X desain *mud weight* yang optimal yaitu 14,67 – 15,4 ppg untuk pemboran pada trayek 8 1/2".

Kata kunci: Non Productive Time, Geopressure, Safe Mud Window

PENDAHULUAN

Dalam melaksanakan proses pemboran, perencanaan yang baik merupakan hal yang

sangat penting untuk dilakukan dalam rangka untuk meminimalisir masalah yang terjadi. Pengumpulan data dilakukan sebanyak mungkin, baik data dari hasil olah geologi dan

geofisika, maupun data data dari sumur sumur terdekat. Meskipun begitu, tetap saja sering terjadi masalah – masalah pada saat melakukan operasi pemboran, yang dapat mengganggu proses pemboran tersebut dan menimbulkan kerugian dalam berbagai aspek. Sebut saja kerugian waktu (meningkatnya *non productive time*) dan kerugian aspek keteknikan, yang pada akhirnya akan mempengaruhi aspek keekonomian. Banyak sekali faktor yang berpengaruh dalam proses pemboran, salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan suatu operasi pemboran adalah lumpur pemboran. Dimana lumpur pemboran memiliki peran yang sangat vital dalam melaksanakan proses pemboran salah satunya adalah untuk mengimbangi tekanan formasi batuan yang ditembus, sehingga perencanaannya harus disesuaikan dengan keadaan dan karakteristik tekanan bawah permukaan dari batuan yang ditembus. Selain itu juga keadaan tiap tiap sumur berbeda dan tidak selalu normal tekanan formasinya. Ada tekanan abnormal yang berpotensi menimbulkan masalah, dan adanya tekanan abnormal ini perlu diperhatikan dalam kaitannya untuk membuat perencanaan lumpur yang baik. [3]

Metode Analisa tentang tekanan bawah permukaan perlu dilakukan untuk membuat perencanaan berat lumpur yang baik. Analisa ini dapat dilakukan dengan mengolah data log yang telah dilakukan dalam suatu pemboran. Dari data log tersebut masing masing komponen tekanan bawah permukaan (*geopressure*) dapat di estimasi besarnya menggunakan persamaan persamaan yang telah dikemukakan oleh pakar pakar geomekanik. Dan dari beberapa persamaan yang telah dikemukakan memiliki perbedaan dikarenakan memang persamaan persamaan tersebut hanya cocok pada daerah atau lapangan tertentu saja sehingga harus dilakukan penyesuaian terhadap lapangan yang akan dilakukan analisa *geopressure*. Penyesuaian tersebut dapat dilihat dari keadaan *overpressure* yang terjadi di suatu sumur, sehingga dapat ditentukan persamaan dan eksponensial persamaan yang tepat untuk

digunakan dalam pelaksanaan analisa *geopressure*. [3]

Selain Lapangan “NK” terletak di Sumatera Utara. Pada Lapangan “NK” terdapat 1 sumur yaitu sumur X, dimana sumur X merupakan sumur eksplorasi dengan kedalaman akhir pemboran mencapai 3469 m TVD. Sumur X mulai ditajak pada 29 November 2017 dan diselesaikan pada tanggal 3 Mei 2018. Sumur X menembus zona gas pada kedalaman 1776 m – 2975 m pada formasi Top Gebang Sand dengan lithologi batu pasir , dan juga menembus zona gas pada beberapa interval kedalaman pada formasi Top Lower Baong dengan lithologi batu pasir Pada saat dilakukan proses pemboran pada sumur X, terjadi *problem* pemboran berupa *partial loss* pada interval kedalaman 3237m dengan lithologi *shale*, dimana nilai dari *mud weight* yang digunakan sebesar 14,5 – 14,9 ppg pada trayek 8 ½ . Hal ini disebabkan karena tekanan fluida pemboran pada kedalaman tersebut melebihi dari tekanan rekah formasi pada trayek 8 1/2”, sehingga pada kedalaman tersebut terjadi *problem* pemboran *partial loss*. Untuk mengevaluasi penggunaan *mud weight* akan digunakan pendekatan *safe mud window*, studi ini mempelajari tentang *range* densitas yang aman untuk dilakukannya suatu pemboran sehingga mengurangi *problem-problem* pemboran. Dari studi ini akan menghasilkan beberapa parameter tambahan yang selanjutnya bisa digunakan untuk memperbaiki perhitungan gradien tekanan bawah permukaan dan menentukan densitas yg aman untuk dipakai pada pemboran selanjutnya. Dari analisa *safe mud window* untuk mengevaluasi densitas yang digunakan perlu ditambahkan parameter *rock mechanics* yaitu *horizontal stress* dan *shear failure gradient*.

METODE PENELITIAN

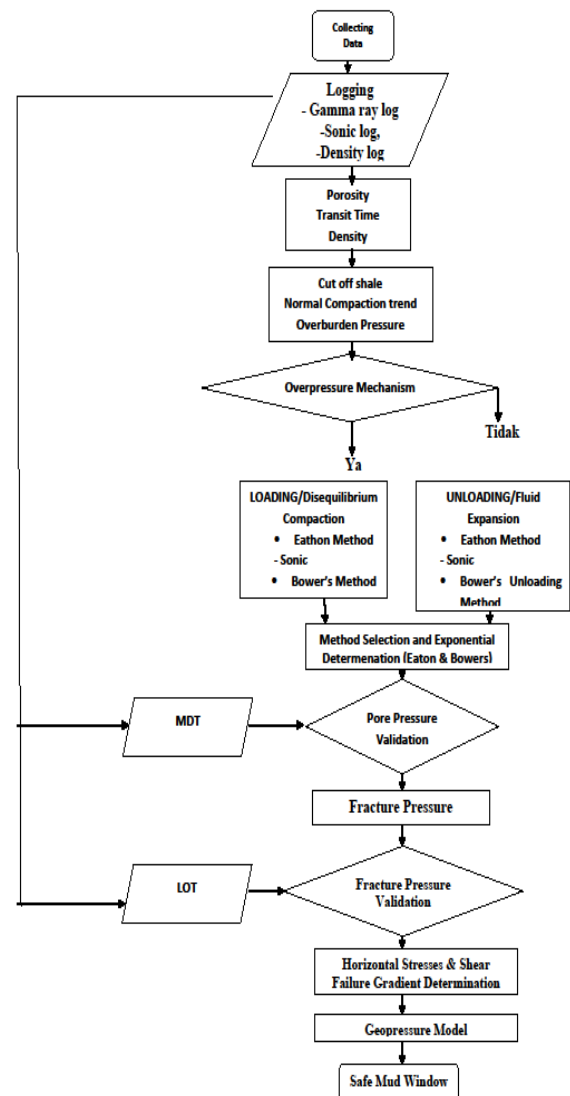
Metode Safe Mud Window

Metode *Safe Mud Window* dalam pengolahan datanya menggunakan Drillworks

Predict yaitu sebuah program gabungan antara *geopressure* yang terintegrasi dengan geomekanika yang membantu Eksplorasi & Produksi perusahaan perminyakan di seluruh dunia untuk meningkatkan tingkat kesuksesan dalam pengeboran dengan cara pengurangan risiko, penghematan biaya, dan kinerja pengeboran. *Drillworks Predict Software* merupakan solusi inovatif berbasis pengetahuan pengeboran yang memungkinkan perusahaan eksplorasi dan produksi untuk mengebor lebih dalam, lebih cepat, dan lebih aman dengan sedikit kesulitan dan mengurangi biaya.[3]

Pengolahan Data

Dalam penentuan *safe mud window* pada operasi pemboran tentunya memerlukan data-data lapangan. Berikut metodologi untuk melakukan evaluasi *mud weight* dengan menggunakan pendekatan *safe mud window*. Adapun tahapannya adalah sebagai berikut:



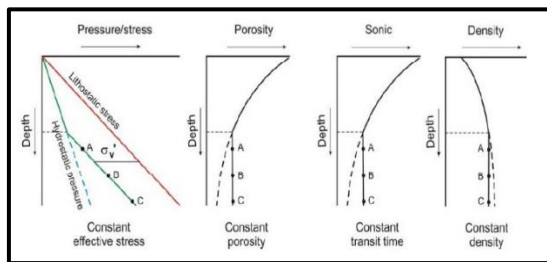
Gambar 1. Flowchart Safe Mud Window

Pada flowchart diatas dimana ada beberapa data yang dibutuhkan seperti data logging (gamma ray log,sonic log,density log). Sedangkan untuk data pemboran sumur "X" meliputi ukuran pahat, ukuran selubung, lumpur yang digunakan, *problem* pemboran , dan litologi sumur "X". Setelah itu dilakukan analisa dengan memperhatikan indikator-indikator seperti Tekanan Pori, Tekanan Rekah, *Horizontal stresses*, dan Shear Failure Gradient. Pada kasus ini, terdapat problem pemboran pada trayek 8 ½". Setelah dianalisis maka dilakukan evaluasi dengan pendekatan pendekatan *safe mud window* terutama pada trayek 8 ½" pada kedalaman

yang mengalami penurunan problem pemboran.

Analisa Geopressure

Overpressure pada mekanisme ini terjadi apabila fluida dalam pori terperangkap dalam formasi dengan permeabilitas termampatkan oleh berat sedimen baru yang terendapkan. Akibatnya, tekanan yang berlebih pada pori batuan dan fluida terperangkap di dalam pori tersebut. Proses ini yang disebut dengan *undercompaction* atau *disequilibrium compaction*. Timbulnya *undercompaction* terjadi pada zona transisi dari lingkungan yang dominan pasir ke lingkungan dominan serpih. Seperti yang disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Wireline log loading mechanism [1]

Untuk menganalisa korelasi antara profil geopressure sumur “X” dengan problem pemboran yang terjadi, perlu diketahui tekanan hidrostatik dan hidrodinamik dari pemakaian lumpur yang digunakan selama pemboran berlangsung. Tekanan hidrostatik dapat dihitung dengan mengetahui pemakaian *mudweight* yang didapat dari *mud report*.

$$P_h = 0,052 \times \rho_m \times D \quad (1)$$

Pada **Persamaan 1** dimana Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang diakibatkan oleh beban fluida yang ada diatasnya. Dimana P_h = Tekanan hidrostatik (psi), ρ_m = Densitas lumpur pemboran(ppg) dan D = Tinggi kolom lumpur (ft)[4].

Dengan diketahuinya Tekanan hidrostatik maka tekanan hidrodinamik dan ECD dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_{hd} = P_h + (P_{pump} - \Delta P_{system}) \quad (2)$$

$$ECD = \frac{P_{hd}}{0.052 \times TVD} \quad (3)$$

Pada **Persamaan 2** dimana P_{hd} = tekanan hidrodinamik lumpur (psi), P_h = tekanan hidrostatik lumpur (psi), P_{pump} = tekanan pompa (psi) , dan ΔP_{sistem} = total kehilangan tekanan pada sistem (psi).[4] Sedangkan Pada **Persamaan 3** yaitu dimana ECD = *equivalent circulating density* (ppg) P_{hd} = tekanan hidrodinamik lumpur (psi), dan TVD = *true vertical depth* (ft). Setelah didapat dua parameter tersebut maka dapat dihitung profil geopressure sumur “X” dengan perhitungan awal yaitu menghitung Tekanan *overburden* dengan persamaan berikut :

$$P_{ob} = 0,052 \times \rho_b \times D \quad (4)$$

Tekanan *overburden* merupakan besarnya tekanan yang diakibatkan oleh berat seluruh beban batuan yang ada di atasnya pada kedalaman tertentu tiap satuan luas. Dimana P_{ob} = Tekanan *overburden* (psi), ρ_b = Densitas batuan (ppg) dan D = Kedalaman formasi (ft). [2]. Dengan diketahuinya Tekanan *overburden* maka dapat dihitung besar tekanan pori dengan persamaan berikut :

$$P_p = OBG - (OBG - PP \left(\frac{DCO}{DCN} \right)^x) \quad (5)$$

Pada **Persamaan 5** dimana dalam analisa ini digunakan metode perhitungan *pore pressure* menggunakan *Eaton Method* [1], yaitu P_p = Tekanan pori (psi), OBG = Tekanan *Overburden* (psi), DCO = *Observed DC Exponent, dimensionless*, DCN = *Normal DC Exponent, (dimensionless)* dan x = *Eaton Exponent (dimensionless)*. Setelah melakukan perhitungan Pore Pressure dengan menggunakan *eaton method*, maka tahapan selanjutnya adalah menghitung tekanan rekah atau *fracture pressure*. Tapi sebelum kita menghitung tersebut, terlebih dahulu harus menghitung beberapa parameter rock mechanics yaitu Perhitungan *Cohesive*

Strenght dan Friction Angle dengan persamaan berikut :

$$CS = 5(V_p - 1)/(\sqrt{V_p}) \quad (6)$$

$$FA = \sin^{-1}((V_p - 1)/(V_p + 1)) \quad (7)$$

Setelah melakukan perhitungan *rock mechanics* maka tahapan selanjutnya adalah menghitung tekanan rekah atau *fracture pressure*. Untuk menghitung *fracture pressure* digunakan metode *Eaton Method*. [1].

$$F = \left(\frac{v}{1-v} \right) \sigma + P \quad (8)$$

Pada **Persamaan 8** dimana F = tekanan rekah formasi (psig) , v = *Poisson's Ratio* , σ = *effective stress* ($S - P$) (psig) , S = Tekanan overburden (psig) dan P = Tekanan Formasi. Setelah melakukan perhitungan pada *fracture pressure* maka tahapan selanjutnya adalah menentukan *minimum horizontal stress* dan *maximum horizontal stress* metode *Eaton* dan *Anderson* [5] dengan persamaan berikut :

$$S_{hmin} = \frac{v}{(1-v)} (S_v - P_p) + P_p \quad (9)$$

$$S_{hmax} = S_{hmin} + k*(OBG - S_{hmin}) \quad (10)$$

Pada **Persamaan 9 dan Persamaan 10** dimana S_{hmin} = *Minimum Horizontal Stress* (psig) v = *Poisson Ratio*, (*dimensionless*) , P_p = Tekanan Pori (psig) dan S_v = *Vertical Stress* (*Overburden Stress*) (psig). [5]

Dengan diketahuinya *minimum horizontal stress* dan *maximum horizontal stress*, maka dapat dihitung *Shear Failure Gradient* dengan persamaan sebagai berikut :

$$SFG = 27 + \eta - \left(\frac{(I_1')^3}{I_3'} \right) \quad (11)$$

Dimana η didapat dengan persamaan berikut.

$$\eta = \frac{4(\tan \emptyset)^2(9-7\sin \emptyset)}{(1-\sin \emptyset)} \quad (12)$$

Pada **Persamaan 11 dan Persamaan 12** dimana $\emptyset$ = *Friction Angle*, (degree), C_o = *Cohesive Strenght* (mpa) , σ_1 = *Maximum Principle Stress* (ppg) , σ_2 = *Intermediet*

Principle Stress (ppg), σ_3 = *Minimum Principle Stress* (ppg), dan SFG = *Shear Failure Gradient* (ppg). [5]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumur X merupakan sumur merupakan sumur eksplorasi untuk membuktikan prospek hidrokarbon di lapangan NK. Sumur X adalah sumur vertikal dengan kedalaman akhir 3469 m. Target reservoir pada sumur X adalah batushale pada Formasi Lower Belumai. Operasi pemboran sumur X menembus formasi Ketapang di permukaan, lalu menembus formasi Top Upper Baong dengan puncak formasi pada kedalaman 602 m, selanjutnya menembus Formasi Top Middle Baong dengan puncak formasi pada kedalaman 1220 m, selanjutnya menembus Formasi Top BRS dengan puncak formasi berada pada kedalaman 1574 m, selanjutnya menembus Formasi Top Gebang Sand dengan puncak formasi berada pada kedalaman 1776 m, selanjutnya menembus Formasi Top Lower Baong dengan puncak formasi berada pada kedalaman 2415 m, selanjutnya menembus Formasi Top Upper Belumai dengan puncak formasi berada pada kedalaman 3136 m dan terus hingga mencapai kedalaman target yaitu 3410 pada Formasi Top Lower Belumai.

Operasi pemboran sumur X menemui *problem* hingga terjadi keterlambatan dalam mencapai kedalaman target. Banyaknya waktu yang terbuang dikarenakan masalah – masalah yang terjadi. Apabila diamati, sebagian besar dari waktu yang terbuang ini disebabkan oleh masalah ketidakstabilan lubang bor (*well instability*) yang dipicu oleh penggunaan *mud weight* yang kurang optimal. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa profil *geopressure* yang dapat berguna untuk mitigasi problem pemboran, penentuan *safe mud window* dalam kaitannya untuk perencanaan ulang penggunaan *mud weight*, dan untuk digunakan sebagai gambaran untuk merencanakan program pemboran berikutnya pada kondisi lapangan, stratigrafi dan mekanika batuan yang sama.

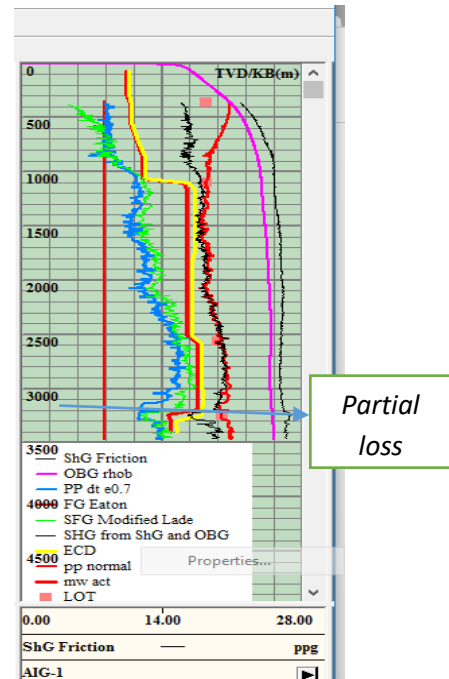
Analisa problem pemboran dilakukan dengan cara mengamati nilai *equivalent circulating desity* dari penggunaan *mud weight* aktual terhadap *geopressure model* pada sumur X. Berdasarkan *Final Well Report* sumur X, terjadi beberapa problem pemboran yang diduga dipengaruhi oleh penggunaan *mudweight* yang kurang optimal yaitu sebagai contoh *lost circulation* dengan kategori *partial loss*. Hambatan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Problem Pemboran pada sumur X

No	Problem	Trayek	Kedalaman	lithologi
1	Partial loss	8 ½ ”	3237 m	Shale

Analisa *geopressure model* yang telah dilakukan, bermanfaat untuk mengetahui *safe mud window* pada sumur X. Untuk bisa mengamati hal tersebut, terlebih dahulu harus diketahui nilai ECD. Nilai ECD dihitung karena problem pemboran yang terjadi tidak hanya terjadi pada saat diam, namun juga pada saat lumpur disirkulasikan. Plot nilai, ECD dan komponen – komponen *geopressure* beserta kedalaman terjadinya problem pemboran dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Dapat dilihat pada gambar permasalahan yang terjadi adalah *lost circulation* dengan kategori *partial loss* pada Formasi Top Upper Belumai di kedalaman 3237 m. Pada section ini digunakan *mudweight* 14,5 ppg dapat dilihat harga ECD berada diatas horizontal stress. Dimana pada Formasi Top Upper Belumai menjelaskan bahwa permasalahan *partial loss* yang terjadi disebabkan oleh faktor mekanis, sehingga perlu ada koreksi yang perlu dilakukan pada *mudweight*.



Gambar 3. Korelasi Profil Geopressure dengan Problem Pemboran yang Terjadi pada Sumur X

Setelah menganalisa penggunaan *mud weight actual* pada proses pemboran yang dilakukan terhadap profil *geopressure*, dan dengan hadirnya masalah – masalah pemboran dalam penggunaan *mudweight* tersebut, kita bisa menarik kesimpulan bahwa *mudweight* yang digunakan kurang optimal. Kondisi ini sering terjadi karena hasil analisa *geopressure* baru bisa diperoleh setelah melakukan logging. Oleh karena itu perencanaan ulang penggunaan *mudweight* pada sumur X diharapkan dapat memberikan gambaran tekanan bawah permukaan dan dapat digunakan sebagai gambaran untuk merencanakan program pemboran berikutnya pada kondisi lapangan, stratigrafi dan mekanika batuan yang sama. Dengan begitu, diharapkan terjadinya problem pada sumuran dapat lebih diminimalisir.

Penggunaan *mudweight* optimal yang direkomendasikan untuk sumur X dapat dilihat pada **Tabel 2**. berikut ini

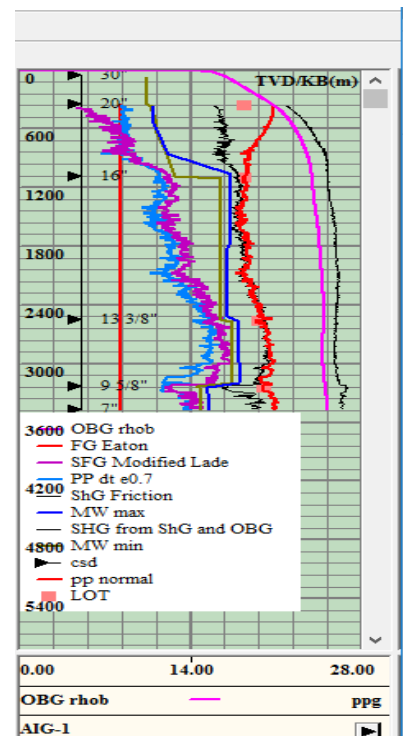
Tabel 2. Hasil Perhitungan *Mud recommended* pada Sumur X

Depth, m	Trayek, inch	Mud weight actual, ppg	Mud weight recommended, ppg
75	36	10,4	10,4
370	24	10,4	10,4
1060	20	10,8-12,07	10,8-12,07
1171	17 ½	16,2-16,4	16,49-17,24
2396	12 ¼	17,4	17,4
3245	8 ½	14,5-14,9	14,67-15,4
3399		14,9	14,20

Dari *geopressure model* sumur X kita dapat mengetahui *range* dari *safe mud window*-nya, sehingga kita dapat menentukan *mudweight* yang optimal berdasarkan *safe mud window* dimana dapat meminimalisir terjadinya *well instability*.

Mudweight yang optimal untuk pemboran Sumur X adalah sebagai berikut: 10,4 ppg untuk pemboran dari kedalaman 0 sampai 350 m (0- 1148,2 ft); 10,8 ppg hingga 12,7 ppg untuk pemboran dari kedalaman 350 sampai 1090 m (1148,2 – 3576,11 ft); dan 16,49 ppg hingga 17,24 ppg untuk pemboran dari kedalaman 1090 m sampai 2554 m); 17,4 ppg untuk pemboran dari kedalaman 2554 m sampai 3236 m (8379,2-10616,8 ft) ; 14,57 ppg hingga 15,4 ppg untuk pemboran dari kedalaman 3236 m sampai 3348,9 m (10616,8-10987,2 ft)); 14,9 ppg untuk pemboran dari kedalaman 3348,9 hingga total target kedalaman pada 3469 m (10987,2-11384,5).

Safe mud window dari sumur X dapat dilihat pada **Gambar 4**. *Mudweight* yang optimal adalah *mud weight* yang lebih besar dari nilai *shear failure gradient/collapse gradient* dan lebih kecil dari *minimum insitu stress*.

**Gambar 4.** Korelasi Profil Geopressure dengan Problem Pemboran yang Terjadi pada Sumur X

KESIMPULAN

1. Berdasarkan analisa terhadap data sonic log diperkuat dengan data density log mekanisme pembentukan *overpressure* pada sumur X adalah loading mechanism yang disebabkan oleh faktor *disequilibrium compaction*.
2. Metode perhitungan tekanan pori yang digunakan adalah Eaton Method jenis *loading pada* metode tersebut dipilih karena

sesuai dengan *overpressure* yang terjadi pada sumur “X” yaitu *loading mechanism*.

3. Berdasarkan validasi dengan data *leak-off test* pada kedalaman 1096 m/3595,97 ft sebesar 16,24 ppg , pada kedalaman 2562 m/8405,92 ft sebesar 17,49 ppg, dan pada kedalaman 3240 m/10630,44 ft sebesar 14,55 ppg,metode perhitungan tekanan rekah formasi yang akurat digunakan pada sumur X adalah Metode Eaton dengan menggunakan *poisson ratio* yang dihitung menggunakan Metode Zoback & Castagna.
4. Dalam mengatasi problem pemboran pada trayek 8 ½” *mud weight* yang optimal adalah 14,57 ppg hingga 15,4 ppg untuk pemboran dari kedalaman 3236 m sampai 3348,9 m (10616,8-10987,2 ft).
5. Analisa *geopressure* pada sumur X dengan pendekatan *safe mud window* dapat digunakan untuk acuan perencanaan *mud weight* yang optimal untuk pemboran selanjutnya dengan kondisi formasi dan stratigrafi yang sama.

Stability.” Department of Geophysics, Stanford University, 2006.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agus M. Ramdhan, Neil R. G., Lambok M. H., “The Challenge Of Pore Pressure Prediction In Indonesia’s Warm Neogene Basins”, Indonesia Petroleum Association, 2011.
- [2] Fjaer, E., Holt, R.M., Horsrud, P., Raaen, A.M., Risnes, R., “*Petroleum Related Rock Mechanics*”. Elsevier Science Publishers B.V, 1992.
- [3] Hussain, Rabia, “*Well Engineering & Construction*”, Textbook, 2002.
- [4] Luthfi, Maulana “*Aplikasi Managed Pressure Drilling Pada Lapangan Migas Berdasarkan Hasil Prediksi Tekanan Formasi dan Gradien Rekah*”, Program Studi Teknik Perminyakan UPN “Veteran” Yogyakarta, 2012.
- [5] Zoback, MD., “*Reservoir Geomechanics: Earth Stress and Rock Mechanics Applied to Exploration, Production and Wellbore*