

# ANALISIS *LOSS CIRCULATION* PADA PROSES *DRILLING* MENGUNAKAN DIAGRAM MOHR-COULOMB STUDI KASUS: SUMUR X BOB PT. BUMI SIAK PUSAKO

Wenny Wahyuni<sup>1</sup>, Muharnis<sup>2</sup>, Khairudin Syah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Bengkalis

Jln. Bathin Alam Sungai Alam Bengkali Riau

E-mail: [wenny@polbeng.ac.id](mailto:wenny@polbeng.ac.id)<sup>1</sup>, [muharnis@polbeng.ac.id](mailto:muharnis@polbeng.ac.id)<sup>2</sup>

## Abstrak

Peralatan dan bahan yang digunakan saat proses *drilling* sangat diperhatikan agar terhindar dari suatu bencana dan menciptakan situasi yang aman. Hal yang harus diperhatikan dari suatu proses *drilling* adalah penggunaan lumpur, dimana fungsinya untuk mengontrol tekanan lubang sumur. Kekurangan atau kelebihan tekanan lumpur pemboran dibandingkan tekanan formasi dapat menimbulkan beberapa permasalahan, diantaranya yaitu *loss circulation*, *kick* bahkan *blowout*. *Loss circulation* merupakan suatu permasalahan yang diakibatkan karena adanya retakan pada formasi batuan, akibat adanya retakan lumpur pemboran masuk ke dalam retakan dan mengakibatkan suatu permasalahan yang disebut dengan *loss circulation*. Berdasarkan data dari sumur X di perusahaan BOB PT. BSP Pertamina-Hulu bahwa rata-rata berat lumpur yang digunakan berkisar antara 8,6 ppg – 9,0 ppg dan berdasarkan FIT berat lumpur maksimum yang diperbolehkan untuk sumur X adalah sebesar 15 ppg. Ketika proses pemboran, terjadi *loss circulation* di kedalaman 565 ft, 575 ft, 577 ft dan 797 ft dengan jumlah lumpur yang hilang masing-masing adalah 0,56 bpm, 0,9 bpm, 1,5 bpm dan 1 bpm. *Loss circulation* yang terjadi pada studi kasus kemudian dianalisa menggunakan diagram Mohr-Coulomb. Setelah dilakukan pemboran maka tekanan maksimum yang mengenai batuan sudah dipengaruhi oleh tekanan lumpur pemboran yang memberikan tekanan dari arah horizontal, sehingga bentuk retakan yang terjadi pada sumur X merupakan retakan datar (*strike-strip*).

**Kata kunci:** lumpur pemboran, tekanan bawah permukaan, *fracture pressure*, *loss circulation*, diagram Mohr-Coulomb

## Abstract

The equipment and materials used during the drilling process are highly considered in order to avoid a disaster and create a safe situation. The thing to be aware of a drilling process is the use of mud, where it functions to control wellbore pressure. Drawbacks or excess mud pressure compared formation pressure can cause some problems, including loss circulation, kick and even blowout. Loss circulation is a problem caused by the fracture in the rock formations, due to the drilling mud into the fracture and result in a problem called loss circulation. Based on data from well X at BOB PT. BSP Pertamina-Hulu that the average mud weight used ranges between 8.6 ppg - 9.0 ppg and based on FIT the maximum mud weight permitted for well X is 15 ppg. During the drilling process, loss circulation occurred at depths of 565 ft, 575 ft, 577 ft and 797 ft with the amount of mud lost respectively 0.56 bpm, 0.9 bpm, 1.5 bpm and 1 bpm. Loss circulation occurring in the case study is then analyzed using the Mohr-Coulomb diagram. After drilling, the maximum pressure on the rock is affected by the drilling mud pressure which gives the pressure from the horizontal direction, so that the fracture form in the well X is a strike-strip.

**Keywords :** mud drill, under pressure, fracture pressure, loss circulation, Mohr-Coulomb diagram

## 1. PENDAHULUAN

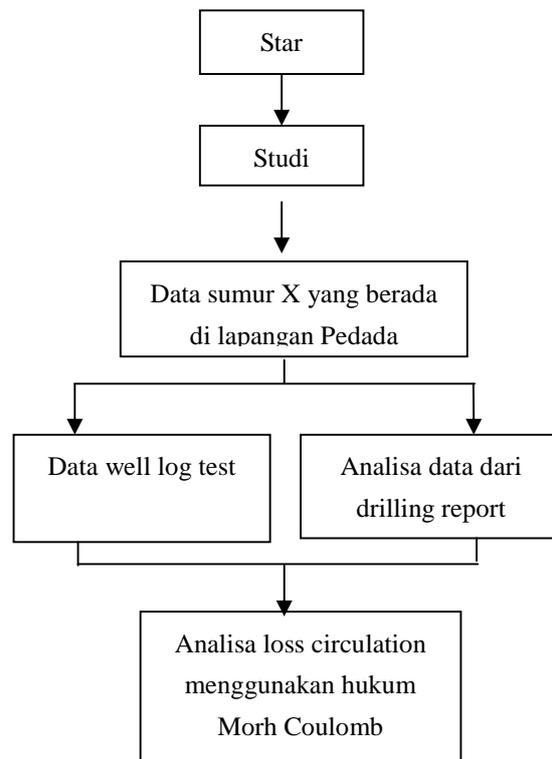
Proses *drilling* adalah proses yang paling utama sebelum minyak bumi diproduksi dari dalam perut bumi menuju permukaan. Data-data yang diperoleh melalui survei permukaan harus dianalisa terlebih dahulu agar dapat memperkirakan tekanan tinggi di bawah permukaan bumi, dengan beberapa metode yang biasa digunakan adalah metode seismik, *grafity* dan magnetik [1]. Kestabilan tekanan dalam

lubang pemboran harus selalu dikontrol agar nantinya tidak terjadi *loss circulation*, *kick* atau bahkan *blowout*, maka diperlukan suatu tindakan awal yang berfungsi untuk memprediksi tekanan pori dari formasi batuan dengan menggunakan seismik [2]. Selain tekanan pori dari suatu formasi, tekanan hidrostatik dari lumpur pemboran juga harus diperhatikan, tekanan hidrostatik lumpur pemboran dipengaruhi oleh kedalaman dari lubang bor [3,4]. Tekanan pori dari formasi dan

tekanan lumpur pemboran harus sebanding, jika kedua tekanan ini tidak stabil pada proses pemboran maka akan mengakibatkan timbulnya tekanan abnormal atau (*overpressure*) [4,5], *loss pressure* ditimbulkan oleh tekanan abnormal atau kelebihan tekanan dapat yang diprediksi dari jumlah tegangan [4,6]. Tekanan yang diperoleh dari hasil survei digunakan untuk memprediksi berat lumpur yang digunakan saat proses *drilling*. Salah satu faktor yang harus diperhatikan agar tekanan-tekanan yang mempengaruhi tekanan formasi tetap seimbang adalah berat jenis lumpur. Saat tekanan lumpur pemboran lebih kecil dari tekanan formasi maka akan timbul *kick* atau bahkan *blowout*, tetapi jika tekanan lumpur pemboran lebih besar dibandingkan tekanan formasi akan mengakibatkan retakan pada formasi tersebut, retakan inilah yang akan mengakibatkan lumpur masuk ke dalam formasi batuan. Masuknya lumpur pemboran ke dalam formasi batuan disebut dengan *loss circulation* [7]. *Loss circulation* yang terjadi akibat adanya retakan pada formasi batuan yang dapat menimbulkan permasalahan yang lebih lanjut, seperti timbulnya *flowing* atau masuknya fluida formasi di dalam lubang bor. Diagram Mohr-Coulomb dapat digunakan untuk menganalisa retakan akibat proses *drilling*, diagram Mohr Coulomb ini digunakan untuk menentukan tegangan geser dan arah retakan akibat tekanan-tekanan yang mempengaruhi formasi batuan tersebut [8]. Dari diagram Mohr Coulomb juga dapat diketahui sudut elevasi yang dihasilkan oleh retakan akibat adanya tegangan geser. Retakan yang terjadi pada formasi diakibatkan oleh jumlah lumpur pemboran yang hilang saat proses *drilling*, jika terlalu banyak lumpur yang hilang saat proses *drilling* (*loss circulation*) maka tekanan lumpur di dalam lubang bor akan mengalami penurunan sehingga dapat menimbulkan *kick* dan *blowout*.

**2. METODE**

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode literatur dan pengolahan data dari lapangan yang digunakan sebagai data awal untuk tahap pengujian dan penganalisaan data sehingga mendapatkan kesimpulan. Penelitian ini dilakukan di perusahaan BOB PT. Bumi Siak Pusako Pertamina-Hulu. Data dari lapangan kemudian diolah dan dianalisa, salah satu penganalisaan dilakukan menggunakan hukum Mohr Coulomb sehingga mendapatkan suatu kesimpulan.

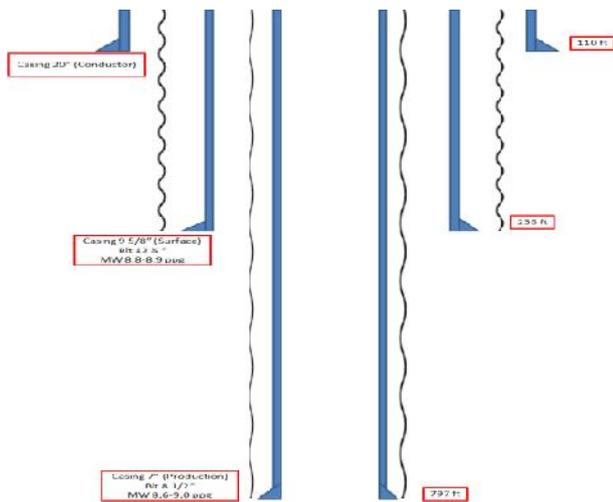


**Gambar 1** Skema Alur penelitian

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penganalisaan *loss circulation* pada proses *drilling* menggunakan diagram Mohr-Coulomb dilakukan setelah diketahui *loss circulation* yang terjadi di sumur X tersebut. Tahapan pengalisan data setelah mendapatkan data-data yang berupa tekanan dan data *loss circulation*. Setelah dilakukan semua tahapan tersebut barulah dilakukan penganalisaan menggunakan diagram Mohr-Coulomb.

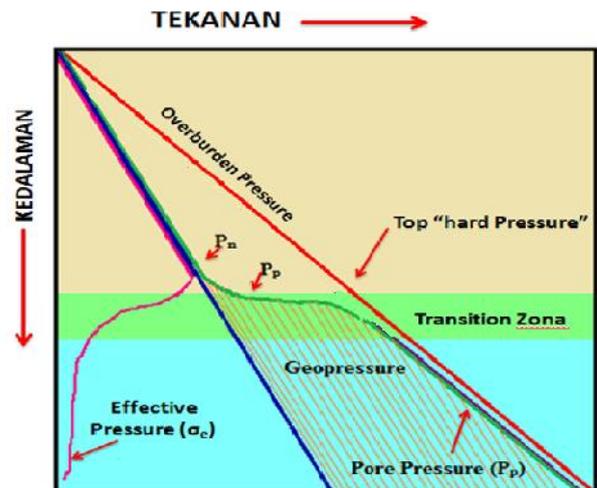
Proses *drilling* yang dilakukan di Sumur X di lapangan Pedada tergolong ke dalam pemboran dangkal, kedalaman lubang pemboran ini hanya mencapai kedalaman 797 ft atau sebanding dengan 242,926 meter. Gambar 2 di bawah ini memperlihatkan gambaran *drilling program* dari sumur X.



Gambar 2 Skema program *drilling* sumur X

### 3.1 Tekanan Bawah Permukaan

Gaya yang diberikan pada suatu luasan tertentu disebut dengan tekanan. Dalam dunia perminyakan khususnya saat melakukan proses *drilling* dan juga eksplorasi penting untuk mengetahui beberapa tekanan bawah permukaan. Ada beberapa jenis tekanan bawah permukaan yang sering ditemukan dalam dunia eksplorasi ataupun *drilling* diantaranya yaitu tekanan hidrostatik, tekanan pori, tekanan *overburden*, tekanan formasi, *fracture pressure*, tekanan efektif dan tekanan abnormal [9]. Gambar 3 memperlihatkan profil masing-masing tekanan bawah permukaan.



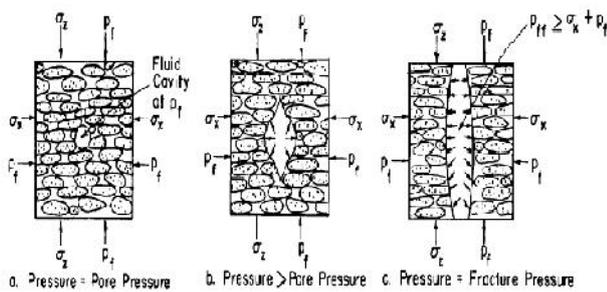
Gambar 3 Profil jenis-jenis tekanan di sedimen klastik (modifikasi Dutta, 2012)

#### 3.1.1 Tekanan formasi

Tekanan formasi merupakan tekanan yang diperoleh dari densitas dari bulknya sendiri. Tekanan formasi didapat dari data log densitas yang telah ada (RHOB). Dalam keadaan normal tekanan formasi akan sama dengan tekanan *overburden* [10]. Tekanan formasi juga dipengaruhi oleh kedalaman suatu formasi.

#### 3.1.2 Tekanan rekah formasi

Pecah atau retaknya suatu formasi akibat tekanan yang diberikan terlalu besar dapat menimbulkan suatu tekanan yang disebut *fracture pressure* atau tekanan rekah. Tekanan rekah formasi harus lebih besar dibandingkan tekanan pori dan lebih kecil dari tekanan *overburden*. *Fracture pressure* dapat terjadi bersamaan dengan adanya tekanan abnormal [10]. *Fracture pressure* ini juga dapat diakibatkan oleh proses *drilling*, akibat penggunaan berat lumpur yang terlalu besar, sehingga tekanan hidrostatik lumpur menjadi bertambah besar. Jika tekanan hidrostatik lebih besar dari tekanan formasi batuan dapat mengakibatkan formasi menjadi retak atau bahkan pecah. Gambar 4 di bawah ini memperlihatkan hubungan antara tekanan rekah dan tekanan pori



**Gambar 4** Hubungan tekanan pori dan *fracture pressure* (Bourgoyne, A.T.Jr, dkk: 1986)

*Fracture pressure* sangat berhubungan dengan elastisitas batuan yang sering disebut dengan modulus young. Berdasarkan hukum Hooke’s bahwa elastisitas batuan memiliki hubungan linier antara tegangan dan regangan. Oleh sebab itu elastisitas batuan dipengaruhi oleh nilai regangan dan tegangan yang diberikan kepada benda. Persamaan 1 memperlihatkan rumusan untuk menentukan modulus young dari elastisitas dan poisson’s ratio batuan. Untuk kasus ini diasumsikan bahwa elastisitas dari batuan itu sama dengan regangan horizontalnya.

$$E = \frac{\sigma_x}{\epsilon_x} - \frac{\sigma_y}{\epsilon_y} - \frac{\sigma_z}{\epsilon_z} \quad (1)$$

Elastisitas dari batuan pada sumbu x, y, dan z adalah sama, sehingga persamaan 1 dapat diubah menjadi

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E} \quad (2)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_H = \frac{\mu}{(1-\mu)} \sigma_z \quad (3)$$

Dimana  $\mu$  adalah poisson’s ratio dari batuan,  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_H$  adalah *horizontal stress* dan  $\sigma_z$  adalah *vertical stress*.

3.1.3 Tekanan efektif

Tekanan efektif adalah tekanan yang terjadi pada pori suatu formasi batuan. Tekanan efektif dipengaruhi oleh dua faktor yaitu tekanan yang berasal dari arah vertikal, dikenal dengan nama

tekanan *overburden* dan *void ratio*. Tekanan ini berperan untuk mengontrol dan mempertahankan formasi terhadap suatu keadaan yang disebut dengan kompaksi atau pemadatan [11].

Tegangan efektif diakibatkan oleh tekanan normal dari arah vertikal terhadap pori batuan [12]. Hal ini direpresentasikan dari persamaan di bawah ini:

$$\sigma_{eff} = \sigma_{obv} - P_p \quad (4)$$

Tekanan efektif ini merupakan tekanan yang diperhitungkan oleh bagian pada batuan untuk masalah kekuatan dalam menahan tekanan.

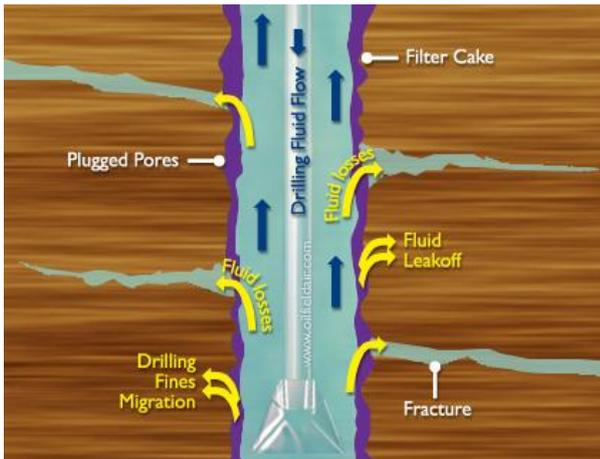
3.2 *Loss circulation*

*Loss circulation* merupakan salah satu fenomena yang dikategorikan sebagai kesalahan dalam proses *drilling*. *Loss circulation* diakibatkan masuknya lumpur pemboran ke dalam pori formasi, hal ini terjadi karena adanya retakan atau rekahan pada formasi saat proses *drilling* berlangsung atau penggunaan lumpur pemboran yang terlalu berat sehingga menghasilkan tekanan yang terlalu besar [4,13]. *Loss circulation* ini dapat dihitung dengan persamaan

$$Q = \frac{V}{t} \quad (5)$$

Dimana  $Q$  adalah banyaknya fluida yang mengalir persatuan waktu ( $m^3/s$ ),  $V$  adalah volume fluida ( $m^3$ ) dan  $t$  adalah waktu (s).

Ilustrasi *loss circulation* dapat dilihat dari gambar 5 di bawah ini:



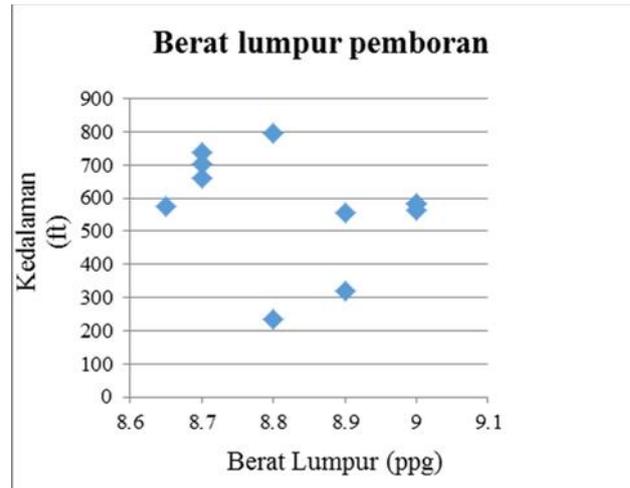
**Gambar 5** Skema terjadinya *loss circulation* (<http://petroleumsupport.com>)

Gambar 5 di atas menunjukkan lumpur pemboran masuk ke dalam retakan formasi, dan menyebabkan lumpur pemboran banyak yang hilang dan mengakibatkan tekanan lumpur dalam sumur menjadi berkurang, hal inilah yang dapat menimbulkan fluida formasi masuk ke dalam sumur yang disebut dengan *flowing*.

### 3.2.1 Lumpur pemboran

Lumpur pemboran merupakan bahan utama yang perlu diperhatikan saat dilakukan proses *drilling*. Dimana berat lumpur pemboran harus selalu dipantau agar tidak terjadi kondisi-kondisi yang dapat merugikan. Berdasarkan data FIT berat lumpur maksimum yang dapat digunakan di sumur X adalah sebesar 15 ppg. Saat pemboran berlangsung berat lumpur yang digunakan rata-rata berkisar antara 8.7 - 9 ppg.

Berat lumpur pemboran yang digunakan saat proses pemboran di Sumur X lapangan Pedada di BOB PT. Bumi Siak Pusako untuk setiap kedalaman tertentu diberikan oleh data yang di dapatkan di lapang. Berat lumpur yang diberikan disesuaikan dari data log yang diperoleh sebelum dilakukan *drilling*. Gambar 6 diberikan data penggunaan lumpur pemboran dalam bentuk grafik untuk setiap kedalaman yang berbeda.



**Gambar 6** Grafik berat lumpur vs kedalaman

### 3.2.2 Menentukan *loss circulation*

Dari hasil pengukuran langsung dilapangan maka di diperoleh banyaknya lumpur pemboran yang hilang setiap menitnya saat proses *drilling*. Jumlah lumpur yang hilang saat sirkulasi diperlihatkan oleh tabel 1 [4].

**Tabel 1** Tabel *loss circulation* di sumur X [4]

Depth (ft)	Loss sirkulasi (BPM)
565	0.56
575	0.9
577	1.5
797	0.8-1

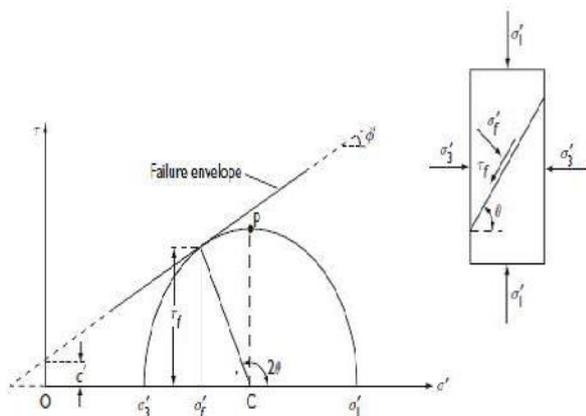
Untuk mengatasi kendala saat proses *drilling* yang berupa *loss circulation* dilakukan metode LCM (*Loss Circulation Material*). Metode ini dilakukan dengan menambahkan material pemberat pada lumpur pemboran [4].

Dari data lapangan diketahui juga bahwa setelah terjadinya *loss sirkulasi* maka terdapat aliran fluida formasi di dalam sumur pemboran, jika aliran fluida ini tidak cepat diatasi maka dapat menyebabkan *kick*.

### 3.3 Diagram Mohr-Coulomb

Hukum Mohr-Coulomb mendeskripsikan hubungan antara tekanan geser dan tekanan vertikal yang dialami oleh batuan. Hukum Mohr-Coulomb adalah suatu kondisi yang menerangkan pengaruh suatu tegangan terhadap

kondisi suatu bahan yang isotropik yang akan mengalami retakan dan geseran. Suatu benda akan mengalami retakan atau pergeseran yang diakibatkan oleh adanya faktor tegangan maksimum dan tegangan minimum yang diberikan kepada batuan, fenomena seperti ini dijelaskan melalui teori Mohr-Coulomb [14]. Yang mempengaruhi besarnya tegangan geser yang dialami batuan sangat dipengaruhi oleh faktor elastisitas batuan dan besarnya tegangan yang diberikan. Diagram Mohr-Coulomb dapat direpresentasikan oleh gambar 7 dibawah ini.



**Gambar 7** Skema lingkaran Mohr-Coulomb (Craig, R.F: 2004)

Lingkaran Mohr mendeskripsikan posisi (dalam arah ) dari bidang yang mungkin retak. Titik singgung atau titik potong didapatkan dari arah retak terhadap arah bidang retak.

Besarnya tegangan geser yang diakibatkan oleh tekanan-tekanan yang bekerja pada batuan atau benda tertentu adalah sebesar:

$$\tau_f = c + \sigma_v \tan \phi \quad (6)$$

Jika Persamaan (6) kita hubungkan dengan persamaan Terzaghi, maka di diperoleh nilai retakan geser dari batuan berupa:

$$\tau_f = c + (\sigma_{obv} - P_p) \tan \phi \quad (7)$$

Dimana  $\tau_f$  adalah tegangan geser (Pa),  $c$  adalah kohesi,  $\phi$  adalah sudut elevasi (sudut geser).

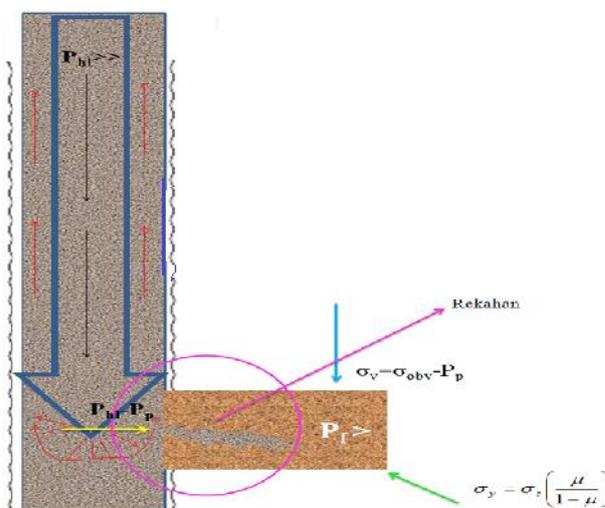
Kriteria retakan berdasarkan Mohr Coulomb dapat dilihat dari persamaan (8)

$$\tau_m = f \sigma_m \quad (8)$$

### 3.3.1 Analisis retakan pada sumur X

*Loss circulation* yang terjadi di sumur X terdapat di beberapa titik kedalaman yang diakibatkan karena adanya retakan pada batuan formasi. Syarat terjadinya retakan pada suatu batuan dikarenakan oleh adanya tekanan maksimum dan tekanan minimum yang mengenai batuan, hal ini dijelaskan oleh hukum Mohr-Coulomb.

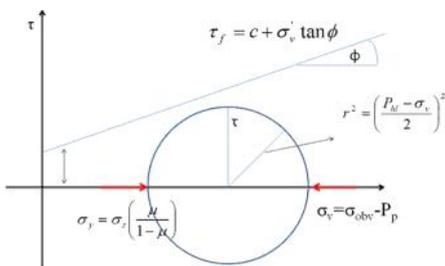
Batuan masih dalam keadaan stabil pada saat sebelum dilakukan *drilling*, dimana batuan tersebut tidak mengalami retakan, hal ini diakibatkan oleh tekanan yang diberikan terhadap batuan masih lebih kecil dari tegangan geser batuan. Saat proses pemboran berlangsung dan diberikan tekanan lumpur sebesar  $P_{hl}$ , maka dinding sumur akan mengalami reaksi dengan tekanan pori yang ada di formasi. tekanan batuan akan sama dengan tegangan gesernya, jika terdapat tekanan yang besar dari lumpur pemboran, sehingga batuan akan mengalami retakan. Proses terjadinya retakan pada batuan di dalam lubang bor dapat dilihat dari gambar 8.



**Gambar 8** Diagram tekanan di dalam lubang lumpur

3.3.2 Analisis lingkaran Mohr-Coulomb

Berdasarkan tekanan yang telah digambarkan di dalam lubang pemboran, sehingga diperoleh diagram lingkaran berdasarkan hukum Mohr-Coulomb seperti pada gambar 8 di bawah ini.



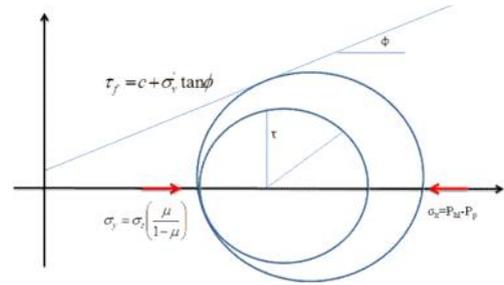
Gambar 9 Diagram Mohr Coulomb sebelum proses drilling

Gambar 9 memperlihatkan keadaan batuan sebelum dilakukan *drilling* dimana tidak terdapat retakan dan batuan masih dalam keadaan stabil, hal ini menjelaskan bahwa tekanan yang diberikan terhadap batuan tidak melebihi tegangan geser dari batuan tersebut. Saat proses *drilling* tekanan maksimum yang mengenai batuan sudah dipengaruhi oleh tekanan lumpur pemboran yang memberikan tekanan dari arah horizontal.

$$\sigma_{max} = P_{hl} - P_p \quad (9)$$

$$\sigma_{medium} = \sigma_{obv} - P_p \quad (10)$$

$$\sigma_{min} = \left(\frac{\mu}{1-\mu}\right) (\sigma_{obv} - P_p) \quad (11)$$

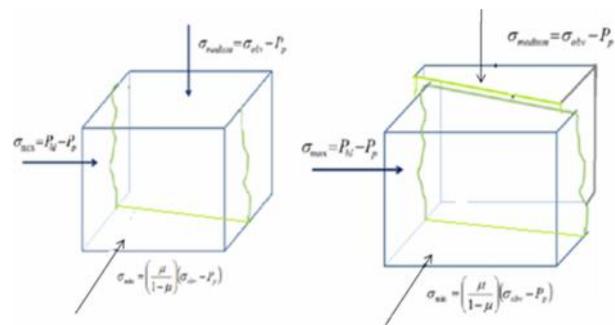


Gambar 10 Diagram Mohr Coulomb setelah proses drilling

Dari gambar 10 dapat dilihat jari-jari lingkaran Mohr semakin besar setelah dilakukan proses pemboran, akibat terjadinya pembesaran jari-jari lingkaran Mohr. Lingkaran Mohr yang pada awalnya tegangan gesernya tidak menyentuh garis singgung setelah mendapatkan tekanan maksimum dari lumpur pemboran dan mengakibatkan jari-jari lingkaran Mohr menjadi lebih besar, sehingga tegangan gesernya menjadi bersinggungan. Ketika lingkaran Mohr bersinggungan dengan garis singgungnya, maka syarat terjadi retakan terpenuhi.

3.3.3 Analisis arah retakan

Arah retakan yang terjadi pada formasi tersebut direpresentasikan oleh gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11 Arah dan bentuk retakan pada batuan di sumur X

Berdasarkan analisis dari kasus pada sumur X dapat disimpulkan bahwa bentuk retakan yang terjadi seperti yang ditunjukkan pada gambar 11, retakan yang terjadi pada sumur X

merupakan retakan yang sifatnya datar (*strike-strip*). Akibat retakan datar pada dinding sumur inilah yang menyebabkan terjadinya *loss circulation*.

#### 4. KESIMPULAN

*Loss circulation* yang terjadi pada sumur X di lapangan Pedada berada di beberapa titik pada kedalaman yang tidak terlalu dalam yaitu 565 ft, 575 ft, 577 ft dan 797 ft. *loss circulation* yang terjadi pada sumur X menimbulkan *flowing* yang akhirnya dapat diatasi dengan suatu metode yang disebut dengan LCM, dimana metode ini merupakan teknik menambahkan berat dari lumpur pemboran, *loss circulation* yang terjadi pada sumur X ini diakibatkan adanya retakan yang terjadi pada formasi batuan, hal ini diakibatkan oleh tekanan maksimum yang diberikan oleh lumpur pemboran dari arah horizontal.

Dengan menggunakan diagram Mohr-Coulomb dapat digambarkan perubahan formasi batuan, dari keadaan normal hingga terjadinya retakan. Pada keadaan normal dimana tegangan geser dari batuan sama dengan tekanan yang diberikan maka lingkaran tidak menyinggung garis normal. Saat formasi batuan mendapatkan tekanan maksimum yang sangat besar dan melebihi tegangan gesernya, maka jari-jari lingkaran Mohr akan semakin besar, hal ini mengakibatkan lingkaran Mohr menyinggung garis singgungnya.

Ketika lingkaran Mohr menyinggung garis singgung, maka diagram Mohr dapat mendeskripsikan bahwa batuan akan mengalami keretakan. Bentuk retakan yang terjadi pada formasi batuan adalah datar (*strike-strip*), hal inilah yang mengakibatkan lumpur pemboran masuk ke dalam formasi batuan sehingga mengakibatkan *loss circulation*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami dari hati yang paling dalam mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penelitian ini terutama Terimakasih saya ucapkan kepada BOB. PT. Bumi Siak - Pusako Pertamina-Hulu yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan observasi lapangan dan pengambilan data penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hughes, Baker. 1996. Formation Pressure Evaluation, Reference Guide. *INTEQ. Training & Development*. USA. 713-625-4890.
- [2] R. Ramadian. 2010. *Prediksi Tekanan Pori dengan Menggunakan Data Seismik 3D dan Data Sumur Untuk Mengoptimalkan Program Pengeboran di Area-K, Cekungan Sumatera Tengah*. Fakultas MIPA. Jakarta. Tesis
- [3] Rubian, H. 2004. *Well Engineering and Construction*
- [4] Wenny, W. 2016. Analisis Parameter Fisika Terhadap Pengendalian Tekanan Lumpur Pengeboran Studi kasus: prevensi *kick* dan *blowout*. Seminar Nasional Fisika. Jakarta. 2476-9398. Doi: 10.21009/0305020405
- [5] Adam T B Jr, Keith K M, Martin E C, F.S. Young Jr. 1986. *Applied Drilling Engineering*. Richardson. TX. 1-55563-001-4
- [6] Ozkale, A. 2006. *Overpressure Prediction by Mean Total Stress Estimate Using Well Logs for Compressional Environments with Strike-Slip or Reverse Faulting Stress State*. Petroleum Engineering. Texas A&M University. Thesis

- [7] Grace, R.D., Cudd, B., Carden, R.S., Shursen, J.L. 2003. *Blowout and well Control Handbook*. Dulf Professional Publisng, USA.
- [8] Charles, Ph dan Heugus, O. 1991. Evolution of Optimal Mud weight in Soft Shale Levels. *Rock Mechanics as a Multidisciplinary*. Roegiers (ed.). Rotterdam, 90 6191 194 X.
- [9] Dutta, N.C. 2012. Geopressure Prediction Using Seismik Data: Current and The Road Ahead. *Geophysics*. 67. no. 6 (2012-2041).
- [10] Bourgoyne, A.T., Millheim, K.K., Chenevert, M.E. dan Young, F.S. 1986. Applied Drilling Engineering. *Society of Petroleum Engineers*.
- [11] Souvi, Naser. 2009. *Pressure Measurement in Shale*. NTNU. Det Skapende Universitet
- [12] Terzaghi, Karl. 1943. *Theoretical Soil Mechanics*. New York
- [13] Imran, Muhammad. 2013. *A Critical Review Of An Improved Well Control Precedure For The Prevention Of Blowout*. Dalhousie University.
- [14] Craig, R.F. 2004. *Craig's Soil Mechanics, Seven Edition*, Department of Civil Engineering University of Dundee UK, London and New York.