

EVALUASI KINERJA LAPANGAN SNP DENGAN INJEKSI AIR MENGGUNAKAN METODE MATERIAL BALANCE

Marcia Violetha Rikumahu ^{1,*}, Geovanny Branchiny Imasuly ²

¹ Fakultas Teknik ; Universitas Pattimura ; Jl Ir Putuhena Teluk Ambon Maluku,
Telp: (0911)322626 ; e-mail: Rikumahumanuhutu@gmail.com

² Fakultas Teknik ; Universitas Pattimura ; Jl Ir Putuhena Teluk Ambon Maluku,
Telp: (0911)322626 ; e-mail: gimasuly@gmail.com

* Korespondensi: e-mail: Rikumahumanuhutu@gmail.com

Submitted: **02/03/2025**; Revised: **17/04/2025**; Accepted: **03/05/2025**; Published: **31/05/2025**

Abstract

Drilling operations do not always proceed smoothly as expected. Various issues can disrupt the drilling process and result in significant operational losses. Among the common problems encountered are lost circulation and stuck pipe incidents. Lost circulation often occurs in highly fractured formations, while stuck pipe events can lead to additional costs associated with non-productive time and fishing operations. In Well X, the causes of lost circulation and stuck pipe incidents were analyzed from several aspects, including drilling fluid properties, formation characteristics, hydrostatic pressure calculations, and pressure differentials. The analysis revealed that the primary cause of the stuck drill string was differential pressure resulting from excessive mud density, which caused the drill string to adhere to the formation wall. Additionally, the loss of drilling mud into the formation contributed to the problem, leading to financial losses, particularly in terms of drilling fluid costs. Both lost circulation and stuck pipe incidents can hinder well completion, ultimately increasing the drilling time and cost beyond initial projections. Therefore, a detailed investigation was conducted to determine the causes of these issues and assess the mitigation measures that had been implemented. In Well X, the stuck pipe problem was addressed using lost circulation materials (LCM) selected based on compatibility with the penetrated formation to optimize drilling operations. The evaluation focused on the drilling mud properties, including its rheology, as well as the drilling equipment used. These efforts were undertaken to ensure the continuation of drilling operations and the successful completion of the well.

Keywords: *Stuck Pipe, differential pressure, Lost Circulation, Lost Circulation Material*

Abstrak

Operasi pengeboran yang dilakukan tidak selalu berjalan dengan lancar seperti yang diharapkan. Masalah-masalah yang mengganggu operasi pemboran dan akan membuat kerugian. Salah satu permasalahan yang terjadi pada operasi pemboran yaitu kehilangan sirkulasi (Lost circulation) dan pipa terjepit (Stuck Pipe). Sirkulasi yang hilang sering terjadi pada formasi yang sangat retak dan Pipa yang macet dapat menyebabkan biaya tambahan untuk operasi yang hilang di lubang dan fishing operation. Penyebab Sirkulasi yang hilang dan terjepitnya rangkaian pipa bor pada sumur X ini dianalisa dari beberapa aspek yaitu aspek lumpur pemboran, aspek formasi, aspek perhitungan tekanan hidrostatik, formasi, dan perbedaan tekanan, setelah dilakukan analisa terhadap beberapa aspek tersebut ternyata penyebab terjepitnya rangkaian pipa bor pada sumur X adalah differential pressure akibat tingginya density sehingga membuat rangkaian drill string menempel pada dinding formasi dan masalah hilangnya lumpur ke dalam formasi, hal ini dapat menyebabkan kerugian terutama dari biaya pemboran khususnya biaya fluida pemboran. Sirkulasi yang hilang dan terjepitnya rangkaian pipa bor akan menghambat penyelesaian sumur yang akan mengakibatkan meningkatnya waktu dan biaya pemboran dari yang telah direncanakan. Maka diteliti mengenai penyebab sirkulasi yang hilang dan terjepitnya rangkaian pipa bor serta penanggulangan yang telah dilakukan. Permasalahan

pipa yang terjepit pada sumur X diselesaikan dengan menggunakan lost circulation material (LCM) yang sesuai dengan formasi yang ditembus oleh pahat untuk optimalnya operasi pemboran. Evaluasi yang dilakukan adalah berkaitan dengan lumpur yang digunakan beserta dengan rheologynya dan alat pemboran yang digunakan. Hal ini dilakukan, sehingga operasi pemboran dapat terus dilanjutkan dan penyelesaian sumur dapat dilakukan dengan baik.

Kata kunci: *Stuck Pipe, differential pressure, Lost Circulation, Lost Circulation Material*

1. Pendahuluan

Pemboran adalah kegiatan yang ditunjukkan untuk membuktikan dan memproduksi hidrokarbon. Dalam operasi pemboran yang dilakukan tidak selalu berjalan dengan lancar seperti yang diharapkan. Adakalanya terjadi masalah-masalah yang mengganggu operasi pemboran dan sangat merugikan (J.J. Azar & G. Robello Samuel, 2007). Salah satu masalah dalam pemboran itu adalah stuck pipe / pipa terjepit. Masalah-masalah yang berhubungan dengan pemboran sumur minyak sebagian besar disebabkan oleh karena gangguan terhadap *Hole Stability* (kestabilan lubang bor) (Akrimah et al., 2015). Lubang bor dijaga agar tetap stabil dengan cara menyeimbangkan tegangan tanah dan tekanan pori di satu sisi dengan tekanan lumpur pemboran di sekitar lubang bor dan komposisi kimia lumpur bor pada sisi yang lain. Setiap kali keseimbangan ini diganggu maka timbullah masalah-masalah di lubang bor (Buntoro 2022). Masalah-masalah pemboran dapat diklasifikasikan ke dalam tiga bagian, yaitu, pipa terjepit (pipe stuck), shale problem dan hilang lumpur (Lost circulation). Terdapat Jenis – jenis pipa terjepit adalah *Differential pipe sticking, Mechanical pipe sticking* (jepitan mekanis), *Key seat, Pack off* Sumur X (Taqi and Assi 2024).

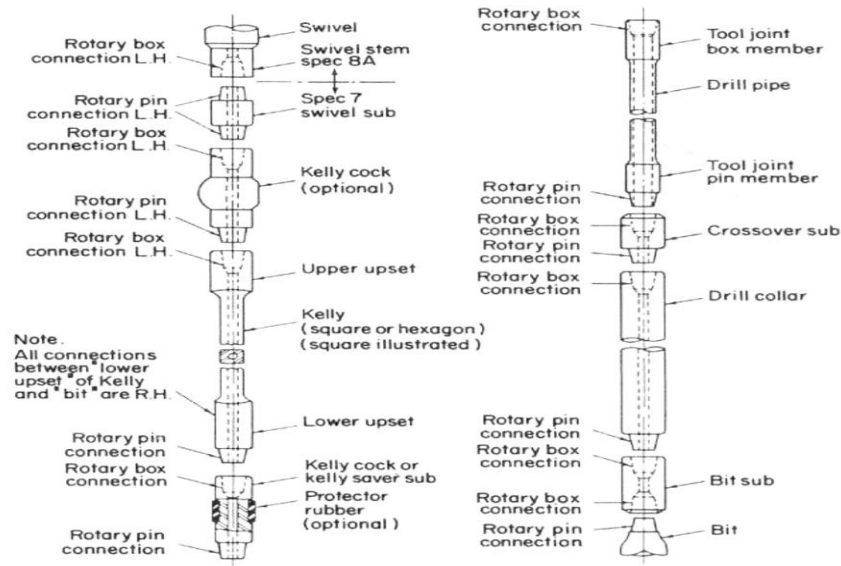
Permasalahan yang timbul dalam penelitian ini adalah Pada pemboran trayek 121/4 terjadi masalah stuck secara differensial yang disebabkan karena adanya perbedaan tekanan yang cukup besar antara tekanan hidrostatik lumpur dengan tekanan formasi pada interval kedalaman 7444 ft MD. Evaluasi dan analisis dalam penggunaan lost circulation material (LCM) untuk mengatasi stuck pipe dan loss circulation yang sesuai dengan formasi yang ditembus oleh pahat dalam optimalnya operasi pemboran. Penggunaan LCM jenis Fibroseal F dan CaCo3 lebih efektif digunakan pada jenis seepage lost, yang diharapkan bahan tersebut dapat menutup pori-pori yang ada pada formasi pasir atau formasi karbonat.

2. Metode Penelitian

Dalam suatu pemboran baik vertical, directional, maupun horizontal tidak selalu berjalan sesuai dengan yang direncanakan, ada kalanya ditemui beberapa masalah-masalah yang menghambat proses pemboran, baik pada saat melakukan pemboran ataupun setelah proses pemboran, sehingga bisa merugikan secara biaya, waktu maupun tenaga.

2.1. Terjepitnya pipa (Stuck Pipe)

Salah satu masalah dalam operasi pemboran adalah pipa terjepit (stuck pipe), maksudnya adalah pipa tidak dapat digerakkan di dalam lubang (tidak bisa diputar dan diangkat) atau bisa diputar tapi tidak bisa diangkat. Akibat dari terjepitnya pipa pemboran adalah terhambatnya operasi pemboran dan meningkatnya biaya tambahan untuk mengatasi pipa terjepit dan sewa rig yang ditanggung oleh perusahaan (Taqi and Assi 2024). Sebelum membahas tentang pipa terjepit, terlebih dahulu kita mengetahui beberapa komponen dari pipa (drillstring). Komponen-komponen yang utama dari suatu rangkaian drillstring adalah Top Drive, Drillpipe, Drill Collar (Salah satu rangkaian Bottom Hole Assembly), dan Bit. Selain peralatan di atas juga ada beberapa rangkaian yang lain yang termasuk dalam suatu rangkaian Bottom Hole Assembly, di antaranya adalah *Heavy Weight Drill Pipe, Drilling Jar, Stabilizer, Reamer NonMagnetic Drill Collar (NMDC), Shock Sub, Telescope, Measure While Drilling (MWD), Logging While Drilling (LWD), Down Hole Mud Motor, Bit* (Bourgoyne et al. 1986).



Gambar 1. Komponen Drillstring

2.2. Penanggulangan Pipa

Penanggulangan terhadap pipa yang terjepit dapat dilakukan dengan cara-cara antara lain:

a) Sirkulasi

Usaha yang sering dilakukan adalah memberikan sirkulasi lumpur dengan aliran yang cukup tinggi kepada daerah yang mengalami penjepitan, pemberian sirkulasi ini dimaksudkan agar padatan yang menyumbat lubang dapat terangkat oleh aliran sirkulasi lumpur yang terus menerus dan cukup tinggi.

b) Perendaman

Perendaman dilakukan setelah diketahui secara pasti letak titik terjepitnya pipa, setelah itu dipersiapkan sejenis bahan larutan perendaman khusus, antara lain adalah : pipe lax, pipe loose, stuck breaker, black magic dan masih banyak lagi larutan perendaman lain. Larutan perendaman itu kemudian dicampur dengan ADO (Automotive Diesel Oil) atau minyak solar dengan perbandingan kepekatan tertentu. Pada saat perendaman berlangsung lakukan gerakan sentakan naik atau sentakan turun dan putaran pada rangkaian pemboran tersebut atau lebih dikenal dengan work on pipe.

c) Metode Regang Lepas (Work on Pipe)

Metoda ini adalah metoda yang harus dilakukan pertama kali pada waktu pipa mengalami stuck. Metode Regang Lepas (Work on pipe) adalah upaya pembebasan rangkaian pipa terjepit dengan mengaktifkan alat jar yang beroperasi pada beban tarik tertentu. Sentakan turun biasanya ± 35.000 lbs sampai ± 50.000 lbs dan sentakan naik biasanya antara 80.000 lbs sampai 110.000 lbs.

d) Mechanical Back Off

Penggunaan mechanical back off ini bertujuan untuk melepaskan rangkaian pemboran pada bagian sambungan sedekat mungkin dengan letak bagian yang terjepit dengan cara memberikan torsi kekiri (berlawanan dengan arah pengencangan pipa) dan diberikan tarikan tegangan yang cukup setara dengan berat panjang pipa yang masih bebas, sehingga sambungan yang akan dilepaskan berada sedekat mungkin dengan bagian yang terjepit

2.3. Sirkulasi yang hilang (Lost Circulation)

Masalah pengeboran yang paling umum adalah sirkulasi yang hilang. Sirkulasi yang hilang bisa tercipta hanya biaya tambahan karena memerangi waktu, material, dan membuat masalah lubang lainnya (Mitchell and Miska 2011). masalah umum yang muncul dengan sirkulasi yang hilang sebagai berikut:

1. Pipa Terjebak adalah masalah umum setelah kehilangan sirkulasi, cairan pengeboran gagal mengangkat stek dari lubang bawah selama pengeboran di zona yang hilang.
2. Kehilangan juga dapat menyebabkan masalah stabilitas sumur, penurunan kolom lumpur dapat menyebabkan tekanan lubang sumur rendah.

3. Biaya cairan pengeboran. Hilangnya cairan pengeboran ke formasi tidak dapat dipulihkan.
4. Kontrol Dengan Baik. Penurunan tingkat cairan annulus menurunkan tekanan hidrostatik, yang dapat menyebabkan uap /masuknya fluida formasi ke dalam lubang sumur.
5. Kerusakan formasi. Sebagian besar zona kerugian berada di zona produksi. Cairan pengeboran dapat dibuat kerusakan formasi di area tersebut.
6. Pekerjaan penyemenan yang sulit, bubur semen yang hilang hingga retak dapat menyebabkan hasil penyemenan yang buruk. Untuk Misalnya, hilangnya bubur semen selama penyemenan membuat penyegelan yang buruk di annulus antara casing dan lubang sumur. Casing yang tidak disemen dapat menyebabkan masalah lain dalam masa hidup sumur.

Memerangi sirkulasi kerugian bergantung pada banyak faktor, salah satu faktor terpenting adalah lokasi/kedalaman. Perlakuan kehilangan pada kedalaman dangkal tidak mempengaruhi zona produksi. Sedangkan di zona produksi, kerusakan formasi harus dipertimbangkan ketika berhadapan dengan sirkulasi yang hilang. Ada beberapa cara untuk mengatasi kerugian sirkulasi. Pengeboran dengan sirkulasi yang hilang adalah cara pertama. Mengebor dengan sirkulasi yang hilang berarti mengebor tanpa pengembalian. Istilah lapangan umum adalah "blind drilling". Air terus-menerus dipompa ke bawah annulus dan pipa bor. Stek didorong kembali ke formasi retak.

Teknik ini membutuhkan banyak air. ROP harus dipertahankan untuk memastikan pemuatan pemotongan yang cukup. Hi-viskositas Sapuan cairan diperlukan untuk interval pengeboran beberapa meter untuk memastikan pembersihan lubang. Bor dengan cairan ringan. Ada tiga kategori cairan ringan: udara, busa, dan aerasi. Udara hanya dapat digunakan di mana produksi cair tidak ada. Busa dapat digunakan untuk mengangkat stek yang lebih besar/berat. Cairan aerasi adalah solusi untuk menyediakan tekanan hidrostatik sedikit di bawah tekanan formasi. Di sumur panas bumi di mana suhunya besarmasalah, surfaktan perlu ditambahkan ke cairan untuk mengatasi efek panas. Diperlukan sapuan cairan dengan viskositas tinggi untuk beberapa meter interval pengeboran untuk memastikan pembersihan lubang.

2.4. Sifat Fisik Lumpur

Dalam perencanaan lumpur pemboran dimana sifat fisik lumpur yang digunakan disesuaikan dengan formasi yang akan ditembus. Adapun sifat fisik yang diuji dalam tulisan ini adalah yang berhubungan dengan pengaruh terjadinya loss dan kaitannya dengan fungsi lumpur itu sendiri (Agwu et al. 2021), yaitu :

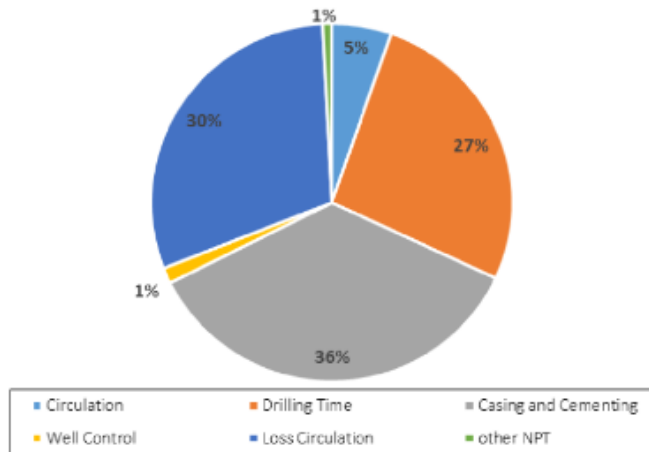
1. Berat lumpur atau densitas (ppg), dimana fungsi densitas adalah mengimbangi tekan formasi agar tidak terjadi kick pada saat pemboran berlangsung.
2. Plastic viscosity (cp) yang berfungsi mengangkat serbuk bor dari dasar lubang ke permukaan.
3. Yield Point (lb/100 ft²) yang merupakan sifat aliran lumpur dalam keadaan dinamis.
4. Gel Strength (lb/100 ft²) yang merupakan sifat liran atau tahanan lumpur dalam keadaan statis.
5. API Fluid loss (ml/30 menit), dimana kalau nilai in terlalu besar dapat mengakibatkan terjadinya swelling clay pada formasi shale.
6. pH Fltrate, dimana pH ini diisahkan bersifat basa untuk mencegah terjasinya korosi pada pipa pemboran.

2.5. Lost Circlation Material

Lost circulation material merupakan additif yang digunakan sebagai tambahan untuk mecegah terjadinya hilang lumpur pada saat pemboran. Jenis LCM dapat berbentuk butiran kecil (granular), serph (flake) dan serat (fibrous). Bahan tersebut dirancang untuk menutup rekahan atau zona yang mempunyai permeabilitas tinggi. Fibroseaf F merupakan material yang mempunyai bentuk butiran halus (fine), sehingga diharapkan dapat menutup pori atau rekahan kecil yang ada pada formasi pasir, sedangkan CaCO₃ juga digunakan adalah jenis yaitu fine (F).

3. Hasil dan Pembahasan

Pemboran Sumur X merupakan pemboran berarah (*directional drilling*) yang merupakan sumur eksplorasi dengan obyektif utama pada reservoir batu pasir, serpih, batu lempung, batu lanau, dan beberapa sisipan batu gamping dengan tujuan mendapat kedalaman akhir 9959 ft MD/ 6571 ft TVD, Target hari pengeboran : 38 hari dan Kedalaman aktual di interval 4852 – 9603 ft MD, Hari pengeboran aktual : 52 hari. Masalah yang terjadi pada Trayek 12 ¼" ini adalah pipa terjepit dan *lost circulation* pada kedalaman 7444 ft MD. Indikasi – indikasi terjadinya pipa terjepit adalah dengan naiknya torsi hingga 2000 ft lbs, sirkulasi normal, namun rangkaian tidak dapat digerakan. Faktor – faktor penyebab terjadinya pipa terjepit pada trayek ini adalah tidak optimalnya lumpur yang digunakan. Gambar 2 menunjukkan rincian operasi sumur X. Total waktu untuk memerangi loss pada sumur ini adalah 194 jam atau 30% dari total waktu operasi. Waktu sirkulasi yang hilang disajikan dalam bagan tersebut berdasarkan perhitungan waktu tidak produktif; yaitu hanya waktu tanpa pengeboran dan waktu dengan pengeboran terbatas tercatat dalam grafik ini. Peristiwa sirkulasi hilang lainnya, di mana pengeboran normal dimungkinkan, dicatat sebagai waktu pengeboran. Seperti dijelaskan sebelumnya, sirkulasi yang hilang juga menimbulkan masalah pada casing dan penyemenan. Total waktu yang digunakan untuk operasi casing dan cementing adalah 36% dari total waktu operasi.



Gambar 2. Operation Time Sumur X

Bahan Yang Digunakan

Berikut ini dapat dilihat tabel 3.1, yaitu komposisi dari lumpur dasar yang digunakan pada percobaan laboratorium.

Tabel 3.1 Komposisi Lumpur Dasar

Bahan	Konsentrasi
Fresh water, ml	334
Soda Ash, ppb	0,5
Caustic Soda, ppb	1,0
7 %Kcl ppb	20
Bentonie, ppb	25
CMC, ppb	2
XCD, ppb	3,5

Dari lumpur dasar tersebut kemudian ditambahkan additive LCM Fibroseal F, sebanyak 4 ppb, 10 ppb, 20 ppb dan 30 ppb, serta ditambahkan pula CaCO₃ F sebanyak 8 ppb, 15 ppb, 25 ppb dan 35 ppb. Dari ke lima komposisi lumpur tersebut setelah ditambahkan aditif Fibroseal F dan CaCO₃ F menjadi seperti tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Komposisi sisitim Lumpur KCl Polymer

Bahan	Lumpur Dasar	Lumpur A	Lumpur B	Lumpur C	Lumpur D
Fresh water, ml	334	334	334	334	334
Soda Ash, ppb	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Caustic Soda, ppb	1	1	1	1	1
7 %Kcl ppb	20	20	20	20	20
Bentonie, ppb	25	25	25	25	25
CMC, ppb	2	2	2	2	2
XCD, ppb	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Fresh water, ml	0	4	10	20	30
Soda Ash, ppb	0	8	15	25	35

Dari lumpur dasar jenis KCl Polymer seperti terlihat pada tabel 3.2, maka selanjutnya ditambahkan kombinasi additif Fibroseal dan CaCO₃ dengan variasi ppb, kemudian dianalisis sifat-sifat rheologi lumpur tersebut seperti densitas, plastic viscosity, yield point, gel strength, API Fluid loss dan pH.

Analisis Perubahan Sifat Rheologi Lumpur KCL Polymer dengan Penambahan Fibroseal dan CaCo3

Pada percobaan laboratorium dimana lumpur KCl polymer yang ditambahkan LCM Fibroseal F dan CaCO₃ F, dimana pada bab in akan dibahas pengaruh penambahan LCM tersebut dengan berbagai komposisi terhadap perubahan sifat rheologi lumpurnya terutama adalah API fluid loss, karena sifat ini sangat berpengaruh terhadap kestabilan lubang bor atau bore hole stability. Berikut bawah ini adalah tabel hasil percobaan laboratorium, yaitu sifat rheologi yang dihasilkan.

Tabel 3.3 Sifat Rheologi yang Dihasilkan Oleh Penambahan Fibroseal dan CaCo3

Sifat Rheologi	Lumpur Dasar	Lumpur A	Lumpur B	Lumpur C	Lumpur D
Densitas, ppg	8,8	8,91	8,92	8,94	9,01
Plastic Viscosity, cp	10	12	13	15	17
Yield Point, $lb/100ft^2$	19	21	24	25	26
Gel Strength $10' lb/100ft^2$	8	10	13	14	15
Gel Strength $10'' lb/100ft^2$	10	11	15	18	19
Fluid Loss, cc/ 30 Menit	6	5,4	5,1	4,8	4,5
pH	12	11,5	11,2	10,8	10,5

Dari hasil uji laboratorium, terlihat bahwa penambahan Fibroseal dan CaCO₃ dapat menaikkan sifat rheologi lumpur KCl Polymer seperti plastic *viscosity*, *yield point* dan *gel strength*, tetapi kenaikan tersebut masih dalam batas toleransi yang diijinkan untuk penggunaan lumpur pemboran. Dari hasil uj tersebut terlihat adanya penurunan fluid loss secara signifikan, dimana semakin banyak penambahan LCM tersebut semakin besar penurunan harga fluid loss, seperti terlihat pada tabel 3.3. Dari hasil tersebut berarti penambahan LCM tersebut sangat baik digunakan pada lumpur KCl Polymer. Besarnya penambahan ppb LCM dapat disesuaikan dengan jenis loss yang terjadi pada formasi yang dibor, untuk pemaakain jenis Fibroseal F dapat digunakan pada formasi batu pasir yang mempunyai pori-pori atau rekahan yang menyebabkan terjadinya *seepage loss*. Penurunan harga PH merupakan indikasi bahwa material LCM Fibroseal maupun CaCO₃ lebih bersifat merurunkan kebasahan fluida lumpur KCL Polymer, tetapi penurunan tersebut masih dalam batas aman untuk suatu fluida pemboran, yang mana disarankan masih diatas 9. Evaluasi masalah stuck pipe dan lost circulation dengan penggunaan material LCM Fibroseal maupun CaCO₃ dapat membantu meningkatkan kekuatan mekanik lumpur pemboran. LCM dapat digunakan di dalam celah atau retakan pada formasi reservoir dan membantu mengurangi tekanan hidrostatik di dalam sumur, sehingga dapat membantu mengurangi risiko terjadinya *stuck pipe*, karena memberikan kontribusi dalam upaya pemulihan pipa yang terjebak. Dalam situasi *stuck pipe*, karena LCM dapat mengisi celah antara pipa dan dinding sumur yang dapat membantu mengurangi gesekan dan meningkatkan kemampuan untuk mengeluarkan atau menarik pipa yang terjebak.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi problem pemboran dan penanggulangan yang dilakukan pada Sumur X, maka didapat kesimpulan bahwa penggunaan LCM Fibroseal F dan CaCO₃ F yang mempunyai butiran halus sangat baik dalam mengatasi adanya kehilangan lumpur pada formasi batuan pasir yang porous. Penambahan LCM yang semakin besar, maka penurunan harga fluid loss semakin kecil, sehingga dapat memperbaiki kestabilan lubang bor. Kenaikkan sifat rheologi lumpur seperti *plastic viscosity* dan *gel strength* dengan penambahan LCM masih dalam batas toleransi untuk digunakan pada operasi pemboran lumpur KCl Polymer. Begitu juga dengan penurunan harga pH masih dalam batas toleransi yakni masih bersifat basa.

Daftar Pustaka

- Akrimah, A., Satyawira, B., & Sundja, A. (2015). Evaluasi Penyebab Pipa Terjepit Pada Sumur M di Lapangan "X" di Pertamina EP. Seminar Nasional Cendekiawan.
- J.J. Azar, & G. Robello Samuel. (2007). Drilling Engineering.
- Agwu, Okorie E et al. 2021. "A Critical Review of Drilling Mud Rheological Models." *Journal of Petroleum Science and Engineering* 203(February): 108659. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108659>.
- Ahmed, Omogbolahan S., Beshir M. Aman, Majed A. Zahrani, and Folorunsho I. Ajikobi. 2019. "Stuck Pipe Early Warning System Utilizing Moving Window Machine Learning Approach." *Society of Petroleum Engineers - Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2019, ADIP 2019*.
- Bourgoyne, Adam T., Keith K. Millheim, Martin E. Chenevert, and F.S. Young. 1986. *Applied Drilling Engineering Applied Drilling Engineering*.
- Buntoro, Aris. 2022. *Perencanaan Dan Solusi Masalah*.
- Mitchell, Robert F., and Stefan Z. Miska. 2011. *12 Fundamentals of Drilling Engineering Fundamentals of Drilling Engineering*.
- Nugroho, W. A., S. Hermawan, B. H. Lazuardi, and R. Mirza. 2017. "Drilling Problems Mitigation in Geothermal Environment, Case Studies of Stuck Pipe and Lost Circulation." *Society of Petroleum Engineers - SPE/IATMI Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition 2017 2017-January(i)*.
- situmorang, kalfin, bayu satiyawira, and Ali sundja. 2015. "170817-ID-Evaluasi-Terjepitnya-Rangkaian-Pipa-Pemb." *Seminar Nasional Cendekiawan 2015*: 197–203.
- Taqi, Ahmed, and Amel Habeeb Assi. 2024. "A Comprehensive Review of the Pipe Sticking Mechanism in Oil Well Drilling Operations." (November).