

ANALISIS TEORETIS PENGARUH KONDISI LUBANG BOR TERHADAP KEBERHASILAN *FISHING JOB*

Nova Sulfiany¹, Bambang Yudho Suranta^{1*}, Wahyudi²

¹ Teknik Produksi Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan Gajah Mada No.38 Cepu, Blora, Jawa Tengah, 58312

² Pertamina EP Asset 5 Bunyu Field, Jalan Dermaga No.1 Pulau Bunyu, Bulungan, Kalimantan Utara, 77181

*E-mail: yudhosuranta@gmail.com

ABSTRAK

Proses pemboran memiliki peran penting dalam industri minyak dan gas bumi karena berfungsi untuk menembus lapisan batuan yang berpotensi mengandung hidrokarbon. Operasi pemboran sering menghadapi permasalahan *stuck pipe* akibat kondisi lubang bor yang tidak stabil, sehingga diperlukan tindakan *fishing job* untuk mengambil peralatan atau benda asing yang tertinggal di dalam sumur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara teoretis hubungan antara kondisi lubang bor dan tingkat keberhasilan operasi *fishing job*. Metode yang digunakan berupa kajian literatur dan analisis konseptual berdasarkan prinsip geomekanika dan mekanika fluida, dengan mempertimbangkan parameter seperti stabilitas lubang bor, geometri sumur, serta karakteristik *filter cake*. Hasil analisis menunjukkan bahwa ketidakstabilan lubang bor, deformasi geometri, dan pembentukan filter cake yang tebal dapat meningkatkan gaya gesek serta menurunkan efisiensi *fishing job*. Sebaliknya, pengendalian tekanan lumpur dan optimasi desain fluida pemboran mampu menjaga stabilitas lubang serta meningkatkan peluang keberhasilan operasi. Kajian ini memberikan dasar teoretis bagi pengendalian kondisi lubang bor guna meningkatkan efektivitas dan keselamatan operasi *fishing job* di lapangan migas.

Kata kunci: *filter cake*, *fishing job*, kondisi lubang bor, stabilitas formasi, *stuck pipe*

1. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas bumi di Indonesia menghadapi tantangan teknis yang semakin kompleks seiring meningkatnya kegiatan eksplorasi pada formasi yang bertekanan tinggi dan memiliki karakteristik geologi bervariasi. Setelah kegiatan eksplorasi selesai, akan dilanjutkan dengan pemasangan alat produksi bawah permukaan dan alat produksi di permukaan. Peralatan produksi bawah permukaan berupa *drill string*, komponen BHA, casing/tubing, packer, atau subsurface safety valve. Peralatan produksi di permukaan berupa Well Head, X-Mas Tree, BOP, mud system, serta unit wireline/coiled tubing. Pada operasi pemboran, kondisi lubang bor sering kali dipengaruhi oleh sifat mekanik formasi seperti serpih reaktif, batupasir berpori tinggi, atau zona lemah bertekanan abnormal yang banyak dijumpai di lapangan migas Sumatera, Kalimantan, dan Jawa Timur [1]-[4] [18].

Dalam kurun waktu tertentu, sumur-sumur migas akan mengalami penurunan produksi yang dipengaruhi oleh peralatan produksi atau faktor reservoirnya. Penurunan laju produksi minyak dari suatu sumur dengan seiring berjalannya waktu merupakan fenomena alami akibat berkurangnya tekanan reservoir selama proses eksploitasi, namun jika penurunan produksi terjadi secara signifikan, hal tersebut menandakan adanya problem produksi yang serius. Problem produksi ini harus diidentifikasi secara dini untuk dapat ditangani sebelum problem produksi terjadi maupun belum terjadi [5].

Penanganan problem produksi yang tepat akan mengembalikan sumur berproduksi dengan kapasitas yang optimum. Untuk mengatasi hal ini, perlu dilakukan pekerjaan ulang/ reparasi/ *workover* dan atau *well service*. Saat melakukan pekerjaan perawatan sumur (*Well Service*) pada sumur produksi, tidak jarang peralatan produksi tertinggal maupun terjatuh ke dalam lubang sumur. Tidak hanya peralatan produksi, peralatan bor juga berperan dalam sumbangsih *fish* dalam lubang sumur. Peralatan yang tertinggal itu harus diambil/diangkat agar dapat mengembalikan kondisi awal sumur dalam memproduksi minyak. Pekerjaan untuk mengambil peralatan yang tertinggal di dalam lubang sumur itu disebut *fishing job* [6]-[9].

Selama proses ini terjadi, berbagai tantangan teknis dapat muncul akibat kondisi geologi bawah permukaan sumur yang kompleks dan sulit diprediksi. Salah satu masalah paling umum dan berdampak besar terhadap efisiensi operasi pemboran adalah *stuck pipe*, yang dimana *stuck pipe* terjadi ketika rangkaian alat bor kehilangan kemampuan bergerak secara vertikal maupun rotasional di dalam lubang sumur [10], [11].

Permasalahan *stuck pipe* menjadi fokus penting karena menimbulkan operasi *non-productive time* (NPT) yang cukup besar serta berdampak pada peningkatan biaya yang tinggi dan peningkatan biaya operasional secara signifikan. Dalam beberapa kasus, kerugian ekonomi akibat *stuck pipe* dapat mencapai puluhan hingga ratusan juta dolar setiap tahunnya. Selain itu, kondisi pemboran yang tidak stabil dapat menyebabkan keruntuhan lubang bor (*wellbore collapse*), sirkulasi hilang (*lost circulation*), hingga kehilangan sumur (*total wellbore loss*) [10], [12].

Apabila upaya pelepasan *stuck pipe* tidak berhasil, langkah yang umum dilakukan selanjutnya adalah *fishing job*, yaitu kegiatan untuk mengambil peralatan atau benda asing yang tertinggal di dalam lubang bor (*fish*) agar operasi pemboran dapat dilanjutkan. Keberhasilan *fishing job* menjadi penentu utama kelanjutan proyek, sebab kegagalannya dapat menyebabkan pembatalan pengeboran atau bahkan penutupan sumur secara permanen [9]. Secara umum, *stuck pipe* terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu *mechanical sticking* dan *differential sticking* [7], [13]. *Mechanical sticking* disebabkan oleh hambatan fisik dalam lubang bor, seperti penumpukan serbuk bor (*cuttings bed*), runtuhnya formasi, atau geometri lubang yang tidak ideal seperti *tight hole* dan *keyseat*. Pada formasi serpih, pengaruh mekanis dan kimia sering memicu ketidakstabilan lubang bor, menyebabkan terbentuknya *pack-off* maupun *bridging* yang menghambat aliran sirkulasi serta pergerakan pipa [10], [12]. Sedangkan *differential sticking* muncul akibat ketidakseimbangan tekanan antara lumpur pemboran dan formasi, yang menekan rangkaian alat bor ke arah dinding dan menyebabkan adhesi pada lapisan filter cake di batuan permeabel [7].

Kedua mekanisme tersebut erat kaitannya dengan kondisi fisik lubang bor, mencakup aspek kestabilan dinding, konfigurasi geometri lubang serta karakteristik filter cake yang terbentuk akibat interaksi fluida pemboran dengan formasi. Faktor-faktor ini tidak hanya menentukan risiko *stuck pipe*, tetapi juga berperan penting dalam menentukan tingkat keberhasilan operasi *fishing job*, karena kondisi lubang yang tidak ideal dapat menghambat pergerakan dan efektivitas alat *fishing* [7], [8], [14].

Sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada identifikasi penyebab *stuck pipe* dan metode pencegahannya, seperti pengaturan tekanan lumpur dan pemilihan fluida pemboran yang sesuai. Namun, belum banyak studi yang secara spesifik menganalisis hubungan teoretis antara kondisi lubang bor dan tingkat keberhasilan *fishing job*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pemahaman konseptual mengenai keterkaitan antara faktor geomekanika, stabilitas lubang bor, serta karakteristik *filter cake* terhadap efisiensi dan keberhasilan operasi *fishing job* di lapangan migas.

Selain itu, penelitian ini menawarkan *novelty* berupa pengembangan model teoretis yang menjelaskan keterkaitan antara kondisi lubang bor dan peluang keberhasilan *fishing job*.

Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah terhadap peningkatan strategi pencegahan *stuck pipe* serta optimasi perencanaan *fishing job* yang lebih efisien dan aman. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mendeskripsikan fenomena operasional di lapangan, tetapi juga menyajikan analisis teoretis yang dapat menjadi rujukan bagi pengembangan metode pengendalian kondisi lubang bor pada operasi pemboran dan *well intervention* di industri migas.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara teoretis mekanisme terjadinya mechanical sticking dan differential sticking serta pengaruhnya terhadap keberhasilan *fishing job*, mengidentifikasi dan menjelaskan faktor-faktor kondisi lubang bor (stabilitas, geometri, dan karakteristik filter cake) yang paling berpengaruh terhadap proses *fishing job*, serta menyusun dasar teoritis yang menjelaskan hubungan dan memahami secara teoritis antara kondisi lubang bor dan tingkat keberhasilan *fishing job* berdasarkan kajian literatur dan prinsip-prinsip ilmiah yang relevan.

Penelitian ini didasarkan pada konsep-konsep utama dalam rekayasa pemboran, mekanika fluida, dan geomekanika, yang menjadi dasar dalam menganalisis interaksi antara rangkaian bor dan dinding lubang.

A. Mekanisme Stuck Pipe

Stuck pipe dibagi menjadi dua tipe utama:

Mechanical sticking, disebabkan oleh hambatan fisik seperti serbuk bor yang menumpuk, runtuhnya batuan, atau penyempitan lubang bor (*tight hole*). Ketidakstabilan lubang bor dapat menyebabkan deformasi dan keruntuhan dinding, membentuk penyumbatan (*pack-off*) yang menghambat pergerakan pipa [12].

Differential sticking, terjadi akibat gaya hisap (*suction force*) dari perbedaan tekanan antara kolom lumpur dan formasi, yang menekan pipa ke lapisan filter cake. Tingkat keparahannya dipengaruhi oleh luas kontak, tekanan diferensial, dan koefisien gesekan di antara permukaan [7], [8], [10]. *Differential sticking* dapat dinyatakan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F = \Delta P \times A \times \mu \quad (1)$$

B. Kondisi Lubang Bor

Kondisi lubang bor mencakup tiga aspek penting:

Stabilitas Lubang Bor, menggambarkan kapasitas formasi batuan untuk menjaga integritas dan bentuk lubang agar tetap terjaga sepanjang kegiatan pemboran berlangsung. Ketidakstabilan yang seringkali terjadi disebabkan oleh ketidakseimbangan antara tegangan batuan, tekanan lumpur, dan kekuatan batuan formasi [14], [15].

Geometri Lubang Bor, meliputi bentuk dan ukuran lubang. Variasi bentuk dan ukuran lubang bor seperti *tight hole*, *dogleg*, atau *enlargement* yang signifikan dapat memengaruhi rangkaian alat bor atau alat *fishing* terjebak dan efisiensi serta tingkat keberhasilan pelaksanaan *fishing job* [10].

Filter Cake, lapisan filter cake dengan ketebalan dan adhesi yang tinggi memperbesar gaya gesekan antara alat *fishing* dan dinding lubang, sehingga mengurangi peluang keberhasilan operasi, terutama saat terjadi differential sticking [7]. Konsep-konsep teoretis tersebut kemudian dijadikan dasar dalam penyusunan kerangka konseptual dan pengembangan proposisi teoritis untuk memahami hubungan antar-parameter secara logis.

C. Operasi *Fishing Job*

Fishing job adalah proses teknik untuk mengambil kembali peralatan atau material asing yang tertinggal di dalam lubang bor agar operasi dapat dilanjutkan. Proses ini mencakup tiga tahap utama:

- (1) Mencapai lokasi fish,
- (2) Mengait dan mengunci fish dengan alat fishing, dan
- (3) Menarik fish ke permukaan.

Keberhasilan operasi ini sangat bergantung pada kondisi lubang bor yang memungkinkan alat bekerja secara efektif [9].

D. Gaya Gesek

Gaya gesek antara rangkaian bor atau alat fishing dengan dinding lubang merupakan faktor kritis dalam pemboran dan operasi fishing. Nilai gesekan meningkat pada lubang dengan permukaan kasar, adanya mudcake tebal, atau deformasi lubang yang tidak seragam. Peningkatan gaya gesek menyebabkan menurunnya efisiensi gerak dan daya jangkauan alat fishing [7], [10].

Ketidakstabilan lubang bor (misalnya keruntuhan atau *pack-off*) akan menurunkan peluang keberhasilan fishing job karena membatasi ruang gerak dan efektivitas alat. Geometri lubang bor yang tidak ideal seperti penyempitan (*tight hole*) atau bentuk tidak simetris, akan meningkatkan hambatan mekanis dan mengurangi efisiensi fishing. Filter cake yang tebal dan lengket akan meningkatkan gaya gesek antara alat fishing dan dinding lubang, menurunkan kemungkinan keberhasilan terutama pada kondisi *differential sticking*.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan teoretis berbasis kajian literatur untuk menganalisis hubungan antara kondisi lubang bor dan keberhasilan operasi *fishing job*. Kajian difokuskan pada parameter utama seperti stabilitas lubang bor, tekanan formasi, gaya gesek, ketebalan *filter cake*, dan perubahan geometri sumur. Setiap parameter dikaji berdasarkan prinsip geomekanika dan mekanika fluida untuk memahami pengaruhnya terhadap efisiensi *fishing job*. Analisis dilakukan secara deskriptif-analitis melalui sintesis hasil penelitian terdahulu dan laporan teknis periode 2017–2025 dari jurnal bereputasi internasional. Dari hasil kajian tersebut disusun model konseptual yang menggambarkan keterkaitan antarparameter dalam menentukan tingkat keberhasilan *fishing job* di lapangan migas. [10]. Penelitian ini dilakukan melalui lima tahapan utama sebagai berikut:

A. Kajian Pustaka Komprehensif

Tahap ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang luas mengenai konsep dasar dan hasil penelitian terdahulu yang berhubungan dengan topik penelitian. Kajian pustaka dilakukan terhadap tiga area utama:

Penyebab dan Mekanisme *Stuck Pipe*

Stuck pipe merupakan kondisi ketika pipa bor atau alat terjebak di dalam lubang bor sehingga tidak dapat ditarik atau diputar. Dua mekanisme utama yang menyebabkan terjadinya *stuck pipe* adalah *differential sticking* akibat tekanan diferensial antara lumpur dan formasi, serta *mechanical sticking* yang disebabkan oleh penyempitan atau runtuhnya dinding lubang bor. Pemahaman terhadap fenomena ini penting karena *stuck pipe* merupakan penyebab utama perlunya operasi *fishing job* [7], [10].

Kondisi dan Stabilitas Lubang Bor

Stabilitas lubang bor (*wellbore stability*) adalah kemampuan formasi untuk mempertahankan bentuk lubang tetap utuh selama proses pemboran. Ketidakstabilan lubang dapat menyebabkan penyempitan (*tight hole*), terbentuknya *keyseat*, atau runtuhnya dinding yang menghambat pergerakan alat. Faktor ini sangat memengaruhi keberhasilan *fishing job* karena peralatan sulit dijangkau bila dinding lubang tidak stabil [12], [14].

Prosedur dan Tantangan Fishing Job

Fishing job adalah kegiatan pengambilan alat atau peralatan yang tertinggal di dalam sumur. Tahapan operasi meliputi identifikasi posisi fish, pemilihan alat seperti *overshot*, *spear*, atau *magnet*, serta pelaksanaan operasi sesuai kondisi sumur. Tantangan umumnya muncul akibat kondisi lubang yang sempit, fish yang bengkok, atau tertimbun serpihan [9].

B. Pengembangan Kerangka Konseptual

Tahap ini bertujuan untuk menyusun model konseptual atau *peta konsep* yang menggambarkan hubungan antar variabel yang memengaruhi keberhasilan *fishing job*. Kerangka ini akan menunjukkan bagaimana stabilitas lubang bor, geometri lubang, dan sifat lumpur pemboran secara teoretis berhubungan dengan probabilitas keberhasilan operasi. Kerangka ini dibangun berdasarkan teori dan literatur yang dikaji pada tahap sebelumnya. Gambar 1 berikut adalah pengembangan kerangka konseptual.



Gambar 1. Kerangka Konseptual Pengaruh Kondisi Lubang Bor terhadap Keberhasilan Fishing Job

Gambar diatas menjelaskan bagaimana kerangka konseptual menyatakan bahwa keberhasilan *fishing job* dipengaruhi oleh tiga kondisi lubang bor utama: stabilitas dinding, geometri, dan sifat lumpur. Runtuhan dinding menimbulkan hambatan fisik yang menghalangi akses alat untuk masuk, lubang sempit atau dogleg mengurangi kelayakan manuver alat, sedangkan filter cake yang berlebihan meningkatkan gaya gesek yang menghalangi *engagement*. Oleh karena itu, upaya pencegahan yang efektif harus mencakup pengendalian tekanan lumpur untuk menjaga kestabilan, optimasi trajektori pengeboran untuk mengurangi dogleg, dan pengelolaan sifat slurry untuk meminimalkan filter cake [7], [10], [14].

C. Identifikasi dan Analisis Parameter Kunci

Langkah ini dilakukan untuk menentukan faktor-faktor utama yang paling berpengaruh terhadap keberhasilan *fishing job*, meliputi:

1. Stabilitas Dinding Lubang Bor:

Ketika dinding lubang bor mengalami runtuh, maka jalur menuju fish akan tertutup sehingga alat *fishing* sulit dijalankan [14], [20].

2. Geometri Lubang Bor:

Lubang dengan bentuk tidak ideal seperti *dogleg* atau *tight hole* dapat mempersulit manuver alat *fishing* untuk mencapai fish [10].

3. Sifat Lumpur Pemboran dan Filter Cake:

Lumpur pemboran dengan viskositas tinggi dan lapisan *filter cake* tebal dapat meningkatkan risiko alat menempel atau kehilangan mobilitas di dalam lubang [7].

D. Pengembangan Proposisi Teoritis

Pada tahap ini, hasil analisis diolah menjadi beberapa pernyataan teoritis yang menjelaskan hubungan antar variabel. Yang dimana semakin tinggi Tingkat ketidakstabilan lubang bor, semakin rendah kemungkinan keberhasilan *fishing job* karena dinding lubang yang runtuh menghambat pergerakan alat [11]. Gambar 2 menjelaskan bagaimana penelitian berbasis literatur dikonversi menjadi proposisi teoritis yang logis dan dapat dipakai sebagai dasar argumen. Bagian ini menjelaskan ketika percobaan telah dilakukan. Peneliti menjelaskan desain percobaan, peralatan, metode pengumpulan data, dan jenis pengendalian. Jika percobaan dilakukan di alam, maka penulis menggambarkan daerah penelitian, lokasi, dan juga menjelaskan pekerjaan yang dilakukan.



Gambar 2. Kerangka Konseptual Pengembangan Proposisi Teoritis

3. PEMBAHASAN

A. Analisis Teoretis Pengaruh Kondisi Lubang Bor terhadap Keberhasilan *Fishing Job*

Analisis efektivitas *fishing job* sangat bergantung pada pemahaman mendalam terhadap kondisi aktual lubang bor. Dalam praktiknya, variasi kondisi bawah permukaan seperti tekanan formasi, karakteristik batuan, dan perilaku fluida pemboran sering menimbulkan perubahan pada bentuk dan stabilitas lubang bor. Ketika dinding lubang mengalami ketidakstabilan, seperti runtuh formasi (*caving*), *pack-off*, atau *bridging*, jalur peralatan *fishing* menuju fish akan terhalang. Ketidakseimbangan tekanan antara lumpur pemboran dan tekanan formasi menjadi penyebab utama kondisi tersebut. Faktor-faktor ini tidak hanya memengaruhi efisiensi pemboran, tetapi juga menentukan seberapa besar peluang keberhasilan proses pengambilan *fish* ketika terjadi hambatan di dalam sumur [10], [12].

Analisis teoretis ini berfokus pada tiga aspek utama yang merepresentasikan pengaruh kondisi lubang bor terhadap operasi *fishing*, yaitu stabilitas dinding lubang, geometri lubang bor, serta karakteristik lumpur pemboran dan filter cake. Ketiga parameter tersebut saling

berkaitan dan berperan secara simultan dalam menentukan aksesibilitas, efektivitas, dan tingkat keberhasilan peralatan fishing di lingkungan bawah permukaan.

Fenomena ini dapat dijelaskan melalui persamaan tekanan diferensial sebagai berikut:

$$\Delta P = P_m - P_p \quad (2)$$

Apabila tekanan lumpur lebih kecil dari tekanan formasi, maka tegangan di sekitar dinding lubang bor meningkat dan memicu keruntuhan formasi. Secara teoritis, hubungan antara tekanan formasi dan tegangan di sekitar lubang bor dijelaskan dengan persamaan distribusi tegangan melingkar berikut:

$$\sigma_\theta = \frac{P_w - P_p}{2} + \frac{P_w + P_p}{2} \cos(2\theta) \quad (3)$$

Persamaan ini menggambarkan bahwa bila tekanan lumpur lebih kecil dari tekanan formasi, tegangan melingkar meningkat dan berpotensi menyebabkan keruntuhan dinding lubang. Material runtuh dapat menyumbat ruang anulus dan menjepit alat *fishing*, sehingga meningkatkan risiko *stuck pipe* sekunder [7], [10], [12], [14].

B. Pengaruh Geometri Lubang Bor

Bentuk lubang bor yang ideal seharusnya menyerupai silinder sempurna dengan dinding yang halus dan diameter yang seragam sepanjang kedalaman sumur. Namun kondisi aktual di lapangan sering kali jauh dari ideal akibat factor mekanis, hidrodinamis, serta karakteristik formasi yang dibor. Secara teori juga dijelaskan bahwa bentuk lubang bor yang optimal ialah silindris dan seragam. Akan tetapi, kondisi aktual di lapangan sering menunjukkan faktor mekanis, hidrodinamis, serta karakteristik formasi yang menyebabkan bentuk lubang bor tidak seperti idealnya. Hal tersebut dipengaruhi oleh adanya deviasi seperti *dogleg*, *keyseat*, maupun *tight hole* yang mengubah karakteristik lintasan lubang. Penyimpangan ini menimbulkan hambatan mekanis yang signifikan bagi pergerakan alat fishing, terutama saat proses penjangkauan dan penarikan fish [10], [13], [16], [17].

Ketidakteraturan geometri lubang bor secara langsung memengaruhi tingkat efisiensi dan peluang keberhasilan kegiatan fishing. Secara teoretis, pengaruhnya dapat dijelaskan melalui beberapa aspek berikut:

1. **Keterbatasan Gerak Alat Fishing:** Deformasi seperti *dogleg* atau *keyseat* menyebabkan peralatan *fishing* sulit bermanuver dan kehilangan kelenturan gerak untuk mencapai posisi *fish*. Hal ini menghambat proses pengaitan dan memperpanjang waktu operasi [10].
2. **Peningkatan Gaya Gesek:** Permukaan lubang yang tidak rata meningkatkan gaya gesekan antara alat fishing dengan dinding formasi. Kondisi ini mengakibatkan bertambahnya gaya tarik yang dibutuhkan untuk menarik *fish* keluar dari sumur [17].
3. **Kerusakan Alat dan Fish:** Upaya paksa untuk melewati area yang menyempit atau berliku dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada peralatan fishing maupun *fish* itu sendiri, sehingga memperburuk kompleksitas operasi [10], [12].

Secara konseptual, dapat dipahami bahwa geometri lubang bor yang tidak ideal menambah hambatan mekanis dan menurunkan efisiensi pengangkatan *fish*. Oleh sebab itu, kontrol terhadap lintasan pemboran, pengaturan gaya rotasi, serta pemantauan *borehole trajectory* selama operasi menjadi upaya penting untuk menjaga integritas lubang dan meningkatkan peluang keberhasilan *fishing job*.

Secara sederhana, hubungan antara gaya gesek dan gaya normal pada dinding lubang bor dapat dinyatakan dengan:

$$F_f = \mu \times N \quad (4)$$

Semakin besar nilai μ atau tekanan kontak N , semakin besar gaya gesek yang harus dilawan oleh alat fishing untuk bergerak. Pada lubang dengan dogleg tajam atau tight hole, nilai F_f meningkat signifikan, menyebabkan alat sulit bermanuver dan bahkan dapat terjepit. Selain itu, kondisi ini menurunkan efektivitas mekanisme pengait alat seperti overshot atau spear, yang membutuhkan ruang bebas agar dapat bekerja optimal [10], [12].

C. Pengaruh Properti Lumpur Pemboran dan Filter Cake

Selain aspek mekanis, sifat fluida pemboran juga memainkan peranan penting terhadap kelancaran operasi fishing job. Lumpur pemboran berfungsi menjaga kestabilan lubang bor serta membawa *cutting* ke permukaan. Akan tetapi, sifat fisik dan kimia lumpur yang kurang sesuai dapat memicu terbentuknya *filter cake* tebal pada formasi yang permeabel. Lapisan ini meningkatkan gaya adhesi antara pipa dan formasi, sehingga memperbesar kemungkinan *differential sticking* [7], [8], [10], [11], [19].

Secara teoritis, pengaruh lumpur pemboran dan filter cake terhadap keberhasilan fishing job dapat dipaparkan melalui beberapa mekanisme berikut:

1. **Terjadinya Stuck Sekunder:** Lumpur dengan viskositas tinggi dan lapisan filter cake tebal meningkatkan gaya gesek antara dinding lubang dan peralatan fishing, menyebabkan alat berisiko terjebak (*secondary sticking*) saat proses penarikan *fish*.
2. **Menurunnya Efektivitas Mekanisme Alat:** Ketebalan dan ketidakaturan filter cake mengganggu sistem kerja alat fishing seperti overshot atau grapple dalam mengait *fish* dengan sempurna, karena permukaan dinding menjadi tidak rata dan licin [8].
3. **Kebutuhan Gaya Tarik Lebih Besar:** Adanya filter cake yang tebal memperbesar gaya adhesi antara pipa dan formasi, sehingga gaya tarik yang dibutuhkan untuk membebaskan *fish* juga meningkat signifikan [10].

Fenomena tersebut secara teoritis dijelaskan oleh persamaan gaya lekat sebagai berikut:

$$F_s = \Delta P \times A \times \mu \quad (5)$$

Semakin besar perbedaan tekanan (ΔP) dan luas kontak (A), maka semakin besar pula gaya lekat F_s yang membuat alat *fishing* sulit ditarik. Proses ini diperparah oleh laju filtrasi lumpur yang tinggi, yang dapat dijelaskan dengan hubungan empiris (API RP 13B-1, 2017):

$$V_f = C \times \sqrt{t} \quad (6)$$

Akibatnya, alat *fishing* memerlukan gaya tarik yang lebih besar untuk membebaskan *fish*, yang sering kali memperpanjang waktu operasi. Oleh karena itu, karakteristik lumpur seperti viskositas, kecepatan filtrasi, serta kandungan padatan perlu dikendalikan karena berperan penting dalam pembentukan dan kualitas filter cake. Filter cake yang tipis, kuat, dan homogen dapat menurunkan risiko *differential sticking* serta memudahkan proses fishing. Manajemen lumpur yang tepat tidak hanya meningkatkan stabilitas lubang bor, tetapi juga memperpanjang usia peralatan bawah permukaan dan mengurangi waktu non-produktif [7].

D. Sintesis Konseptual

Hasil kajian teoretis menunjukkan bahwa kondisi lubang bor memiliki pengaruh langsung terhadap tingkat keberhasilan *fishing job*. Ketidakstabilan formasi, deformasi geometri lubang, serta pembentukan *filter cake* yang tebal dapat meningkatkan gaya gesek dan menurunkan efisiensi pengangkatan *fish*. Ketika tekanan lumpur lebih rendah dari tekanan formasi, dinding lubang berpotensi runtuh dan menimbulkan hambatan mekanis. Sebaliknya, pengendalian tekanan lumpur dan pengaturan reologi fluida pemboran terbukti efektif dalam menjaga kestabilan lubang bor. Berdasarkan kajian literatur, peningkatan tekanan lumpur sekitar 5–10% di atas tekanan formasi dapat menurunkan risiko *differential sticking* hingga 20%, yang berdampak positif pada keberhasilan *fishing job*. Oleh karena itu, keseimbangan tekanan, stabilitas geometri, serta desain fluida pemboran yang tepat menjadi faktor utama dalam meningkatkan efektivitas dan keselamatan operasi *fishing job* di lapangan migas. Dengan demikian, hasil analisis ini memperkuat pemahaman bahwa kondisi fisik lubang bor merupakan faktor penentu utama dalam keberhasilan *fishing job* di berbagai kondisi geologi lapangan migas. [9], [11].

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian teoretis, dapat disimpulkan bahwa kondisi lubang bor memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap tingkat keberhasilan operasi *fishing job* di lapangan migas. Stabilitas lubang bor menjadi faktor paling dominan, diikuti oleh geometri lubang dan karakteristik *filter cake* yang terbentuk selama proses pemboran. Ketidakseimbangan tekanan antara fluida pemboran dan tekanan formasi dapat menyebabkan ketidakstabilan dinding lubang, yang pada akhirnya menimbulkan risiko *stuck pipe* serta menurunkan efektivitas proses *fishing*. Deformasi geometri lubang bor, seperti *dogleg severity* dan *tight hole*, menambah gaya gesek serta menghambat pergerakan alat *fishing*, sementara lapisan *filter cake* yang tebal meningkatkan adhesi antara alat dan formasi sehingga mempersulit proses pengangkatan *fish*.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa pengendalian tekanan lumpur dan pengaturan sifat reologi fluida pemboran memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan formasi serta mengurangi risiko *differential sticking*. Dengan menerapkan tekanan lumpur yang sedikit lebih tinggi dari tekanan pori formasi dan memastikan karakteristik fluida yang stabil, gaya gesek pada dinding lubang dapat diminimalkan, sehingga peluang keberhasilan *fishing job* meningkat secara signifikan.

Selain itu, penelitian ini menegaskan pentingnya pemahaman teoretis terhadap interaksi antara faktor geomekanika dan fluida pemboran dalam merancang strategi operasional yang lebih efektif. Pemanfaatan hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan pekerjaan ulang (*workover*) atau perawatan sumur (*well intervention*), khususnya pada sumur dengan kondisi formasi yang kompleks.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi konseptual dalam pengembangan pendekatan analisis teoretis yang dapat digunakan untuk memprediksi tingkat keberhasilan *fishing job* berdasarkan kondisi lubang bor. Dengan mengoptimalkan stabilitas lubang, tekanan lumpur, dan desain fluida pemboran, efektivitas serta keselamatan operasi dapat ditingkatkan secara berkelanjutan, sejalan dengan upaya peningkatan efisiensi operasi pemboran di industri minyak dan gas bumi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Hadzihafizovic, "Introduction To The Basics Of Well Completions in Oil and Gas Industry," *SSRN Electron. J.*, 2024, doi: 10.2139/ssrn.4766585.

- [2] A. Buntoro, B. Rahmad, D. Asmorowati, A. H. Lukmana, E. F. Fattah, and E. Anuraga, "Overpressure mechanism prediction based on well log and mineralogy analysis from drill cuttings of well NSE-001 in the North Sumatra Basin area, Indonesia," *J. Pet. Explor. Prod. Technol.*, vol. 12, no. 10, pp. 2801–2815, 2022, doi: 10.1007/s13202-022-01482-5.
- [3] A. M. Ramdhan, "the Importance of Geological and Hydrogeological Knowledge in Justifying Pore Pressure Prediction: the Case Study of the Peciko Field, Lower Kutai Basin," *Sci. Contrib. Oil Gas*, vol. 40, no. 2, pp. 53–68, 2018, doi: 10.29017/scog.40.2.40.
- [4] A. A. Andi, "Mineralogy and Rock Response Analysis Approach to Mitigate Wellbore Stability issue in 'B' Cluster of East Java Field," *J. Pet. Geotherm. Technol.*, vol. 4, no. 1, p. 20, 2023, doi: 10.31315/jpgt.v4i1.7336.
- [5] Y. Zhou, Z. Gu, C. He, J. Yang, and J. Xiong, "An Improved Decline Curve Analysis Method via Ensemble Learning for Shale Gas Reservoirs," *Energies*, vol. 17, no. 23, pp. 1–19, 2024, doi: 10.3390/en17235910.
- [6] J. Park, W. Shin, W. Shi, and H. Jun, "Changes of Bacterial Communities in an Anaerobic Digestion and a Bio-Electrochemical Anaerobic," *Energies*, 2019.
- [7] H. H. Elmousalami and M. Elaskary, "Drilling stuck pipe classification and mitigation in the Gulf of Suez oil fields using artificial intelligence," *J. Pet. Explor. Prod. Technol.*, vol. 10, no. 5, pp. 2055–2068, 2020, doi: 10.1007/s13202-020-00857-w.
- [8] Y. Zheng, J. Liu, and X. Wang, "Analysis on Well Drilling Example of Deepwater Block in the Gulf of Mexico," *Open J. Yangtze Oil Gas*, vol. 06, no. 04, pp. 190–199, 2021, doi: 10.4236/ojogas.2021.64016.
- [9] M. R. Maulana, F. Varayesi, D. Effendi, and R. C. Rohmana, "Analisis Fishing Job Sumur 'Rm' Pada Lapangan Panas Bumi," *J. Tek. Teknol. Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 32–36, 2023, doi: 10.47970/jttt.v1i2.486.
- [10] J. Zhang *et al.*, "Open-hole extension limit of offshore extended-reach well considering formation collapse," *J. Pet. Explor. Prod. Technol.*, vol. 14, no. 8, pp. 2473–2489, 2024, doi: 10.1007/s13202-024-01835-2.
- [11] S. Zhu, X. Song, Z. Zhu, X. Yao, and M. Liu, "Intelligent Prediction of Stuck Pipe Using Combined Data-Driven and Knowledge-Driven Model," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 10, 2022, doi: 10.3390/app12105282.
- [12] L. Ding, Z. Wang, J. Lv, Y. Wang, and B. Liu, "A New Model for Real-Time Prediction of Wellbore Stability Considering Elastic and Strength Anisotropy of Bedding Formation," *Energies*, vol. 15, no. 1, 2022, doi: 10.3390/en15010251.
- [13] J. Zhang, C. Ai, B. Zeng, Y. Li, and J. Zeng, "Study on wellbore stability of shallow sediments in deepwater drilling," *Open Pet. Eng. J.*, vol. 10, no. 199, pp. 48–63, 2017, doi: 10.2174/1874834101701010048.
- [14] R. H. Allawi and M. S. Al-Jawad, "Wellbore instability management using geomechanical modeling and wellbore stability analysis for Zubair shale formation in Southern Iraq," *J. Pet. Explor. Prod. Technol.*, vol. 11, no. 11, pp. 4047–4062, 2021, doi: 10.1007/s13202-021-01279-y.
- [15] A. K. Darwesh, T. M. Rasmussen, and N. Al-Ansari, "Wiper trips effect on wellbore instability using net rising velocity methods," *Open Pet. Eng. J.*, vol. 11, no. 0, pp. 14–28, 2018, doi: 10.2174/1874834101811010014.
- [16] T. Ma, J. Gui, and P. Chen, "Logging evaluation on mechanical-damage characteristics of the vicinity of the wellbore in tight reservoirs," *J. Pet. Explor. Prod. Technol.*, vol. 11, no. 8, pp. 3213–3224, 2021, doi: 10.1007/s13202-021-01200-7.
- [17] M. Kelany, N. A. Alsayed, and A. Z. Nooh, "Wellbore stability and size control: assessing the influence of mixed metal oxide mud using case study methodology," *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 72, no. 1, pp. 1–18, 2025, doi: 10.1186/s44147-025-00670-4.
- [18] B. Sutopo, A. Hadi, "Analisis Penyebab dan Penanganan Stuck Pipe pada Operasi Pemboran di Lapangan Rantau, Aceh," *Jurnal Teknologi Bumi dan Energi (JTBE)*, vol. 7, no. 2, pp. 55–63, 2021.
- [19] D. P. Sari, A. Kurniawan, "Pengaruh Komposisi Lumpur Pemboran terhadap Pembentukan Filter

Cake pada Formasi Pasir,” *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, vol. 17, no. 1, pp. 41–50, 2021.

- [20] E. Santoso, D. Purnomo, “Analisis Efisiensi Operasi Workover terhadap Peningkatan Produksi Sumur di Lapangan Ramba,” *Jurnal Produksi Migas Indonesia*, vol. 14, no. 1, pp. 27–35, 2022.

Daftar Simbol

ΔP	= perbedaan tekanan antara lumpur pemboran dan tekanan pori formasi,
P_m	= tekanan lumpur (<i>mud pressure</i>),
P_p	= tekanan pori (<i>pore pressure</i>),
σ_θ	= tegangan melingkar di sekitar lubang bor,
P_w	= tekanan lumpur,
θ	= arah sudut tegangan,
F_f	= gaya gesek antara alat <i>fishing</i> dan dinding lubang bor,
μ	= koefisien gesek,
N	= gaya normal akibat berat dan tekanan alat terhadap dinding lubang bor,
F_s	= gaya lekat,
A	= luas kontak antara pipa dan <i>filter cake</i> ,
V_f	= volume filtrasi,
C	= konstanta filtrasi (dipengaruhi tekanan dan viskositas lumpur),
t	= waktu.