



Analisis Pengaruh Kontaminasi *Sand* terhadap Properties Lumpur Pemboran

Rycho Alfianto¹✉, Baiq Maulinda Ulfah¹, Muhammad Rizqie Fathan Rahman¹

⁽¹⁾Program Studi S1 Teknik Perminyakan, STT Migas Balikpapan

DOI: 10.31004/jutin.v9i1.54214

✉ Corresponding author:

[rychoalfianto343@gmail.com]

Article Info	Abstrak
<p><i>Kata kunci:</i> <i>Kontaminasi Sand;</i> <i>Lumpur Pemboran;</i> <i>Reologi;</i> <i>Filtrasi;</i> <i>Stabilitas Lumpur</i></p>	<p>Kontaminasi <i>sand</i> merupakan permasalahan umum pada operasi pemboran, khususnya pada formasi berpasir, karena dapat menurunkan performa lumpur pemboran secara bertahap. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kontaminasi <i>sand</i> terhadap perubahan properties lumpur pemboran serta interaksi fisika dan kimia yang berperan dalam optimasi lumpur. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium menggunakan sistem lumpur berbasis air dengan variasi kontaminasi <i>sand</i> sebesar 0%, 5%, dan 10% dari total volume lumpur. Parameter yang diuji meliputi <i>mud weight</i>, <i>plastic viscosity</i>, <i>yield point</i>, <i>gel strength</i>, <i>pH</i>, dan <i>filtration loss</i>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kontaminasi <i>sand</i> hingga 5% masih berada dalam batas toleransi operasional, sedangkan kontaminasi 10% menyebabkan peningkatan signifikan sifat reologi dan <i>filtration loss</i> serta penurunan stabilitas kimia lumpur.</p>

Abstract

Keywords:
Sand Contamination;
Drilling Fluid;
Rheology;
Filtration;
Mud Stability

Sand contamination is a common issue in drilling operations, particularly in sandstone formations, as it can progressively degrade drilling fluid performance. This study aims to analyze the effect of sand contamination on drilling mud properties and the associated physical and chemical interactions affecting mud optimization. This research is an experimental laboratory study using a water-based drilling fluid system with sand contamination levels of 0%, 5%, and 10% by total mud volume. The evaluated parameters include mud weight, plastic viscosity, yield point, gel strength, pH, and filtration loss. The results indicate that sand contamination up to 5% remains within acceptable operational limits, while 10% contamination leads to significant deterioration of rheological properties, increased filtration loss, and reduced chemical stability.

1. PENDAHULUAN

Lumpur pemboran merupakan komponen krusial dalam keberhasilan operasi pengeboran karena berperan langsung dalam menjaga stabilitas lubang bor, mengontrol tekanan formasi, serta menjamin efisiensi

pengangkutan *cutting* ke permukaan. Berbagai studi menunjukkan bahwa performa lumpur sangat dipengaruhi oleh kestabilan sifat fisika-kimianya, khususnya viskositas, daya angkut, dan kemampuan filtrasi, yang semuanya sangat rentan terhadap kontaminasi padatan seperti *sand* (Ali et al., 2022).

Kontaminasi pasir (*sand contamination*) merupakan isu krusial dalam sistem lumpur pemboran karena secara langsung memengaruhi stabilitas lumpur dan kinerja operasi pemboran, terutama pada wilayah dengan dominasi formasi berpasir seperti di banyak cekungan hidrokarbon Indonesia yang tidak hanya pada zona produktif namun terdapat zona-zona transisi yang dominan atas pasir-lempung. Dalam konteks pemboran di Indonesia tersebut kontaminasi pasir menjadi perhatian utama karena tidak hanya berdampak pada perubahan individual pada properties lumpur, namun adanya kontaminasi tersebut dapat menyebabkan penurunan laju penetrasi, peningkatan torsi dan *drag*, serta percepatan keausan peralatan, sehingga pengendalian kontaminasi pasir merupakan faktor kunci menjaga keseimbangan antara performa reologi, filtrasi, dan integritas lubang bor di kondisi lapangan yang dinamis.

Kontaminasi pada formasi batupasir kuarsa hingga *argillaceous sandstone* yang tidak terkonsolidasi berpotensi menghasilkan *cutting* halus dan pasir bebas yang mudah terdispersi ke dalam lumpur selama proses sirkulasi, khususnya ketika efisiensi peralatan pengendali padatan tidak optimal. Kehadiran pasir sebagai padatan *inert* meningkatkan total *solid content* yang menyebabkan kenaikan *plastic viscosity* dan *yield point* akibat efek mekanis *packing* partikel, sekaligus meningkatkan ketebalan dan permeabilitas *filter cake* yang berdampak pada kenaikan kehilangan filtrat dan risiko *differential sticking* (Abdullah Rizky Agusman, 2024).

Berdasarkan studi (Bageri et al., 2023), masuknya *cuttings* berbasis kuarsa dan batuan lempungan ke dalam lumpur menyebabkan peningkatan densitas, perubahan pH, serta kenaikan *plastic viscosity* (PV) dan *yield point* (YP) yang tidak terkendali, sehingga menurunkan efisiensi pengangkutan *cutting* dan meningkatkan tekanan pompa serta risiko *differential sticking* akibat pembentukan *filter cake* yang lebih tebal dan permeabel. Kondisi ini diperburuk oleh interaksi fisika-kimia antara partikel *sand* dan fase lempung bentonit, di mana partikel silika dan lempung bersifat menyerap air serta memicu *flocculation*, sehingga mengganggu keseimbangan struktur mikro lumpur. Sejalan dengan itu, (Martin et al., 2024) menunjukkan bahwa keberadaan *sand* sebagai kontaminan dapat mengubah perilaku alir lumpur dari kondisi reologi yang stabil menjadi tidak konsisten, ditandai dengan fluktiasi *gel strength* dan *yield strength* yang berpotensi menimbulkan masalah saat *start-up circulation*, seperti tekanan *surge* dan kesulitan memecah *gel* setelah kondisi statik. Ketidakstabilan karakteristik ini secara operasional berimplikasi langsung terhadap peningkatan waktu non-produktif akibat kebutuhan perawatan lumpur yang lebih intensif, pengendalian padatan yang kurang optimal, serta potensi kegagalan pembersihan lubang bor, sehingga menegaskan bahwa kontaminasi *sand* merupakan faktor krusial yang harus dikendalikan secara ketat dalam optimasi sistem lumpur pemboran.

Selain itu, adanya kontaminasi *sand* mengganggu efektivitas aditif polimer dan pengontrol filtrasi melalui disrupti jaringan ikatan antar partikel aktif dalam lumpur. Akibatnya, terjadi peningkatan laju filtrasi dan pembentukan *filter cake* yang lebih tebal dan tidak homogen, sehingga berpotensi memiliki dampak lanjut seperti degradasi fungsi filtrasi yang mengarah kepada penurunan stabilitas lubang bor serta meningkatkan risiko *differential sticking* dan kerusakan formasi (Basfar et al., 2025) (Balaga et al., 2024). Adanya fenomena kontaminasi *sand* secara interaksi fisika dan kimiawi tersebut sejalan dengan temuan yang disampaikan (Alnmar & Ray, 2024) (Ye et al., 2024) bahwa *sand* tidak berkontribusi terhadap pembentukan ikatan koloidal aktif seperti *clay*, tetapi dapat memengaruhi keseimbangan sistem melalui perubahan pH dan distribusi ion, yang berdampak pada efektivitas aditif kimia dalam lumpur, khususnya polimer dan bahan pengontrol filtrasi. Fraksi *sand* yang menjadi kontaminasi bagi lumpur pemboran menyebabkan bertambahnya kandungan padatan non-reaktif sehingga menaikkan densitas, *plastic viscosity*, serta kecenderungan peningkatan permeabilitas *mud cake*, yang pada kondisi tertentu dapat memperburuk kehilangan filtrat dan menurunkan kemampuan suspensi *cutting*.

Pada tingkat kontaminasi *sand* yang relatif rendah (0–10%), kajian ilmiah yang secara spesifik menguraikan mekanisme perubahan properties lumpur pemboran masih terbatas, meskipun rentang ini merepresentasikan kondisi awal kontaminasi yang paling sering terjadi di lapangan. Studi eksperimental oleh Bageri et al. menunjukkan bahwa pada penambahan *sand/cuttings* sebesar 5 %-baik yang bersifat kuarsa murni maupun mengandung fraksi lempung-nilai *plastic viscosity* (PV) dan *yield point* (YP) cenderung tidak mengalami deviasi signifikan dibandingkan *base mud*, sehingga efek kontaminasi awal kerap dianggap dapat diabaikan (Bageri et al., 2023). Namun, pendekatan ini umumnya masih bersifat deskriptif dan belum memisahkan secara tegas kontribusi fisika akibat peningkatan padatan non-kolloidal (*sand* kuarsa) dari efek kimia yang berasal dari pelepasan ion dan interaksi permukaan partikel halus berlempung terhadap polimer dan bentonit. Padahal, peningkatan PV pada kontaminasi rendah tidak semata disebabkan oleh penambahan volume solid, melainkan juga oleh perubahan

particle packing dan friksi hidrodinamik yang mengganggu struktur suspensi lumpur, sementara variasi YP lebih sensitif terhadap gangguan jaringan elektrostatik antara polimer-bentonit akibat keberadaan fines reaktif (Bageri et al., 2023).

Fenomena serupa dilaporkan dalam kajian karakterisasi fisiko-kimia *sand* pada penelitian di bidang material, yang menegaskan bahwa peningkatan fraksi fines dan luas permukaan spesifik *sand* secara langsung memengaruhi perilaku reologi fluida berbasis air melalui mekanisme adsorpsi dan peningkatan kebutuhan air efektif, meskipun pada kadar *sand* yang relatif kecil (Saad et al., 2025). Dengan demikian, terdapat celah penelitian yang signifikan dalam menghubungkan hubungan empiris antara persentase *sand* rendah (0–10%) terhadap perubahan PV/YP dengan mekanisme reologi dan kimia yang mendasarinya secara simultan, sehingga pemahaman yang lebih komprehensif diperlukan untuk optimasi desain lumpur pemboran pada fase awal kontaminasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kontaminasi *sand* terhadap perubahan properties lumpur pemboran, khususnya parameter reologi utama (PV, YP, dan *gel strength*) serta karakteristik filtrasi pada sistem lumpur KCl-Polimer. Penelitian ini juga mengkaji keterkaitan antara peningkatan fraksi padatan non-kolloidal dengan perubahan interaksi fisika dan kimia dalam sistem lumpur, guna menentukan batas toleransi kontaminasi *sand* pada fase awal tanpa menurunkan performa lumpur secara signifikan. Dengan pendekatan ini, hasil penelitian diharapkan tidak hanya bersifat korelatif, tetapi juga memberikan interpretasi mekanistik yang dapat mendukung optimasi desain dan strategi pengendalian lumpur pemboran di lapangan.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimental laboratorium untuk menganalisis pengaruh kontaminasi *sand* terhadap perubahan sifat fisik dan reologi lumpur pemboran. Sistem lumpur yang digunakan adalah *water base mud* (WBM) berbasis KCl-Polimer, karena sistem ini umum diaplikasikan pada pemboran formasi berpasir dan sensitif terhadap perubahan kandungan padatan. Variasi kontaminasi *sand* ditetapkan sebesar 0%, 5%, dan 10% dari total volume lumpur untuk merepresentasikan kondisi tanpa kontaminasi hingga kontaminasi awal yang sering terjadi selama operasi pemboran (Karamani et al., 2025).

Tabel 1. Variasi Kontaminasi Sand

<i>Mud Properties</i>	<i>Mud Concentration (ppb)</i>		
	<i>Sample 1 (0%)</i>	<i>Sample 2 (5%)</i>	<i>Sample 3 (10%)</i>
<i>Fresh Water</i>	319.65	302.15	284.65
<i>NaOH</i>	0.07	0.07	0.07
<i>Bentonite</i>	0.80	0.80	0.80
<i>Pac-LV</i>	1.00	1.00	1.00
<i>Strach</i>	3.67	3.67	3.67
<i>Barite</i>	10.24	10.24	10.24
<i>KCL</i>	13.64	13.64	13.64
<i>XCD</i>	0.94	0.94	0.94
<i>Sand Contamination</i>	0.00	17.50	35.00
Total Volume	350.00	350.00	350.00

Lumpur dasar diformulasikan terlebih dahulu hingga mencapai kondisi reologi yang stabil dan memenuhi spesifikasi awal. Komposisi lumpur terdiri atas air tawar sebagai *base fluid*, bentonit sebagai *active solid*, serta aditif kimia berupa NaOH sebagai pengontrol pH, PAC-LV dan starch sebagai pengontrol filtrasi, xanthan gum sebagai pengontrol reologi, KCl sebagai *inhibitor shale*, dan barite sebagai penambah densitas. Lumpur dasar ini digunakan sebagai acuan (0% kontaminasi) untuk mengevaluasi perubahan sifat lumpur akibat penambahan *sand*.

Setelah lumpur dasar dinyatakan stabil, dilakukan simulasi kontaminasi *sand* dengan menambahkan pasir ke dalam lumpur pada konsentrasi 5% dan 10% dari total volume lumpur. Pasir diperlakukan sebagai padatan non-kolloidal *inert* yang mensimulasikan masuknya material pasir formasi selama proses pemboran. Variasi tingkat kontaminasi ini digunakan untuk mengamati perubahan sifat lumpur secara bertahap akibat peningkatan kandungan padatan non-reaktif dalam sistem lumpur.

Pada setiap variasi kontaminasi, dilakukan pengujian sifat fisik lumpur yang meliputi densitas, *plastic viscosity* (PV), *yield point* (YP), *gel strength*, pH, dan volume filtrat. Pengujian pada lumpur dasar dan lumpur terkontaminasi dilakukan untuk memperoleh data pembanding yang menunjukkan respons sistem lumpur terhadap peningkatan kandungan *sand*. Perubahan nilai PV dan YP digunakan sebagai indikator utama gangguan struktur reologi akibat partikel non-kolloidal, sedangkan perubahan *filtrate* volume dan pH dianalisis untuk mengevaluasi stabilitas fisika-kimia sistem lumpur KCl-Polimer.

Data hasil pengujian dianalisis secara komparatif dengan membandingkan nilai sifat fisik lumpur pada kondisi 0%, 5%, dan 10% kontaminasi *sand*. Analisis difokuskan pada kecenderungan perubahan sifat lumpur seiring peningkatan kadar *sand*, sehingga hubungan empiris antara tingkat kontaminasi dan perubahan properties lumpur dapat diinterpretasikan secara mekanistik. Pendekatan ini memungkinkan hasil penelitian tidak hanya menunjukkan tren perubahan, tetapi juga memberikan pemahaman mengenai peran partikel non-kolloidal dan gangguan kimia terhadap optimasi lumpur pemboran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menawarkan perspektif baru dengan menekankan bahwa partikel *sand* sebagai padatan non-kolloidal tidak hanya memengaruhi reologi lumpur melalui peningkatan kandungan solid secara mekanis, tetapi juga melalui gangguan terhadap struktur suspensi lumpur. Peningkatan PV pada tingkat kontaminasi rendah tidak semata disebabkan oleh penambahan volume solid, melainkan oleh perubahan *particle packing* dan friksi hidrodinamik yang mengganggu jaringan fluida berbasis polimer. Di sisi lain, ion mineral yang terlepas dari *sand*, seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} , berpotensi mengganggu stabilitas polimer dalam sistem KCl-Polimer melalui penurunan efektivitas hidrasi dan interaksi elektrostatik polimer-bentonit, yang berdampak pada fluktuasi YP dan *gel strength* ((Bageri et al., 2023) ; (Saad et al., 2025)). Pendekatan ini memungkinkan interpretasi yang lebih komprehensif terhadap hubungan empiris antara persentase kontaminasi *sand* dan perubahan reologi, sehingga hasil penelitian tidak hanya bersifat korelatif, tetapi juga mekanistik.

Tabel 2. Mud Design

Mud Properties	Sample 1 (0%)	Sample 2 (5%)	Sample 3 (10%)
<i>MW</i>	1.13	1.17	1.22
<i>Rheology @120F</i>			
600 rpm	59	69	77
300 rpm	41	47	52
200 rpm	29	33	35
100 rpm	20	23	25
6 rpm	7	9	10
3 rpm	6	7	8
<i>PV</i>	18	22	25
<i>YP</i>	23	25	27
<i>Gel Strength</i> 10 Detik	7	9	11
<i>Gel Strength</i> 10 Menit	12	14	16
<i>Filtrate API</i>	4.2	4.4	4.6
<i>pH</i>	9.8	9.7	9.6

3.1 Pengaruh Kontaminasi Sand (0–10%) terhadap Mud Weight Lumpur Pemboran

Mud weight merupakan parameter dasar yang sangat menentukan kestabilan tekanan hidrostatik selama operasi pemboran. Dalam penelitian ini, evaluasi *mud weight* dilakukan pada sistem lumpur dasar tanpa kontaminasi (0%) dan setelah penambahan *sand* sebesar 5% dan 10% berat lumpur. Pembatasan rentang ini penting untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh tidak disalahartikan sebagai representasi seluruh tingkat kontaminasi *sand*, melainkan hanya pada kondisi yang diuji secara eksperimental.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan *sand* sebesar 5% menyebabkan peningkatan *mud weight* yang relatif moderat dibandingkan lumpur dasar. Peningkatan ini secara langsung berkaitan dengan masuknya partikel pasir kuarsa yang memiliki densitas lebih tinggi dibandingkan fase cair lumpur. Pada kondisi ini, partikel *sand* masih terdistribusi relatif merata dalam sistem lumpur sehingga peningkatan densitas belum memicu ketidakstabilan fluida secara signifikan.

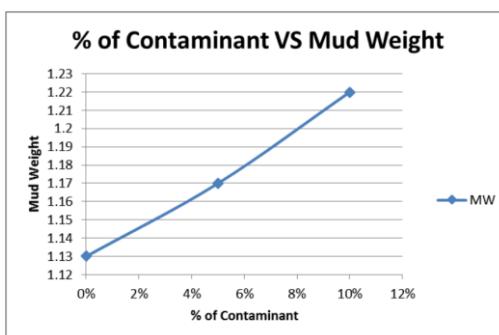
Namun, ketika konsentrasi *sand* ditingkatkan hingga 10%, peningkatan *mud weight* menjadi lebih jelas dan konsisten. Kondisi ini mengindikasikan bahwa jumlah padatan *inert* dalam sistem telah cukup besar untuk

memengaruhi keseimbangan massa lumpur secara keseluruhan. Fenomena ini sejalan dengan temuan (Bageri et al., 2023) yang melaporkan bahwa kontaminasi *sandstone* berbasis kuarsa meningkatkan densitas lumpur akibat akumulasi padatan non-reaktif yang tidak dapat terdispersi secara sempurna pada konsentrasi yang lebih tinggi.

Dari sudut pandang operasional, peningkatan *mud weight* pada rentang 5–10% *sand* masih dapat dikendalikan melalui penyesuaian formulasi lumpur. Namun, apabila kontaminasi *sand* terus meningkat tanpa pengendalian padatan yang efektif, kondisi ini berpotensi menyebabkan kesalahan estimasi tekanan hidrostatik, peningkatan risiko *lost circulation*, serta ketidaksesuaian desain lumpur dengan kondisi formasi aktual.

Tabel 3. Mud Weight Lumpur Pemboran pada Kontaminasi Sand 0%, 5%, dan 10%

Mud Properties	Sample 1 (0%)	Sample 2 (5%)	Sample 3 (10%)
MW	1.13	1.17	1.22



Gambar 1. Grafik Hubungan Konsentrasi Kontaminasi Sand terhadap Mud Weight

3.2 Pengaruh Kontaminasi Sand terhadap Sifat Reologi Lumpur Pemboran

3.2.1 Plastic Viscosity (PV)

Plastic viscosity (PV) merepresentasikan tahanan aliran fluida akibat interaksi mekanis antar partikel padatan an fase cair. Dalam penelitian ini, PV dianalisis untuk mengevaluasi sejauh mana kontaminasi *sand* memengaruhi perilaku aliran lumpur pemboran pada rentang 0%, 5%, dan 10%.

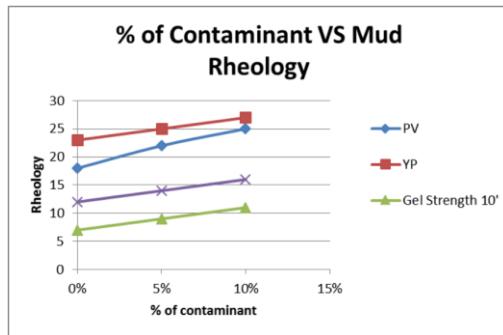
Pada kondisi lumpur tanpa kontaminasi, nilai PV menunjukkan karakteristik aliran yang stabil sesuai dengan desain awal lumpur. Setelah penambahan *sand* sebesar 5%, PV mengalami peningkatan bertahap. Peningkatan ini mencerminkan bertambahnya friksi internal akibat kehadiran partikel *sand* sebagai padatan non-kolloidal yang tidak mengalami hidrasi. Namun, pada tingkat ini, sistem lumpur masih mampu mempertahankan aliran yang relatif efisien karena partikel *sand* belum membentuk interaksi mekanis yang dominan.

Sebaliknya, pada kontaminasi *sand* sebesar 10%, peningkatan PV menjadi lebih signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa fraksi padatan *inert* dalam sistem telah melampaui ambang tertentu, sehingga efek *solid loading* dan *particle crowding* mulai mendominasi perilaku aliran lumpur. Akibatnya, lumpur memerlukan energi hidraulik yang lebih besar untuk mempertahankan laju sirkulasi yang sama. Temuan ini konsisten dengan artikel (Bageri et al., 2023) yang menyatakan bahwa peningkatan PV akibat *sand contamination* terutama dikendalikan oleh mekanisme fisik, bukan reaksi kimia antar mineral.

Secara operasional, peningkatan PV pada kontaminasi 10% berpotensi menurunkan laju penetrasi (ROP), meningkatkan tekanan pompa, serta memperbesar konsumsi energi selama pemboran. Oleh karena itu, kontrol *sand* pada kisaran ini menjadi krusial untuk menjaga efisiensi sistem pemboran.

Tabel 4. Nilai Plastic Viscosity pada Kontaminasi Sand 0–10%

Mud Properties	Sample 1 (0%)	Sample 2 (5%)	Sample 3 (10%)
PV	18	22	25

**Gambar 2. Grafik Pengaruh Kontaminasi Sand terhadap Plastic Viscosity**

3.2.2 Yield Point (YP) dan Gel Strength

Yield point (YP) dan *gel strength* digunakan untuk mengevaluasi kemampuan lumpur dalam mengangkut dan mempertahankan *cutting*, baik pada kondisi dinamis maupun statis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kontaminasi *sand* 5%, nilai YP mengalami peningkatan ringan. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur suspensi lumpur masih cukup stabil dan mampu membentuk jaringan antar partikel yang mendukung pengangkutan *cutting* tanpa menimbulkan hambatan aliran yang berlebihan.

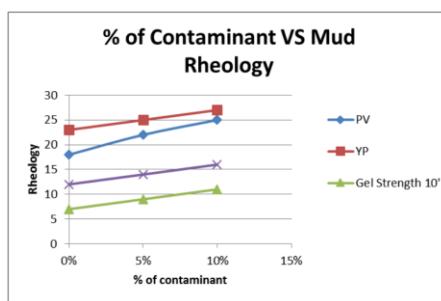
Namun, pada kontaminasi *sand* 10%, peningkatan YP menjadi lebih tajam. Kondisi ini menunjukkan bahwa interaksi fisik antar partikel, khususnya antara *sand* dan partikel lempung aktif, mulai membentuk jaringan struktur yang lebih rapat. Peningkatan YP yang signifikan dapat berdampak positif terhadap kemampuan pengangkutan *cutting*, tetapi juga meningkatkan risiko permasalahan hidraulik seperti *excessive pump pressure* dan *surge and swab*.

Tren serupa juga diamati pada nilai *gel strength* 10 detik dan 10 menit. Pada 5% *sand*, peningkatan *gel strength* masih relatif terkendali. Namun, pada 10% *sand*, *gel strength* terutama pada pengukuran 10 menit meningkat secara signifikan, menunjukkan kecenderungan pembentukan struktur gel yang kuat selama kondisi statis. Fenomena ini konsisten dengan temuan pada jurnal (Abdullah Rizky Agusman, 2024) yang menyatakan bahwa kontaminasi padatan *inert* pada konsentrasi menengah hingga tinggi mempercepat pembentukan gel akibat dominasi interaksi fisik.

Secara operasional, *gel strength* yang terlalu tinggi dapat meningkatkan tekanan awal saat sirkulasi dimulai kembali dan memperbesar risiko pipa terjepit. Oleh karena itu, hasil ini menegaskan pentingnya pembatasan kontaminasi *sand* hingga di bawah 10% untuk menjaga stabilitas operasional lumpur pemboran.

Tabel 5. Nilai Plastic Viscosity pada Kontaminasi Sand 0–10%

Mud Properties	Sample 1 (0%)	Sample 2 (5%)	Sample 3 (10%)
YP	23	25	27
Gel Strength 10 Detik	7	9	11
Gel Strength 10 Menit	12	14	16

**Gambar 3. Grafik Perubahan Yield Point dan Gel Strength akibat Kontaminasi Sand**

3.3 Pengaruh Kontaminasi Sand terhadap pH dan Stabilitas Kimia Lumpur

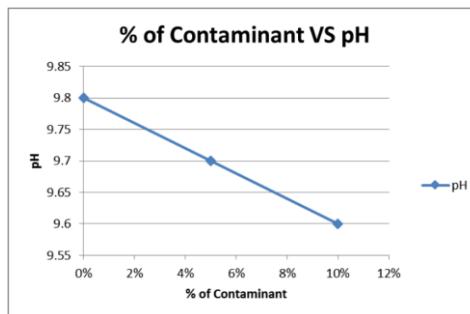
Nilai pH merupakan indikator penting dalam mengevaluasi stabilitas kimia lumpur pemboran, khususnya terkait kinerja aditif polimer dan *clay*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kontaminasi *sand* dari 5% ke 10% menyebabkan penurunan nilai pH secara bertahap.

Pada kontaminasi 5%, penurunan pH masih relatif kecil dan belum memengaruhi performa lumpur secara signifikan. Namun, pada kontaminasi 10%, penurunan pH menjadi lebih nyata. Kondisi ini menunjukkan bahwa sand, meskipun bersifat *inert*, dapat mengganggu keseimbangan kimia lumpur dengan menurunkan efektivitas sistem *buffer*. Hal ini sejalan dengan jurnal (Bageri et al., 2023) yang menyatakan bahwa peningkatan kandungan silika dalam lumpur dapat memengaruhi stabilitas pH dan mempercepat degradasi aditif tertentu.

Penurunan pH yang berkelanjutan dapat berdampak negatif terhadap stabilitas polimer, meningkatkan risiko flokulasi, dan memperburuk sifat reologi lumpur. Oleh karena itu, pengendalian pH menjadi semakin penting pada kondisi kontaminasi *sand* yang lebih tinggi.

Tabel 5. Perubahan pH Lumpur akibat Kontaminasi Sand

Mud Properties	Sample 1 (0%)	Sample 2 (5%)	Sample 3 (10%)
pH	9.8	9.7	9.6



Gambar 4. Grafik Hubungan Kontaminasi Sand terhadap pH Lumpur

3.4 Pengaruh Kontaminasi Sand terhadap Filtration Loss Lumpur Pemboran

Filtration loss merupakan parameter penting dalam evaluasi performa lumpur pemboran karena berkaitan langsung dengan kehilangan fluida ke dalam formasi dan stabilitas dinding sumur. Dalam penelitian ini, analisis *filtration loss* dilakukan pada sistem lumpur dasar tanpa kontaminasi (0%) dan setelah penambahan *sand* sebesar 5% dan 10% berat lumpur, sesuai dengan rentang variasi yang digunakan pada penelitian ini. Pembatasan rentang ini penting untuk menegaskan bahwa hasil yang diperoleh hanya berlaku pada kondisi kontaminasi yang diuji, bukan sebagai generalisasi untuk seluruh tingkat kontaminasi *sand*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi lumpur tanpa kontaminasi, nilai *filtration loss* berada pada kisaran yang relatif rendah dan stabil. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem lumpur dasar memiliki kemampuan yang baik dalam membatasi aliran *filtrat*, sehingga kehilangan fluida ke dalam formasi masih terkendali. Kondisi ini mencerminkan desain lumpur yang sesuai dengan karakteristik awal formasi serta efektivitas aditif pengendali filtrasi yang digunakan.

Pada tingkat kontaminasi *sand* sebesar 5%, terjadi peningkatan *filtration loss* dibandingkan lumpur dasar. Peningkatan ini masih tergolong moderat dan menunjukkan bahwa masuknya partikel *sand* mulai mengganggu keseimbangan distribusi padatan dalam sistem lumpur. Secara fisik, partikel *sand* bersifat *inert* dan tidak mengalami hidrasi, sehingga tidak berkontribusi dalam pembentukan struktur suspensi yang efektif untuk menahan aliran *filtrat*. Namun, pada konsentrasi 5%, pengaruh tersebut belum mendominasi sehingga sistem lumpur masih mampu mempertahankan performa filtrasi yang relatif stabil.

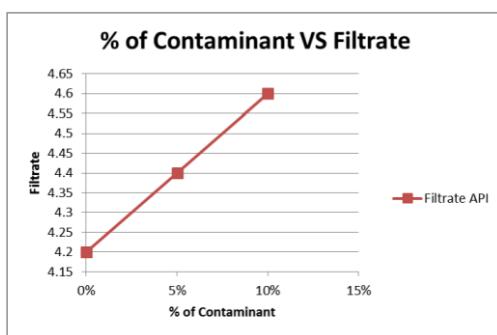
Ketika konsentrasi kontaminasi *sand* ditingkatkan hingga 10%, peningkatan *filtration loss* menjadi lebih signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa fraksi padatan *inert* dalam sistem lumpur telah cukup besar untuk menurunkan efektivitas mekanisme pengendalian filtrasi. Secara mekanistik, dominasi partikel *sand* yang berukuran relatif lebih besar dibandingkan partikel lempung aktif menyebabkan terganggunya distribusi ukuran partikel dalam suspensi lumpur. Akibatnya, kemampuan lumpur dalam membentuk lapisan penghambat aliran *filtrat* menjadi berkurang, sehingga volume *filtrat* yang keluar selama pengujian meningkat secara nyata.

Fenomena peningkatan *filtration loss* pada kontaminasi *sand* 10% ini sejalan dengan temuan (Bageri et al., 2023) yang melaporkan bahwa kontaminasi berbasis *sandstone* dan material silika cenderung meningkatkan kehilangan *filtrat* akibat melemahnya peran partikel halus dalam sistem lumpur. Selain itu, hasil serupa juga dilaporkan pada studi (Abdullah Rizky Agusman, 2024), di mana peningkatan kandungan padatan *inert* menyebabkan degradasi performa filtrasi lumpur secara progresif seiring bertambahnya konsentrasi kontaminan.

Dari sudut pandang operasional, peningkatan *filtration loss* pada rentang kontaminasi 5–10% *sand* dapat meningkatkan risiko invasi fluida ke dalam formasi, memperbesar potensi kerusakan formasi (*formation damage*), serta memicu ketidakstabilan lubang bor pada interval tertentu. Meskipun pada tingkat 5% dampaknya masih relatif terbatas, hasil pada 10% menunjukkan kecenderungan yang lebih kritis dan menandai batas awal terjadinya degradasi performa lumpur yang signifikan. Oleh karena itu, pengendalian kontaminasi *sand* menjadi aspek penting dalam optimasi sistem lumpur pemboran, khususnya untuk menjaga nilai *filtration loss* tetap berada dalam batas operasional yang aman.

Tabel 6. Nilai *Filtration Loss* Lumpur Pemboran pada Kontaminasi *Sand* 0%, 5%, dan 10%

Mud Properties	Sample 1 (0%)	Sample 2 (5%)	Sample 3 (10%)
Filtrate API	4.2	4.4	4.6



Gambar 5. Grafik Hubungan Konsentrasi Kontaminasi *Sand* terhadap *Filtration Loss*

3.5 Sintesis Hasil dan Implikasi Optimasi Lumpur Pemboran

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kontaminasi *sand* memberikan dampak yang progresif terhadap properties lumpur pemboran. Pada tingkat kontaminasi $\leq 5\%$, perubahan sifat lumpur masih relatif terkendali dan berada dalam batas toleransi operasional. Namun, pada kontaminasi mendekati 10%, degradasi performa lumpur menjadi lebih signifikan dan berpotensi menimbulkan berbagai permasalahan operasional.

Oleh karena itu, kesimpulan dan rekomendasi penelitian ini secara tegas dibatasi pada rentang kontaminasi 0–10% *sand*, dengan penekanan bahwa nilai ambang kritis mulai teridentifikasi pada kisaran 10%. Pendekatan ini memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi optimasi lumpur pemboran dan pengendalian kontaminasi *sand* di lapangan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental dan pembahasan pengaruh kontaminasi *sand* terhadap sistem lumpur pemboran KCl-Polimer pada variasi 0%, 5%, dan 10%, dapat disimpulkan secara kuantitatif sebagai berikut:

1. Kontaminasi *sand* memberikan pengaruh yang bergantung pada tingkat konsentrasi *sand*. Pada kontaminasi $\leq 5\%$ berat lumpur, perubahan properties lumpur (*mud weight*, *plastic viscosity*, *yield point*, *gel strength*, *filtrate API*, dan pH) masih berada dalam batas toleransi operasional dan belum menurunkan fungsi utama lumpur secara signifikan. Namun, pada kontaminasi 10% berat lumpur, terjadi perubahan properties yang tidak dapat ditolerir, ditandai oleh peningkatan *mud weight*, *plastic viscosity*, *yield point*, dan *gel strength* secara signifikan serta peningkatan *filtrate loss* dan penurunan pH. Kondisi ini menunjukkan bahwa nilai ambang kontaminasi *sand* yang masih dapat diterima adalah maksimum 5%, sedangkan kontaminasi 10% merupakan batas kritis yang menurunkan performa lumpur pemboran.
2. Pada kontaminasi *sand* $\leq 5\%$, perubahan sifat lumpur didominasi oleh interaksi fisika ringan berupa peningkatan fraksi padatan *inert* tanpa mengganggu keseimbangan sistem lumpur secara signifikan, sehingga optimasi lumpur masih dapat dilakukan melalui penyesuaian aditif dan pengendalian padatan. Sebaliknya, pada kontaminasi *sand* 10%, interaksi fisika mendominasi secara kuat melalui mekanisme *solid loading* dan *particle crowding*, yang menyebabkan peningkatan tahanan aliran, pembentukan struktur gel berlebih, serta penurunan stabilitas kimia (penurunan pH). Kondisi ini menyebabkan optimasi lumpur

menjadi tidak efektif, sehingga diperlukan tindakan korektif utama seperti peningkatan efisiensi *solids control* atau reformulasi sistem lumpur.

5. REFERENSI

- Abdullah Rizky Agusman. (2024). Studi Pengaruh Kontaminasi Properti Rheology Water Based Mud di Lapangan Sunyu. *Jurnal Bhara Petro Energi*, 71–81. <https://doi.org/10.31599/daq4de76>
- Ali, I., Ahmad, M., & Ganat, T. A.-A. (2022). Experimental study on water-based mud: investigate rheological and filtration properties using cupressus cones powder. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 12(10), 2699–2709. <https://doi.org/10.1007/s13202-022-01471-8>
- Alnmr, A., & Ray, R. (2024). Investigating the Impact of Varying Sand Content on the Physical Characteristics of Expansive Clay Soils from Syria. *Geotechnical and Geological Engineering*, 42(4), 2675–2691. <https://doi.org/10.1007/s10706-023-02698-w>
- Bageri, B., Benaafi, M., Al Jaber, J., Alfaraj, M. A., & Al-Otaibi, B. (2023). Impact of Quartz/Argillaceous Sandstone and Siliceous/Kaolinitic Claystone Contamination of Drilling Fluid and Filter Cake Properties. *Geofluids*, 2023, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2023/1093287>
- Balaga, D. K., Mondal, J., & Kulkarni, S. D. (2024). Performance analysis and degradation mechanism of acrylamide co-polymer as rheology and filtrate reducers in different salt aqueous-based drilling mud systems at high-temperature conditions. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 14(8–9), 2555–2568. <https://doi.org/10.1007/s13202-024-01838-z>
- Basfar, S., Shokry, A., Iqbal, A., Elkhatatny, S., & Alajmi, S. (2025). Evaluation of the Effects of Kaolin Clay on the Performance of Barite-Weighted Oil-Based Drilling Fluid. *ACS Omega*, 10(10), 9976–9985. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c07376>
- Karamani, E., Gropo, O., & Zema, R. (2025). Understanding the Role of Drilling Fluids: A Functional Overview for Well Engineers. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 14(06). <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2025.1407001>
- Martin, C., Nourian, A., Babaie, M., & Nasr, G. G. (2024). Innovative drilling fluid containing sand grafted with a cationic surfactant capable of drilling high pressure and high temperature geothermal and petroleum wells. *Geoenergy Science and Engineering*, 237, 212767. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2024.212767>
- Saad, L., Nouri, M., Tahlaifi, M., Khelidj, A., Fruchet, J., & Suraneni, P. (2025). Analysis of the Influence of Excavated Soil Sand Characteristics on the Rheological and Mechanical Properties of Hydraulic Mortars. *Buildings*, 15(3), 353. <https://doi.org/10.3390/buildings15030353>
- Ye, C., Zheng, G., Tao, Y., Xu, Y., Chu, G., Xu, C., Chen, S., Liu, Y., Zhang, X., & Wang, D. (2024). Effect of Soil Texture on Soil Nutrient Status and Rice Nutrient Absorption in Paddy Soils. *Agronomy*, 14(6), 1339. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061339>