

ANALISIS PENANGGULANGAN MASALAH *SHALE* PADA TRAYEK 8 ½ " MENGGUNAKAN KCl - POLYMER POLYAMINE PADA SUMUR MKLS

Mukhlis Farhan Rivani¹, Nijusiho Manik², Amiruddin¹, Esterina Natalia Paindan¹,

¹Teknik Perminyakan, Sekolah Tinggi Teknologi Migas

²Rekayasa Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Migas

*E-mail: mukhlisfarhan01@gmail.com

ABSTRACT

Shale formations in the 8 ½" section of MKLS Well in East Kalimantan present drilling challenges due to their reactive nature at high temperatures up to 250°F. The interaction between water-based mud and clay minerals can cause swelling, sloughing, and bit balling, which increase Non-Productive Time (NPT) and operational risks. This study aims to evaluate the effectiveness of a High Performance Water-Based Mud (HPWBM) system based on KCl-Polymer Polyamine in mitigating these risks. Testing included mud property evaluation, Linear Swelling Meter (LSM), Erosion Test, and Accretion Test using shale cuttings from MKLS Well. Results show a mud density of 1.36 g/cc, plastic viscosity of 15 cP, yield point of 25 lb/100 ft², filtrate loss of 4.8 mL/30 minutes, and pH of 9.40. Swelling of 3.5% (72 hours), erosion of 2.6%, and accretion of 1.45% indicate good inhibition, reducing wellbore instability, shale sloughing, tight hole, pack-off, and bit balling.

Keywords: *KCl-Polymer Polyamine, Shale, Erosion Test, Accretion Test, Linear Swelling Meter Test.*

ABSTRAK

Formasi shale pada trayek 8 ½" Sumur MKLS di Sanga-Sanga, Kalimantan Timur, menimbulkan tantangan pemboran karena sifat reaktifnya pada temperatur tinggi hingga 250°F. Interaksi lumpur berbasis air dengan mineral lempung dapat menyebabkan *swelling*, *sloughing*, dan *bit balling* yang meningkatkan *Non-Productive Time* (NPT) serta risiko operasional. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas sistem *High Performance Water-Based Mud* (HPWBM) berbasis KCl-Polymer Polyamine dalam mengurangi risiko tersebut. Pengujian dilakukan melalui evaluasi sifat fisik lumpur, *Linear Swelling Meter* (LSM), *Erosion Test*, dan *Accretion Test* menggunakan *cutting shale* Sumur MKLS. Hasil menunjukkan densitas 1,36 g/cc, *plastic viscosity* 15 cP, *yield point* 25 lb/100 ft², kehilangan filtrat 4,8 mL/30 menit, dan pH 9,40. Nilai *swelling* 3,5% (72 jam), *erosion* 2,6%, dan *accretion* 1,45% menunjukkan inhibisi yang baik, sehingga mampu mengurangi *wellbore instability*, *shale sloughing*, *tight hole*, *pack off*, dan *bit balling*.

Kata kunci: *KCl-Polymer Polyamine, Shale, Erosion Test, Accretion Test, Linear Swelling Meter Test.*

PENDAHULUAN

Formasi *shale* merupakan salah satu litologi yang paling sering menimbulkan permasalahan dalam operasi pemboran minyak dan gas. Sifat *shale* yang reaktif terhadap fluida pemboran berbasis air dapat menyebabkan pembengkakan (*shale swelling*), peluruhan dinding lubang bor (*sloughing*), *wellbore instability*, *tight hole*, *pack off*, serta *bit balling* yang berujung pada penyempitan lubang bor dan meningkatnya risiko *pipe sticking*. Kondisi ini berkontribusi terhadap peningkatan *Non-Productive Time* (NPT) serta biaya operasi pemboran (Rahman & Pratama, 2018). Selain itu, ketidakstabilan *shale* juga sangat dipengaruhi oleh interaksi antara air dan mineral lempung yang bersifat ekspansif (Nugroho, 2022).

Permasalahan *shale* menjadi semakin kompleks pada kondisi temperatur tinggi, seperti yang dijumpai pada trayek 8 ½" Sumur MKLS dengan temperatur mencapai 250°F. Temperatur tinggi dapat mempercepat reaksi hidrasi dan menurunkan kestabilan sifat reologi lumpur pemboran. Oleh karena itu, pemilihan sistem lumpur yang memiliki kemampuan inhibisi *shale* yang baik serta stabil pada temperatur tinggi menjadi faktor krusial dalam menjaga stabilitas lubang bor (Meier, 2024).

Sistem *High Performance Water-Based Mud* (HPWBM) berbasis KCl–Polymer Polyamine telah banyak dikembangkan sebagai alternatif lumpur inhibitif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan lumpur berbasis minyak. Sistem lumpur HPWBM berbasis KCl–Polymer Polyamine bekerja melalui dua mekanisme inhibisi utama, yaitu inhibisi ionik dan enkapsulasi polimer. Ion K^+ dari KCl berperan dalam menekan hidrasi mineral lempung dengan cara menstabilkan lapisan antar-lembar *mineral clay* sehingga mengurangi kecenderungan air untuk masuk ke dalam struktur kristal lempung dan menurunkan tingkat pembengkakan (*swelling*) (Wardanu, 2017; Kusuma, 2023). Selain itu, sistem HPWBM juga melibatkan ion NH_4^+ dari senyawa polyamine yang berfungsi meningkatkan stabilitas *shale* dengan menggantikan kation pada permukaan clay dan memperkuat efek inhibisi terhadap hidrasi. Di sisi lain, polymer polyamine yang bersifat *encapsulated* membentuk lapisan pelindung pada permukaan partikel *shale* sehingga membatasi penetrasi air ke dalam struktur *shale* serta mencegah dispersi partikel selama proses sirkulasi lumpur. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kombinasi KCl dan polyamine efektif dalam menurunkan tingkat *swelling* dan meningkatkan kompatibilitas lumpur terhadap *shale* reaktif (Nugroho, 2022; Sunhaji, 2024; Mustagfirin; 2022). Selain itu, sistem berbasis polimer juga dilaporkan memiliki kestabilan reologi yang baik pada kondisi temperatur

tinggi (Meier, 2024).

Meskipun beberapa penelitian telah membahas efektivitas sistem lumpur KCl–Polyamine, sebagian besar studi dilakukan pada kondisi laboratorium umum tanpa mengaitkannya secara langsung dengan karakteristik formasi spesifik dan parameter operasional aktual di lapangan. Oleh karena itu, novelty penelitian ini terletak pada evaluasi komprehensif sistem HPWBM berbasis KCl–Polymer Polyamine yang diuji menggunakan sampel *shale cutting* aktual dari Sumur MKLS serta disimulasikan pada kondisi temperatur yang merepresentasikan kondisi trayek 8 ½”. Penelitian ini tidak hanya mengevaluasi sifat fisik lumpur, tetapi juga mengintegrasikan tiga parameter utama yang berkaitan dengan respons *shale* terhadap interaksi dengan fluida pemboran, yaitu *swelling*, *erosion*, dan *accretion*, sehingga memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai kinerja sistem lumpur dalam kondisi operasional yang spesifik. Parameter *swelling* digunakan untuk mengukur tingkat pembengkakan mineral lempung akibat penetrasi air ke dalam struktur kristal clay. Sementara itu, *Erosion Test* digunakan untuk mengevaluasi ketahanan *shale* terhadap peluruhan atau disintegrasi akibat gaya mekanis dari aliran lumpur pemboran yang dapat menyebabkan pelepasan partikel *shale* ke dalam sistem sirkulasi. Di sisi lain, *Accretion Test* digunakan untuk menilai kecenderungan partikel *shale* untuk melekat pada permukaan logam, seperti *drill bit* atau *bottom hole assembly*, yang berpotensi menyebabkan permasalahan seperti *bit balling* dan penurunan efisiensi pemboran. Dengan mengintegrasikan ketiga parameter tersebut, evaluasi sistem lumpur HPWBM dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap mekanisme inhibisi *shale* dan potensi pengurangan risiko ketidakstabilan lubang bor selama proses pemboran.

Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis dalam pemilihan sistem lumpur pemboran yang efektif untuk formasi *shale* reaktif, khususnya pada trayek bertemperatur tinggi seperti Sumur MKLS.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental melalui pengujian laboratorium untuk mengevaluasi kinerja sistem lumpur *High Performance Water-Based Mud* (HPWBM) berbasis KCl–Polymer Polyamine dalam menanggulangi permasalahan *shale* pada trayek 8 ½” Sumur MKLS. Sistem lumpur yang digunakan merupakan lumpur berbahan dasar air yang diformulasikan dengan kombinasi KCl sebagai inhibitor ionik dan polymer polyamine sebagai agen enkapsulasi.

Formulasi lumpur disesuaikan dengan karakteristik formasi serta kondisi temperatur yang merepresentasikan kondisi aktual pemboran pada trayek tersebut.

Pengujian laboratorium meliputi evaluasi sifat fisik lumpur dan pengujian stabilitas *shale*. Pengujian sifat fisik dilakukan untuk menentukan densitas, *plastic viscosity* (PV), *yield point* (YP), gel strength, pH, dan kehilangan filtrat, baik sebelum maupun sesudah proses hot rolling guna mensimulasikan pengaruh temperatur tinggi terhadap kestabilan lumpur. Stabilitas *shale* dievaluasi menggunakan *Linear Swelling Meter* (LSM) *Test* untuk mengukur tingkat pembengkakan *shale*, *Erosion Test* untuk menilai ketahanan *shale* terhadap peluruhan akibat aliran lumpur, serta *Accretion Test* untuk mengamati kecenderungan melekatnya *cutting* pada permukaan logam sebagai indikator potensi *bit balling*. Sampel *shale cutting* yang digunakan berasal langsung dari formasi Sumur MKLS dan diuji dalam kondisi temperatur tinggi guna merepresentasikan kondisi pemboran aktual.

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan parameter sifat fisik lumpur dan tingkat stabilitas *shale* terhadap kriteria kinerja lumpur inhibitif. Analisis ini digunakan untuk menilai efektivitas sistem HPWBM berbasis KCl–Polymer Polyamine dalam menjaga stabilitas lubang bor serta mengurangi risiko operasional pada pemboran formasi *shale* reaktif.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan analisis terhadap kinerja sistem lumpur dan stabilitas *shale*, terlebih dahulu disajikan komposisi material lumpur pemboran yang digunakan dalam penelitian ini. Komposisi tersebut menjadi dasar dalam mengevaluasi sifat fisik dan kemampuan inhibisi sistem lumpur terhadap *shale* reaktif.

Tabel 1 menunjukkan komposisi sistem lumpur HPWBM berbasis KCl–Polymer Polyamine dengan berat lumpur sebesar 1,36 SG. Formulasi ini dirancang untuk menghasilkan keseimbangan antara tekanan hidrostatik dan kestabilan *shale*, sebagaimana konsep dasar perencanaan lumpur pemboran berbasis air yang dikemukakan oleh Rubiandini (2009). Penggunaan KCl sebagai inhibitor ionik dan polymer polyamine sebagai agen enkapsulasi mengikuti mekanisme inhibisi yang telah dijelaskan oleh Kusuma (2023), di mana ion K^+ berperan dalam menekan hidrasi mineral lempung.

Tabel 1. Komposisi Lumpur

Total Volume Built	350 mL		
Material	conc	SG	Volume
	(ppb)	(g/ml)	(ml)
Fresh Water		1.00	269.87
BIOCIDE	0.25	1.05	0.24
CAUSTIC SODA	0.70	2.13	0.33
ARBEHEL PAC-LV	1.75	1.50	1.17
STARCH	5.75	1.50	3.83
SOLTEX	6.00	1.54	3.90
Calcium Carbonate Fine	5.00	2.60	1.92
Calcium Carbonate Medium	5.00	2.60	1.92
FRACSEAL FINE	5.00	0.90	5.56
FRACSEAL MEDIUM	5.00	0.90	5.56
BARITE	130.00	4.20	30.95
XCD POLYMER	1.75	1.60	1.09
KCL	33.00	1.98	16.67
POLYAMINE	7.91	1.13	7.00
Total Volume Material			80.13
Volume Water Material			350.00
Berat Lumpur	1.36		

Sifat Fisik Lumpur Pemboran

Hasil pengujian sifat fisik lumpur dirangkum pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa densitas lumpur sebesar 1,36 g/cc berada dalam rentang spesifikasi yang direncanakan, sehingga mampu memberikan tekanan hidrostatik yang cukup untuk menjaga kestabilan lubang bor tanpa meningkatkan risiko kehilangan sirkulasi. Hal ini sesuai dengan prinsip keseimbangan tekanan formasi dan tekanan lumpur yang dijelaskan oleh Rubiandini (2009).

Nilai *plastic viscosity* (PV) sebesar 15 cP dan *yield point* (YP) sebesar 25 lb/100 ft² menunjukkan kemampuan pengangkatan *cutting* yang baik serta efisiensi sistem sirkulasi. Stabilitas parameter reologi setelah proses *hot rolling* menunjukkan bahwa sistem lumpur memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi, sebagaimana juga dilaporkan pada sistem lumpur berbasis polimer oleh Wardani (2017) dan Meier (2024). Selain itu, nilai filtrasi sebesar 4,8 mL/30 menit

(Tabel 2) yang berada di bawah batas maksimum menunjukkan kemampuan pembentukan filter cake yang efektif dalam meminimalkan invasi filtrat ke dalam formasi *shale*, yang juga dilaporkan pada sistem lumpur berbasis polimer dengan kontrol filtrasi yang baik pada temperatur tinggi (Meier, 2024).

Tabel 2. Hasil Pengujian Lumpur KCL - Polymer Polyamine

<i>Properties</i>	<i>Spesifikasi</i>	<i>Hasil</i>
Density (SG)	1.10 - 1.55	1.36
C_{600}	-	55
C_{300}	-	40
C_{200}	-	33
C_{100}	-	24
C_6	-	9
C_3	-	7
<i>Plastic viscosity</i> (cps)	< 20	15
<i>Yield point</i> (lbs/100 ft ²)	22 – 35	25
<i>Gel Strength</i> 10 Detik (lbs/100 ft ²)	6 - 18	7
<i>Gel Strength</i> 10 Menit(lbs/100 ft ²)	8 – 28	11
pH	9.0 – 10.0	9.40
Filtrate (ml)	≤ 5	4.8

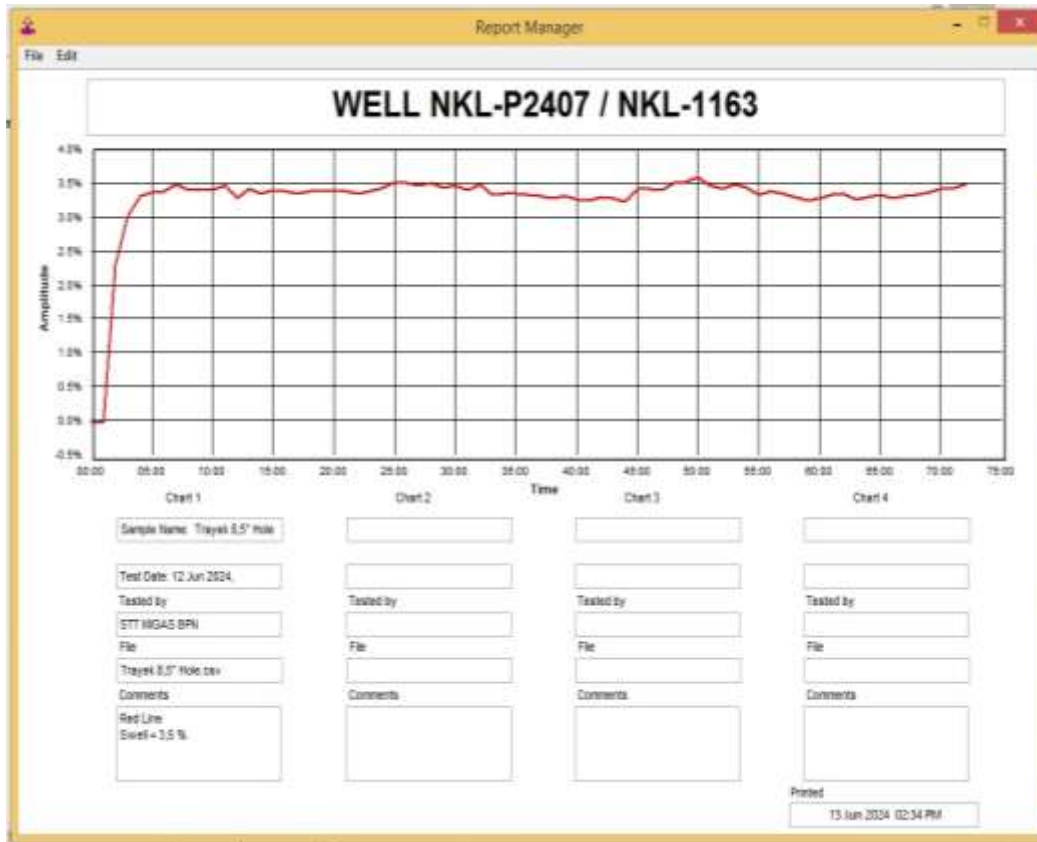
Analisis *Linear Swelling Meter* (LSM) Test

Hasil pengujian *Linear Swelling Meter* ditampilkan pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai *swelling* sebesar 3,5% dalam 72 jam, yang tergolong rendah dan menunjukkan efektivitas mekanisme inhibisi sistem lumpur. Kombinasi KCl dan polymer polyamine bekerja melalui inhibisi ionik serta proses enkapsulasi yang membatasi penetrasi air ke dalam struktur *shale*, sebagaimana dijelaskan oleh Kusuma (2023).

Nilai *swelling* yang rendah ini sejalan dengan hasil penelitian Nugroho (2022) dan Sunhaji (2024) yang menyatakan bahwa sistem lumpur berbasis KCl–Polyamine mampu meningkatkan kompatibilitas lumpur terhadap *shale* reaktif. Selain itu, pendekatan pengujian stabilitas *shale* melalui LSM juga direkomendasikan dalam evaluasi fluida pemboran inhibitif (Oort, 2016).

Tabel 3. Hasil Pengujian *Linear Swelling Meter Test*

<i>Mud Type</i>	<i>Weight Sample / Core</i>	<i>Swell at 24 Hours (%)</i>	<i>Swell at 48 Hours (%)</i>	<i>Swell at 72 Hours (%)</i>
KCL Polymer Polyamine	20 gr	3.4	3.5	3.5 %



Gambar 1. Hasil Pengujian *Linear Swelling Meter*

Analisis Erosion Test

Ketahanan *shale* terhadap peluruhan mekanis dievaluasi menggunakan *Erosion Test* sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan bahwa persentase erosi hanya sebesar 2,6%, yang mengindikasikan bahwa *shale* memiliki ketahanan yang baik terhadap degradasi akibat aliran lumpur.

Nilai erosi yang rendah ini menunjukkan bahwa sistem lumpur tidak hanya efektif secara kimiawi, tetapi juga mampu mempertahankan integritas mekanis *shale*. Hal ini penting karena peluruhan *shale* yang berlebihan dapat menyebabkan ketidakstabilan lubang bor dan meningkatkan

risiko permasalahan pemboran seperti *tight hole* dan *pack off* (Mustaghfirin, 2022; Rahman & Pratama, 2018).

Tabel 4. Hasil Pengujian *Erosion Test*

<i>Mud Type</i>	<i>Weight Cutting (gr) (Mo)</i>	<i>Weight Disc Initial (gr)</i>	<i>Weight Disc + Cutting (gr)</i>	<i>Weight Cutting After Erosion (gr) (Md)</i>	<i>% Erosion (Wr)</i>
KCL Polymer Polyamine	20.00	31.50	50.98	19,48	2.6 %

Analisis Accretion Test

Hasil *Accretion Test* ditampilkan pada Tabel 6. Tabel 6 menunjukkan nilai *accretion* sebesar 1,45%, yang tergolong sangat rendah. Nilai ini menunjukkan bahwa kecenderungan *shale* untuk melekat pada permukaan logam relatif kecil, sehingga potensi terjadinya *bit balling* dapat diminimalkan.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Diba, Pratama, dan Hidayat (2019) serta Zakky, Diba, dan Pratama (2019) yang menyatakan bahwa sistem lumpur inhibitif berbasis KCl–Polimer efektif dalam mengendalikan *Accretion shale* pada temperatur tinggi. Dengan demikian, sistem HPWBM berbasis KCl–Polymer Polyamine menunjukkan performa yang konsisten dalam mengendalikan *swelling, erosion, dan accretion* pada trayek 8 ½” Sumur MKLS.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Accretion Test*

<i>Mud Type</i>	<i>Weight Monel Initial</i>	<i>Weight Sample Cutting</i>	<i>Weight Monel After Accretion</i>	<i>Weight Dried Cuttings at Tube Acretion</i>	<i>Percentage (%)</i>
KCL Polymer Polyamine	118.84 gr	20.00 gr	119.13 gr	0.29 gr	1.45 %

Sebagai pelengkap analisis ketahanan *shale* terhadap peluruhan mekanis, hasil pengujian ini selanjutnya dikaitkan dengan spesifikasi sistem lumpur yang digunakan. Penyajian spesifikasi tersebut dimaksudkan untuk menunjukkan keterkaitan antara karakteristik material lumpur dan respon *shale* terhadap aliran lumpur selama pengujian. Oleh karena itu, tabel berikut menyajikan

spesifikasi sistem lumpur pemboran yang digunakan dalam penelitian sebagai dasar evaluasi kinerja sistem lumpur terhadap potensi erosi *shale*.

Tabel 6. Spesifikasi Sistem Lumpur

<i>Persentase</i>	<i>Keterangan</i>
0-20%	Good
20% - 50%	Marginal
50% - 100%	Unacceptable

(Sumber : Mitra Mandiri Saktitama, 2024)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium terhadap sistem *High Performance Water-Based Mud* (HPWBM) berbasis KCl–Polymer Polyamine, diperoleh bahwa sifat fisik lumpur yang dihasilkan memiliki densitas 1,36 g/cc, *plastic viscosity* 15 cP, *yield point* 25 lb/100 ft², kehilangan filtrat 4,8 mL/30 menit, dan pH 9,40, yang masih berada dalam rentang parameter yang direncanakan untuk operasi pemboran pada trayek 8 ½” Sumur MKLS.

Hasil pengujian *Linear Swelling Meter* (LSM) menunjukkan nilai *swelling* sebesar 3,5% dalam waktu 72 jam dengan peningkatan yang relatif kecil dibandingkan waktu pengujian sebelumnya. Selain itu, hasil *Erosion Test* sebesar 2,6% dan *Accretion Test* sebesar 1,45% menunjukkan bahwa sistem lumpur memiliki kemampuan inhibisi yang baik terhadap *shale* reaktif pada kondisi pengujian laboratorium.

Berdasarkan parameter pengujian tersebut, sistem lumpur HPWBM berbasis KCl–Polymer Polyamine menunjukkan potensi dalam mengendalikan interaksi antara lumpur dan *shale* melalui penekanan pembengkakan, pengurangan peluruhan partikel *shale*, serta kecenderungan *accretion* yang rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem lumpur tersebut berpotensi membantu mengurangi risiko permasalahan pemboran seperti *wellbore instability*, *tight hole*, *pack off*, dan *bit balling* pada pemboran formasi *shale* bertemperatur tinggi.

PENGAKUAN DAN UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, khususnya untuk Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) STT Migas

Balikpapan dan Laboratorium STT Migas Balikpapan yang telah menyediakan sarana dan prasarana selama kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Diba, A., Pratama, A., & Hidayat, R. (2019). Studi Pengaruh Sistem Lumpur Berbasis KCl terhadap *Accretion Shale* pada Kondisi Temperatur Tinggi. *Jurnal Teknologi Perminyakan*, 13(1), 45-53.
- Kusuma, R. A. (2023). Analisis Mekanisme Inhibisi Ionik KCl terhadap Stabilitas *Shale* Reaktif. *Jurnal Teknik Perminyakan*, 13(1), 45 - 53.
- Meier, S. K. (2024). Performance Evaluation of Polymer-Based Water-Based Drilling Fluids Under High-Temperature Conditions. *Journal Of Petroleum Science and Engineering*, 230, 111921.
- Mustagfirin, M. (2022). Evaluasi Kestabilan *Shale* pada Pemboran Sumur Minyak dan Gas. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Perminyakan*, 1-8.
- Nugroho, D. A. (2022). Studi Efektivitas Sistem Lumpur KCL-Polymine Terhadap Pembengkakan *Shale*. *Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan* , 12(2), 67 -75.
- Oort, V. (2016). Critical Parameters in the Design of *Shale*-Stabilizing Drilling Fluids. *SPE Drilling & Completion*, 31(1), 1-9.
- Rahman, A., & Pratama. (2018). Analisis Pengaruh Erosi *Shale* terhadap Ketidakstabilan Lubang Bor. *Jurnal Teknologi Migas*, 6(1), 21 - 28.
- Rubiandini, R. (2009). *Teknik Pemboran I*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Sunhaji, S. (2024). Evaluasi Kompatibilitas Lumpur Pemboran Berbasis KCl-Polymine terhadap *Shale* Reaktif. *Jurnal Rekayasa Migas*, 14(1), 33-41.
- Wardanu, R. P. (2017). Studi Pengaruh Polimer terhadap Sifat Reologi Lumpur Pemboran Berbasis KCl. *Jurnal Teknik Perminyakan*, 7(2), 55 - 63.
- Zakky, M., Diba, A., & Pratama, A. (2019). Pengaruh Sistem Lumpur Inhibitif terhadap Potensi *Bit balling* pada Formasi *Shale*. *Jurnal Energi dan Migas*, 10(1), 14 - 22.