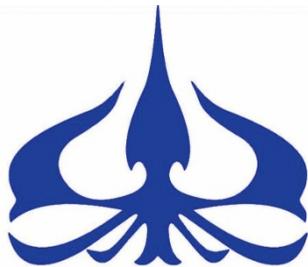


LAPORAN
PENELITIAN UNGGULAN FAKULTAS (PUF)

ANALISIS EFEKTIVITAS PENAMBAHAN KCI TERHADAP KINERJA
DAN STABILITAS FORMASI CLAY REAKTIF DALAM PEMBORAN

TIM PENELITI

| | | |
|--|--------------------|---------|
| APRIANDI RIZKINA RANGGA WASTU, ST, MT (0320049301) | | KETUA |
| RIDHA HUSLA, ST, MT | (0325029401) | ANGGOTA |
| GHANIMA YASMANIAR, ST, MT | (0320119501) | ANGGOTA |
| Ir. PAUHESTI, MT | (0312116510) | ANGGOTA |
| MENTARI GRACIA SOEKARDY | (071002100026) | ANGGOTA |
| FARAH ADIANA EKA SUCI, ST | (3216027011020011) | ANGGOTA |
| ANGGI MAYASARI, ST | (1571014603890081) | ANGGOTA |



TEKNIK PERMINYAKAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KEBUMIHAN DAN ENERGI
UNIVERSITAS TRISAKTI
2024/2025

DAFTAR ISI

| | |
|---------------------------------------|-----|
| Halaman Judul | i |
| Lembar Pengesahan | ii |
| Identitas Penelitian | iii |
| DAFTAR ISI..... | 1 |
| DAFTAR TABEL..... | 2 |
| DAFTAR GAMBAR | 3 |
| RINGKASAN PENELITIAN..... | 4 |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 5 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 8 |
| BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN | 20 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 23 |
| BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN | 30 |
| DAFTAR PUSTAKA | 31 |
| LAMPIRAN 1. ROAD MAP PENELITIAN | 33 |
| LAMPIRAN 2. LUARAN PENELITIAN..... | 35 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Tabel Mineral Clay (Herianto, 2015) | 9 |
| Tabel 4.1 Komposisi Fluida pemboran pada Trayek 26 ” | 23 |
| Tabel 4.2 Sifat Fisik pada Trayek 26 inchi | 23 |
| Tabel 4.3 Komposisi Fluida pemboran pada Trayek 17 ½ inchi. | 24 |
| Tabel 4.4 Sifat Fisik pada Trayek 17 ½ inchi. | 25 |
| Tabel 4.3 Bentuk Sampel cutting (yang sudah dibentuk silinder) Setelah Dilakukan Uji LSM | 28 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Shale (Amazon Associate, 2024) | 8 |
| Gambar 2.2 Pengecilan ruang pori akibat swelling clay (Rubiandini, 2009) | 9 |
| Gambar 2.3 Struktur Mineral Montmorillonite (Rubiandini, 2009) | 10 |
| Gambar 2.4 Struktur Mineral Kaolinite (Rubiandini, 2009) | 10 |
| Gambar 2.5 Struktur Mineral Illite (Rubiandini, 2009) | 11 |
| Gambar 2.6 Struktur Mineral Chlorite (Rubiandini, 2009) | 11 |
| Gambar 2.7 Struktur Mineral Attapulgite (Rubiandini, 2009) | 12 |
| Gambar 2.8 Mud Balance (Fann Instrument Company, 2016a) | 14 |
| Gambar 2.9 Marsh Funnel (Fann Instrument Company, 2013b) | 14 |
| Gambar 2.10 Fann VG Meter (Fann Instrument Company, 2016b) | 15 |
| Gambar 2.11 API LPLT (Fann Instrument Company, 2022) | 16 |
| Gambar 2.12 Methylene Blue Test (Fann Instrument Company, 2013a) | 18 |
| Gambar 2.13 Linear Swell Meter | 18 |
| Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Methylene Blue Test pada Trayek 26” (kiri) dan Trayek 17 ½ ” Kanan | 22 |
| Gambar 4.2 Persentase KCl pada Trayek 26 inchi terhadap Pengembangan Clay | 26 |
| Gambar 4.3 Persentase KCl pada Trayek 17 ½ inchi terhadap Pengembangan Clay | 27 |

RINGKASAN PENELITIAN

Dalam operasi pemboran, formasi clay reaktif seringkali menimbulkan masalah karena sifatnya yang mudah bereaksi dengan air, menyebabkan pembengkakan dan disintegrasi. Hal ini dapat mengakibatkan ketidakstabilan lubang bor, seperti runtuhnya dinding bor, stuck pipe, dan masalah lainnya, yang pada akhirnya meningkatkan biaya operasional dan menurunkan efisiensi pemboran. Salah satu solusi yang sering digunakan adalah penambahan Kalium Klorida (KCl) dalam fluida pemboran, namun perlu penelitian lebih lanjut untuk memastikan efektivitasnya dalam berbagai kondisi lapangan. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengevaluasi efektivitas penambahan KCl pada fluida pemboran dalam mengatasi masalah stabilitas yang disebabkan oleh formasi clay reaktif. Ini mencakup pemahaman lebih dalam tentang bagaimana KCl berinteraksi dengan clay reaktif dan dampaknya terhadap kinerja pemboran. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan dosis optimal KCl yang dapat menekan reaksi clay terhadap air, meningkatkan stabilitas lubang bor, serta menganalisis dampak KCl terhadap efisiensi operasional pemboran. Manfaat penelitian ini meliputi peningkatan efisiensi operasi pemboran, dukungan bagi pengambil keputusan dalam pengaturan regulasi terkait penggunaan bahan kimia dalam pemboran, dan potensi pengurangan dampak lingkungan. Metode penelitian mencakup studi literatur, eksperimen laboratorium pada sampel clay reaktif, uji lapangan untuk menguji efektivitas KCl, serta analisis data untuk menentukan efektivitas dan dosis optimal KCl dalam pemboran. Penelitian ini juga sejalan dengan roadmap ketua dan fakultas dalam mengembangkan penelitian terapan yang mendukung peningkatan kinerja industri energi dan berkontribusi pada inovasi teknologi dalam pemboran, sesuai dengan visi akademik untuk memperkuat riset berbasis kebutuhan industri. Serta target Luaran yang akan di hasilkan pada peneltian ini adalah menghasilkan 1 publikasi jurnal internasioanl terakreditasi dan HKI.

Kata Kunci :

Clay, Reaktif, KCl, Lumpur, Efektivitas

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses pemboran dalam industri perminyakan dan gas menghadapi berbagai tantangan teknis, terutama ketika berhadapan dengan formasi clay reaktif. Clay reaktif adalah jenis formasi tanah liat yang dapat mengalami perubahan signifikan saat terpapar fluida pemboran, menyebabkan masalah seperti pembengkakan, penurunan stabilitas lubang bor, dan gangguan pada aliran fluida. Masalah-masalah ini dapat mempengaruhi efisiensi operasi dan keselamatan proyek, serta meningkatkan biaya dan waktu yang diperlukan untuk mencapai target pemboran.

Salah satu pendekatan untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh clay reaktif adalah dengan menambahkan bahan aditif pada lumpur pemboran. Potassium Chloride (KCl) telah dikenal sebagai salah satu aditif yang efektif untuk mengendalikan efek dari clay reaktif. KCl bekerja dengan cara mengurangi interaksi antara molekul air dan partikel clay, sehingga mengurangi pembengkakan dan meningkatkan stabilitas formasi. Namun, meskipun penggunaan KCl umum dalam industri, efektivitas dan mekanisme kerjanya dalam konteks formasi clay reaktif masih perlu dievaluasi lebih lanjut untuk memastikan aplikasi yang optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penambahan KCl terhadap kinerja dan stabilitas formasi clay reaktif dalam proses pemboran. Dengan mengevaluasi dampak dari KCl terhadap formasi clay reaktif, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana aditif ini dapat meningkatkan stabilitas lubang bor dan mengoptimalkan kinerja pemboran. Selain itu, penelitian ini juga akan memberikan informasi yang berguna untuk pengembangan formulasi lumpur pemboran yang lebih efektif dan efisien dalam menangani tantangan yang dihadapi dalam kondisi formasi clay reaktif.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pada penelitian ini, terdapat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh KCl terhadap kestabilan formasi clay reaktif selama proses pemboran ?
2. Seberapa efektif KCl dalam meningkatkan kinerja lumpur pemboran yang digunakan pada formasi clay reaktif ?
3. Apa mekanisme kerja KCl dalam mengatasi masalah yang disebabkan oleh clay reaktif dalam pemboran ?
4. Apa saja faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas penambahan KCl dalam kondisi pemboran yang berbeda ?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latarbelakang dan perumusan masalah pada penelitian ini, maka terdapat beberapa tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh KCl terhadap kestabilan formasi clay reaktif selama proses pemboran.
2. Mengetahui efektif KCl dalam meningkatkan kinerja lumpur pemboran yang digunakan pada formasi clay reaktif.
3. Mengetahui mekanisme kerja KCl dalam mengatasi masalah yang disebabkan oleh clay reaktif dalam pemboran.
4. Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas penambahan KCl dalam kondisi pemboran yang berbeda

1.4. Batasan Penelitian

Sesuai dengan latar belakang masalah yang telah dijabarkan penulis, maka batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini yaitu

1. Jenis Formasi Clay Reaktif: Penelitian ini akan fokus pada jenis formasi clay reaktif tertentu yang umum ditemukan dalam operasi pemboran. Jenis clay reaktif lainnya atau formasi dengan karakteristik yang sangat berbeda mungkin tidak termasuk dalam cakupan penelitian ini.
2. Konsentrasi KCL: Variasi konsentrasi KCL yang dianalisis dalam penelitian ini akan dibatasi pada rentang tertentu yang dianggap relevan untuk aplikasi industri. Konsentrasi di luar rentang ini atau kombinasi aditif lain tidak akan dieksplorasi.
3. Metode Pengujian: Penelitian ini akan menggunakan metode laboratorium standar untuk menganalisis dampak KCL terhadap formasi clay reaktif..
4. Parameter Kinerja: Parameter kinerja lumpur pemboran yang dianalisis akan mencakup viskositas, kepadatan, filtrasi, dan stabilitas lubang bor. Parameter lain yang mungkin mempengaruhi efektivitas lumpur pemboran, seperti kompatibilitas dengan aditif lain, mungkin tidak termasuk.
5. Sumber Data: Data yang digunakan dalam penelitian ini akan berasal dari sumber dan spesimen yang tersedia serta relevan dengan fokus penelitian. Data dari formasi clay reaktif yang sangat berbeda atau sumber yang tidak standar mungkin tidak dipertimbangkan.

1.5. Kaitan Penelitian dengan Road Map Penelitian Pribadi dan Road Map Penelitian Fakultas

1. Kaitan Penelitian dengan Road Map Penelitian Pribadi

1. Pengembangan Keahlian di Bidang Teknik Pemboran: Penelitian ini akan memperdalam pemahaman pribadi tentang teknologi dan teknik pemboran, khususnya dalam mengatasi tantangan yang ditimbulkan oleh clay reaktif. Ini selaras dengan tujuan untuk mengembangkan keahlian dalam penanganan formasi tanah liat dan aditif pemboran.
2. Penerapan Teori dan Praktik: Dengan fokus pada analisis efektivitas penambahan KCL, penelitian ini akan menghubungkan teori tentang reaktivitas clay dengan aplikasi praktis di lapangan. Ini mendukung road map penelitian pribadi dalam menerapkan teori teknik dalam konteks industri nyata.
3. Inovasi dalam Metodologi Pemboran: Penelitian ini berpotensi menghasilkan inovasi dalam formulasi lumpur pemboran dan metode penanganan clay reaktif, sejalan dengan rencana untuk berkontribusi pada pengembangan metodologi baru dalam teknik pemboran.
4. Publikasi dan Kontribusi Akademis: Hasil penelitian ini akan menjadi kontribusi signifikan terhadap publikasi ilmiah dan presentasi di konferensi, yang mendukung tujuan pribadi untuk mempublikasikan hasil penelitian dan berbagi pengetahuan dengan komunitas akademis.

2. Kaitan Penelitian dengan Road Map Penelitian Fakultas

1. Strategi Pengembangan Teknologi Pemboran: Penelitian ini sejalan dengan road map fakultas yang mungkin berfokus pada pengembangan teknologi dan inovasi dalam teknik pemboran. Studi ini dapat menyediakan data empiris dan rekomendasi untuk meningkatkan teknik pengendalian clay reaktif.
2. Kolaborasi Antar-Disiplin: Fakultas sering mendorong kolaborasi antara disiplin ilmu yang berbeda. Penelitian ini dapat membuka peluang untuk kerja sama dengan departemen lain seperti kimia, material, atau teknik lingkungan dalam studi aditif pemboran dan reaktivitas formasi

3. Peningkatan Kualitas Pendidikan: Dengan mengintegrasikan hasil penelitian ini ke dalam kurikulum dan materi ajar, fakultas dapat memperbarui dan meningkatkan kualitas pendidikan di bidang teknik perminyakan dan pemboran, memberikan pengalaman praktis dan terkini kepada mahasiswa.
4. Pencapaian Tujuan Riset Fakultas: Penelitian ini dapat mendukung pencapaian tujuan strategis fakultas dalam mengatasi tantangan industri perminyakan dan memperbaiki metode pemboran. Hasil penelitian dapat digunakan untuk proyek-proyek fakultas yang lebih luas dan program-program penelitian yang relevan.
5. Pengembangan Infrastruktur Penelitian: Penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan dan pemanfaatan laboratorium dan fasilitas penelitian di fakultas, meningkatkan kapabilitas fasilitas dalam analisis dan pengujian aditif pemboran.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka ini akan membahas teori dasar yang berhubungan dengan penelitian ini mengenai analisis efektivitas penambahan KCl terhadap kinerja dan stabilitas formasi clay reaktif dalam pemboran. Penjelasan pada tinjauan Pustaka ini akan dijabarkan secara rinci pada setiap sub bab di tinjauan Pustaka ini.

2.1 Batuan Shale

Shale adalah batuan sedimen yang mengandung lempung, adapun masalah yang ditimbulkan oleh lempung yaitu dapat mengembang setelah menyerap air dari lumpur pemboran (Zakhrifady, 2018). Dapat dilihat dari material yang terkandung, shale yang mengandung pasir disebut arenaceous, yang mengandung kalsium karbonat disebut calcareous shale, yang mengandung besi disebut ferrogenous shale, sedangkan yang mengandung material organik disebut carbonaceous shale (Herianto, 2015).



Gambar 2.1 Shale (Amazon Associate, 2024)

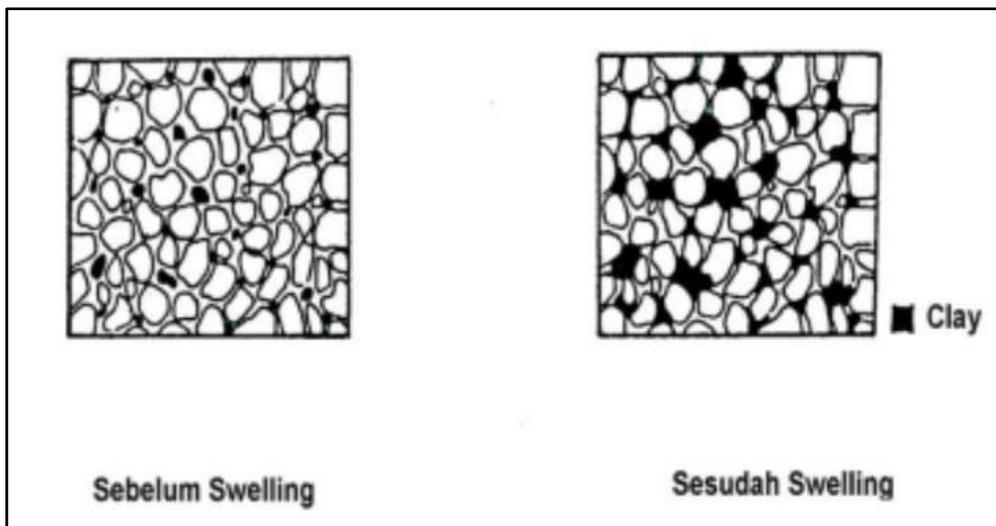
2.1.1 Komposisi Kimia Batuan Shale

Mineral *clay* umumnya terdiri dari pelapisan-pelapisan yang dibentuk oleh unit silica dan alumina. Mineral *clay* mengandung magnesium, besi, alkali dalam jumlah yang cukup besar, serta beberapa unsur tambahan yang berupa mineral non-*clay* seperti kuarsa, kalsit, feldspar, pyrite, dan bahan organik lainnya. Komposisi kimia mineral *clay* adalah kemampuan menyerap anion dan kation tertentu dan merubahnya ke anion-kation lain dengan pereaksi suatu ion dalam air. Reaksi pertukaran ini berlangsung disekitar sisi luar dan unit struktur silica-alumina *clay*. Reaksi pertukaran ini tidak mempengaruhi struktur mineral *clay* tersebut (Rubiandini, 2009).

2.2 *Swelling Clay*

Formasi *clay* merupakan sekumpulan batuan yang dominan terdiri dari mineral *clay*. Sifat reaktif pada formasi *clay* dapat mengakibatkan terjadinya pembengkakan *clay*. *Swelling Clay* terjadi karena adanya fasa cair dari lumpur pemboran dan mineral *clay* yang mengembang. Masalah ini dapat terjadi karena invasi mud filtrat yang kemudian dihidrasi oleh mineral *clay* yang terdistribusi di dalam formasi. Di dalam formasi terdapat permeabilitas batuan dan lumpur pemboran yang bersifat *filtration loss*, fasa cair dari lumpur pemboran akan tersaring masuk ke dalam formasi yang permeabel di sekitas lubang bor. Jika formasi mengandung *clay* yang menghidrasi akan terjadi swelling atau pembengkakan

akibat penyerapan air yang kuat oleh partikel *clay*, dimana *clay* yang mengembang pada batas tertentu akan mengalami dispersi, jika terdispersinya *clay* dalam formasi *clay* di lumpur pemboran tidak terkendali maka akan meningkatkan kandungan padatan dalam lumpur dengan densitas rendah dan menurunkan laju pemboran. Seperti pada gambar dibawah ini terlihat pori-pori batuan mengecil dan mengakibatkan porositas batuan juga mengecil (Rubiandini, 2009).



Gambar 2.2 Pengecilan ruang pori akibat *swelling clay* (Rubiandini, 2009)

Untuk mengurangi dampak dari masalah ini, lumpur pengeboran dirancang khusus untuk mengendalikan pembengkakan *clay*, salah satu solusi yang digunakan adalah penggunaan polimer dalam formulasi lumpur pemboran (Buntoro, 2016).

2.3 Analisis Kimia Mineral *Clay*

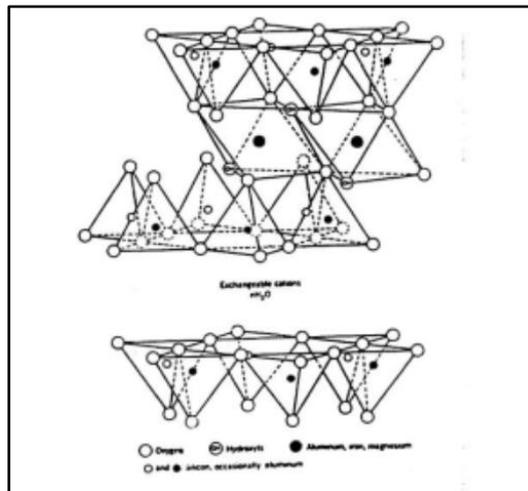
Berdasarkan komposisi mineral penyusun dan ikatannya, mineral *clay* dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok, yaitu:

Tabel 2.1 Mineral *Clay* (Herianto, 2015)

| Mineral | Hasil CEC (Meq/100gr) |
|--------------------------|-----------------------|
| Montmorillonite/Smectite | 60-130 |
| Kaolinite | 3-10 |
| Illite | 10-40 |
| Attapulgite | 10-35 |

2.3.1 Montmorillonit/Smectite (Fe, Al, Si, O, H₂O)

Montmorillonite atau smectite merupakan nama lain dari bentonite sebagai viscosifier. Struktur kristal montmorillonite terdiri dari dua unit silica tetrahedral sheet dengan pusatnya adalah alumina octahedral sheet. Montmorillonite terdiri dari dua silica tetrahedron dan satu alumina octahedron (konfigurasi 2:1), dua lattice kristal diikat oleh dua sisi oksigen dari silica tetrahedral, ikatan ini tidak begitu kuat sehingga air dapat masuk hingga terjadi *swelling* (Herianto, 2015).

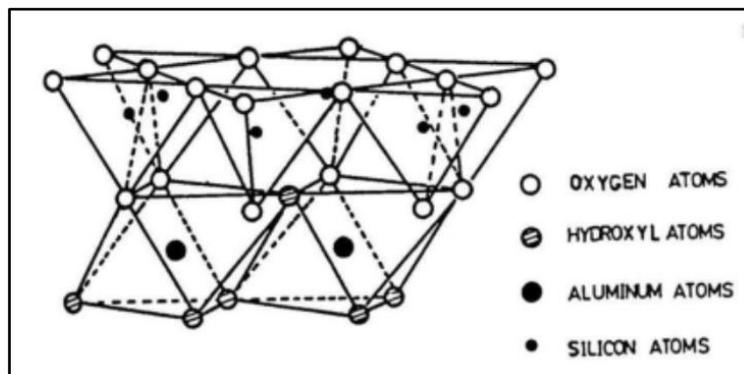


Gambar 2.3 Struktur Mineral Montmorillonite (Rubiandini, 2009)

2.3.2 Kaolinite (Al, Si, O)

Kaolinite terbentuk dari susunan berulang silica tetrahedral dan satu alumina octahedral, unit gabungan ini disebut lattice. Memiliki bentuk konfigurasi 1:1 gabungan dari dua lattice membentuk kristal kaolinite. Antara dua lattice dalam satu kristal terikat Oleh Sisi hydroxil (OH) dari alumina octahedral (gibbsite) dan Sisi oksigen dari silica tetrahedral. Ikatan hidrogen mempunyai karakteristik cukup kuat, sehingga tidak mengembang atau *swelling* (Herianto, 2015).

Struktur nya merupakan gabungan dari satu sheet silica tetrahedral dan satu sheet alumina octahedral dalam satu unit sehingga ujung dari sheet tetrahedral dan octahedral membentuk struktur seperti:

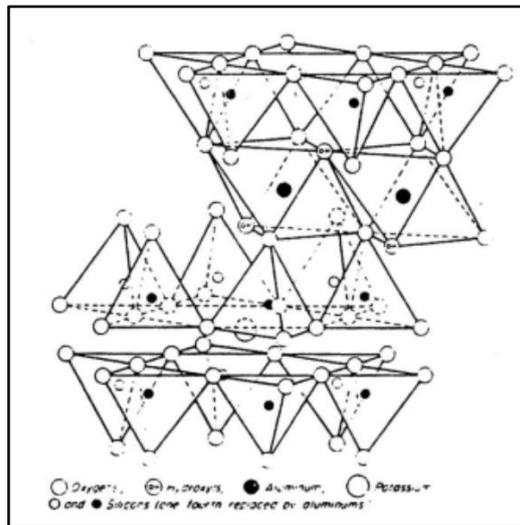


Gambar 2.4 Struktur Mineral Kaolinite (Rubiandini, 2009)

2.3.3 Illite (OH, Al, Mg, Si, O)

Illite mempunyai struktur konfigurasi 2:1 dengan montmorillonite. Terdapat ketidakseimbangan muatan per unit kristal karena pergantian pada struktur tetrahedron Si_{4+} dengan Al_{3+} dan pada struktur octahedron Al_{3+} dengan Fe_{2+} , Fe_{3+} , dan Mg_{3+} . Ketidakseimbangan ini dinetralsir oleh ion-ion potassium sehingga mengikat unit-unit kristal illite dan mencegah masuknya molekul air, namun struktur nya berubah karena pelepasan ion potassium sehingga illite dapat mengembang jika terpapar oleh air (Herianto, 2015).

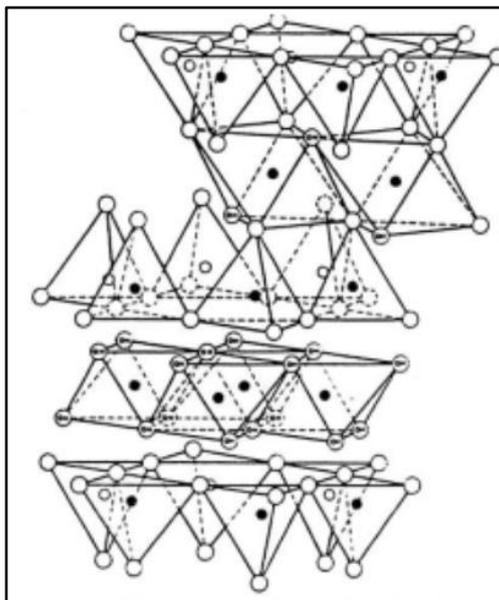
Struktur dasar dari mineral ini merupakan satu unit pelapian octahedral sheet sebagai pusat dan dua unit silica tetrahedral dimana telah terjadi pergantian hidrosil dengan oksigen. Berikut merupakan struktur mineral illite.



Gambar 2.5 Struktur Mineral Illite (Rubiandini, 2009)

2.3.4 Chlorite

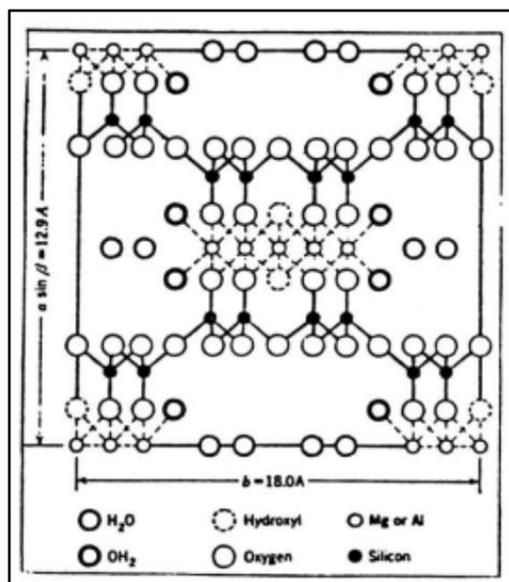
Chlorite memiliki butiran-butiran halus sehingga bentuk kristal sukar diamati. Pada umumnya chlorite memiliki struktur kristal trioctahedral namun ada juga yang berstruktur dioctahedral (Rubiandini, 2009). Berikut merupakan struktur mineral chlorite.



Gambar 2.6 Struktur Mineral Chlorite (Rubiandini, 2009)

2.3.5 Attapulgite (Mg, Si, O, H₂O)

Attapulgit terbentuk dari rantai panjang silika yang dihubungkan oleh Al₃₊ atau Mg₂₊. Kristalnya berbentuk jarum sehingga struktur attapulgit memiliki bentuk berbeda dengan mineral jenis mika (Herianto, 2015). Attapulgit terdiri dari double rantai silika yang terikat dengan atom oksigen membentuk struktur oktahedral yang mirip dengan mineral *clay* lainnya.



Gambar 2.7 Struktur Mineral Attapulgite (Rubiandini, 2009)

2.3.6 Mixed Layer Clay

Sesuai dengan namanya, mixed layer *clay* merupakan gabungan dari dua tipe lempung. Terbagi menjadi 2 kelompok berbeda yaitu struktur mixed layer pada umumnya dan mixed layer acak. Perbedaan struktur kristal ini akan menghasilkan karakteristik yang berbeda dengan nama mineralnya. Contohnya, mixed layer yang berasal dari chlorit dan smectite disebut dengan mineral corrensite (Nugraheni & Setiawan, 2021).

II.4 Lumpur Pemboran

Drilling fluid atau lumpur pemboran merupakan fluida yang digunakan dalam proses pengeboran sumur-sumur minyak dan gas bumi. Terdapat beberapa fungsi lumpur pemboran yaitu mengangkat *cutting* ke permukaan, mendinginkan dan melumasi bit dan *drill string*, mengontrol tekanan formasi, dan sebagai media logging (Amin, 2013).

Penggunaan lumpur pemboran didasarkan pada kondisi lumpur yang berbeda-beda, untuk itu diperlukan penelirian untuk menyesuaikan jenis lumpur dengan karakteristik lapangan (Widiatna et al., 2015). Dengan menggunakan lumpur pemboran yang tepat operasi pemboran pun dapat dilakukan dengan aman (Widiatna et al., 2015). Jika kemampuan lumpur pemboran terbilang buruk, maka akan memberikan dampak yang besar seperti terjadinya *swelling clay*. Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan yaitu jenis formasi karena dengan komposisi lumpur yang digunakan pada trayek 26" dan 17 1/2", komposisi yang tidak sesuai pada formasi *clay* yang reaktif akan mengakibatkan *swelling* (Subraja et al., 2022).

II.4.1 Fungsi Lumpur Pemboran

Adapun fungsi lumpur pemboran adalah sebagai berikut:

1. Mengangkat *Cutting* ke Permukaan

Lumpur pemboran merupakan fluida yang digunakan untuk membantu operasi pemboran seperti membersihkan lubang sumur dari serbuk bor atau *cutting* dan mengangkatnya ke permukaan (Satiyawira, 2018). *Cutting* yang dihasilkan saat operasi pemboran harus segera diangkat ke permukaan agar tidak terjadi penumpukan *cutting* di dasar lubang (Zakhrifady, 2018). Selain itu *cutting* juga dapat menempel pada bit yang menurunkan efektivitas pemboran, faktor yang mempengaruhi pengangkatan *cutting* seperti kecepatan fluida, densitas, dan viskositas (Amin, 2013).

2. Mengontrol Tekanan Formasi

Tekanan formasi adalah suatu gaya yang ditimbulkan oleh tekanan fluida yang terperangkap dalam formasi (Satiyawira & Imanurdana, 2018). Untuk keselamatan pemboran, tingginya nilai tekanan formasi harus diimbangi dengan tekanan hidrostatik lumpur yang tinggi sehingga nilai tekanan hidrostatik lumpur lebih besar dari pada tekanan formasi, jika nilai tekanan formasi lebih besar maka dapat menyebabkan *loss circulation* atau kerusakan formasi produktif (Zakhrifady, 2018)

3. Mempertahankan Stabilitas Lubang Bor

Pada lubang pemboran sering dijumpai adanya masalah terkait stabilitas lubang bor yang disebabkan oleh rekahan, hidrasi *clay*, dan tekanan tinggi. Perencanaan sistem lumpur untuk menjaga stabilitas lubang bor digunakan untuk pemilihan jenis dan sifat lumpur (Buntoro, 2016).

4. Mendinginkan dan Melumasi Bit dan *Drillstring*

Perputaran pahat dan drill string terhadap formasi akan menghasilkan panas sehingga dapat mempercepat keausan pahat dan *drillstring*. Selain panas yang ditimbulkan akibat gesekan juga panas yang berasal dari formasi itu sendiri, semakin dalam formasi yang dibor maka temperatur juga semakin tinggi. Lumpur pemboran dapat membantu mendinginkan drill string dengan menyerap panas melalui proses konveksi dan radiasi pada udara di sekitar mud pit (Zakhrifady, 2018).

5. Sebagai Media Logging

Untuk mengetahui kandungan hidrokarbon didalam formasi dan lain-lain maka dilakukan *well-logging* atau memasukan alat *logging* kedalam sumur seperti log listrik yang memerlukan media penghantar listrik seperti lumpur. Lumpur dengan kadar garam yang tinggi dapat menghambat pengukuran SP (*Spontaneous Potential*) log dikarenakan oleh konsentrasi garam dari lumpur dan formasi hampir sama, maka dari itu untuk pemilihan lumpur sendiri harus sesuai dengan program evaluasi formasi (Buntoro, 2016).

6. Membersihkan Dasar Lubang Bor

Lumpur dengan kandungan padatan (*solid content*) yang rendah merupakan fluida yang paling baik dalam membersihkan lubang bor, karena saat pembersihan dasar lubang bor dilakukan dengan fluida yang encer saat melewati *nozzle* pada bit dimana fluida yang kental kemungkinan dapat digunakan untuk membersihkan lubang bor (Zakhrifady, 2018).

7. Menahan *Cutting* saat Sirkulasi Dihentikan

Apabila sirkulasi dihentikan, lumpur pemboran harus mampu menahan *cutting* agar tidak turun mengendap didasar lubang bor. Kemampuan lumpur pemboran untuk menahan *cutting* saat tidak ada sirkulasi bergantung pada nilai *gel strength*, maka dari itu *gel strength* berfungsi sebagai pengental jika didiamkan dan kembali mencair saat diaduk. Sifat ini sangat diperlukan untuk mencegah *cutting* mengendap di dasar lubang bor yang akan menyebabkan terjepitnya rangkaian bor (Zakhrifady, 2018).

8. Menghantar Daya Hidrolika ke Pahat

Lumpur pemboran adalah media untuk menghantar daya hidrolika dari permukaan ke dasar lubang. Daya hidrolika lumpur harus ditentukan dalam membentuk proses pengeboran untuk membersihkan lubang dan mengangkat *cutting* (Zakhrifady, 2018).

9. Melindungi Formasi Produktif

Perlindungan terhadap formasi sangatlah penting, maka dari itu tidak boleh terjadi pengendapan *mud cake* pada lubang bor karena *Mud cake* yang tebal akan menjepit pipa pemboran sehingga sulit diangkat dan diputar. Kerusakan pada formasi produktif dapat menurunkan nilai permeabilitas di sekitar lubang bor (Zakhrifady, 2018).

10. Mencegah Korosi

Korosi terjadi melalui proses kimia yang melibatkan ion-ion di dalam lumpur, jika semakin banyak ion elektrolit maka laju korosi akan semakin cepat. Ada banyak cara untuk mengurangi laju korosi, seperti menggunakan zat pengikat oksigen serta bahan yang membentuk lapisan tipis untuk melindungi permukaan logam dari korosi (Zakhrifady, 2018).

2.4.2 Sifat Fisik Lumpur Pemboran

Adapun sifat fisik lumpur pemboran adalah sebagai berikut:

1. Densitas

Densitas lumpur berfungsi sebagai pengimbang tekanan formasi. Jika densitas lumpur terlalu besar akan menyebabkan *lost circulation* atau hilangnya lumpur di formasi, namun jika densitas terlalu kecil akan menyebabkan *kick*. Densitas lumpur harus disesuaikan dengan keadaan formasi yang akan dibor (Rubiandini, 2009). Adapun rumus untuk menghitung tekanan hidrostatik lumpur dengan persamaan berikut (Buntoro, 2016) :

$$Ph = 0,052 \times \rho \times TVD \quad (II.1)$$

Alat yang digunakan untuk menghitung berat jenis lumpur adalah *mud balance* yang terdiri dari batang yang dipasang pada satu ujungnya dengan cangkir untuk menampung sampel lumpur. Berikut merupakan alat dari mud balance untuk menghitung densitas lumpur.



Gambar 2.8 Mud Balance (Fann Instrument Company, 2016a)

Mud balance digunakan dengan cara membersihkan wadah terlebih dahulu kemudian sampel lumpur diambil dan ditempatkan di dalam wadah tersebut lalu tutup, kemudian ditempatkan dalam wadah yang tergantung pada salah satu ujung alat. Skala pada alat ini akan menunjukkan nilai dari densitas lumpur (Fann Instrument Company, 2016a).

2. Viskositas

Viskositas merupakan kekentalan fluida. Semakin kental lumpur pemboran maka kemampuan untuk mengangkat *cutting* akan semakin baik, namun jika lumpur pemboran semakin encer akan mengakibatkan penurunan laju pemboran. Alat untuk mengukur viskositas adalah *marsh funnel* (Amin, 2013).



Gambar 2.9 Marsh Funnel (Fann Instrument Company, 2013b)

Cara penggunaan *marsh funnel* dengan menuangkan lumpur pada corong *marsh funnel* yang sebelumnya ujung corong ditutup dengan jari, kemudian buka ujung corong dan letakan di atas gelas ukur, bersamaan dengan itu jalankan *stopwatch* untuk mengetahui waktu laju alir lumpur yang mengalir ke gelas ukur. Catatlah waktu yang diperlukan lumpur untuk mengalir dari corong (Fann Instrument Company, 2013).

3. PV (*Plastic Viscosity*)

PV atau *Plastic Viscosity* adalah gaya tarik menarik antar padatan di dalam lumpur, padatan cairan dan gesekan antara lapisan cairan dimana *plastic viscosity* merupakan hasil torsi dari pembacaan alat *Fann VG Meter* dalam kecepatan 600 rpm (Ginting, 2018). Penggunaan *Plastic viscosity* yang diukur dalam cp atau centipoises untuk menunjukkan pengaruh kandungan padatan terhadap kekentalan lumpur (Buntoro, 2016). Berikut merupakan rumus untuk menghitung nilai PV.

$$PV = \theta 600 - \theta 300 \quad (\text{II.2})$$

Alat untuk menghitung nilai PV adalah *Fann VG Meter*. Berikut merupakan alat untuk mengetahui nilai PV dan YP



Gambar 2.10 Fann VG Meter (Fann Instrument Company, 2016b)

4. YP (*Yield Point*)

YP atau *Yield Point* merupakan gaya tarik-menarik antar partikel yang dihasilkan oleh muatan-muatan pada permukaan partikel yang di dispersi dalam fasa fluida (Rubiandini, 2009). Hal ini berkaitan dengan menurunnya nilai PV yang berkorelasi pada penurunan nilai YP dan apabila harga YP terlalu tinggi maka serpih bor tidak terangkat ke permukaan (Ginting, 2018).

Alat yang digunakan untuk menghitung nilai *Yield Point* sama seperti untuk menghitung nilai PV dan *Gel strength* yaitu *Fann VG Meter*. Untuk perhitungan dirumuskan sebagai berikut (Rubiandini, 2009).

$$YP = \theta 300 - PV \quad (\text{II.3})$$

5. *Gel Strength*

Gel strength merupakan gaya tarik-menarik antar molekul dalam keadaan statis dan berfungsi untuk menahan *cutting* agar lumpur tidak turun saat tidak ada sirkulasi. Untuk mendapatkan nilai *gel strength* menggunakan *Fann VG Meter* seperti untuk mencari nilai PV dan YP. Dalam mengukur nilai *gel strength* terdapat 2 cara yaitu *gel strength* dalam 10 detik dan dalam 10 menit.

Proses mencari nilai *gel strength* 10 detik pertama-tama tarik switch yang menunjukkan R_{600} , tekan tombol ke arah *high* hingga satu menit atau sesuai dengan waktu yang kita inginkan agar kondisi lumpur stabil, selanjutnya matikan tombol pada Fann VG Meter dan diamkan selama 10 detik, setelah 10 detik tarik switch yang menunjukkan R_3 dan tekan tombol ke arah *low*, membaca nilai *gel strength* dengan melihat pada simpangan skala jarumnya yang menunjukkan nilai angka. Nilai yang akurat dapat diamati pada simpangan maksimum jarumnya, kemudian catat hasil pengamatan $R_3=10$ s sebagai harga *gel strength* s. Proses mencari nilai *gel strength* 10 menit, didapatkan setelah nilai *gel strength* 10 detik didapatkan tarik *Switch* yang menunjukkan R_{600} , tekan tombol ke arah *high* hingga satu menit agar kondisi lumpur stabil, lalu matikan Fann VG Meter dan diamkan selama 10 menit, setelah 10 menit tarik *switch* yang menunjukkan R_3 dan tekan tombol ke arah *low*, baca nilai *gel strength* dengan melihat pada simpangan skala jarumnya yang menunjukkan nilai angka. Nilai yang akurat dapat diamati pada simpangan maksimum jarumnya, kemudian catat hasil pengamatan $R_3=10$ menit sebagai harga *gel strength* 10 menit (Ginting, 2018).

6. Filtration Loss

Filtration loss merupakan kehilangan sebagian filtrat lumpur yang masuk ke dalam formasi. Alat nya bernama API Low Pressure Low Temperature (LPLT), dimana lumpur ditempatkan pada silinder yang dasarnya dipasang kertas saring kemudian dibagian atas tabung diberi tekanan udara/gas dan volume filtrat lumpur dan tebal *mud cake* dicatat. *Mud cake* yang tebal akan menjepit pipa pemboran sehingga sulit diangkat dan diputar. *Filtration loss* yang terlalu besar berpengaruh jelek terhadap formasi maupun lumpurnya sendiri, karena dapat menyebabkan terjadinya *formation damage* (pengurangan permeabilitas efektif terhadap minyak/gas) dan lumpur akan kehilangan banyak cairan (Rubiandini, 2009) (Buntoro, 2016).



Gambar 2.11 API LPLT (Fann Instrument Company, 2022)

2.4.3 Lumpur Gel Polymer

Lumpur Gel Polymer merupakan jenis lumpur yang digunakan pada formasi *clay* non reaktif. Gel Polymer biasanya digunakan pada trayek 36", 26" dan 17 1/2" karena didalam lumpur nya terdapat bentonite untuk mengatasi *filtration loss*, namun Gel Polymer tidak dapat digunakan pada section *production* karena pada section ini rawan terjadi *mudcake*.

Bahan pembuatan lumpur Gel Polymer antara lain *Water*, *Bentonite*, *Potassium Hydroxide*, CMC-HV, Pac-LV, dan XCD Polymer. *Bentonite* merupakan material yang paling umum digunakan untuk mengurangi tebal *mudcake* pada lumpur pemboran, tidak hanya itu *bentonite* juga dapat sebagai *viscosifier* dan *gel strength*, densitas yang digunakan harus kecil agar dapat menahan tekanan reservoir. Bahan lumpur yang kedua adalah *Potassium Hydroxide* atau KOH, merupakan pH adjuster karena beberapa aditif lumpur memiliki pH yang rendah maka jika terdapat pH yang terlalu rendah harus dinaikan. KOH biasanya digunakan dalam lumpur untuk *clay* hidrasi inhibition (Amin, 2013). CMC-HV atau *Carboxyl Methyl Cellulose-High Viscosity* merupakan bahan lumpur yang digunakan untuk mengurangi *fluid loss*. Bahan lumpur yang keempat adalah Pac-LV sebagai viscosifier. XCD Polymer dapat digunakan untuk meningkatkan viskositas.

2.4.4 Lumpur KCl Polymer

Lumpur KCl Polymer merupakan lumpur yang berfungsi untuk mengontrol reaksi kimia pada lapisan *shale* sehingga dapat menghambat laju pengembangan *clay* dan termasuk dalam jenis *water based mud* karena berbahan dasar air (Wardani, 2017). KCl dalam air akan terurai menjadi ion K^+ dan Cl^- , untuk menstabilkan *clay* ion-ion K^+ akan menggantikan kedudukan ion Na^+ kemudian ion-ion K^+ akan terikat lebih kuat dibanding ikatan antara ion Na^+ dengan air, sehingga daya tolak-menolak antar ion dalam air akan berkurang dan ikatan antar plate semakin kuat. Daya tarik-menarik semakin kuat yang disebabkan oleh adanya ion K^+ akan menghasilkan semakin banyak air yang terbebas dari antar *clay* yang keluar dari sistem, sehingga viskositas akan turun. Ion-ion K^+ dengan jari-jari atomnya yang besar akan mencegah masuknya air ke dalam microfracture, sehingga mengurangi hidrasi osmosis (Hamid & Wastu, 2017).

Adanya polimer dalam menstabilkan *shale* karena mudah larut dalam lumpur yang mengandung elektrolit dan adsorpsi polimer terhadap partikel-partikel *clay*. Adsorpsi polimer oleh partikel *clay* akan meningkat dengan kehadiran KCl diatas 3%. Adsorpsi polimer akan mengurangi *swelling* dengan menyelubungi *plate shale* yang kemungkinan mengurangi berhubungan dengan air, seberapa besar pengurangan *swelling clay* yang terjadi tergantung pada konsentrasi KCl dan polimer dalam fasa cair lumpur (Wastu et al., 2015).

2.5 CEC (Cation Exchange Capacity)

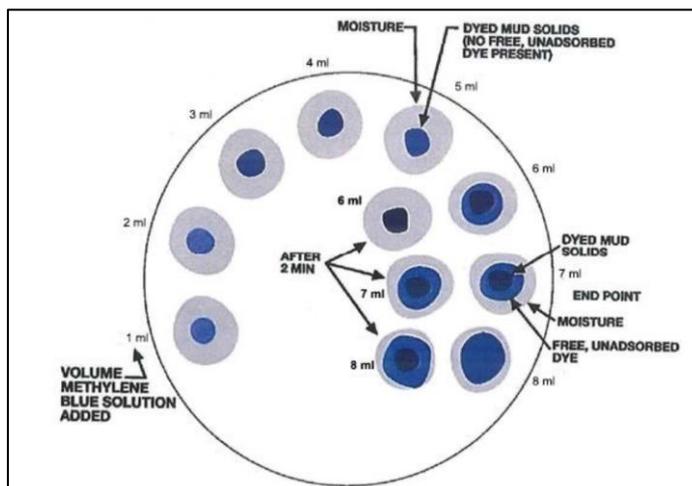
CEC merupakan pertukaran dari kation pada *clay*. Pertukaran kation ini merupakan ion positif yang menetralkan ion negatif dari partikel *clay* (Ramadhan, 2015). Jumlah kation yang diserap tersebut dinyatakan dalam Meq/100 gram. CEC berkaitan dengan kemudahan masuknya molekul air ke dalam struktur *clay* maka CEC dapat digunakan sebagai dasar penentuan kualitas *clay* (Buntoro, 2016).

2.6 MBT (Methylene Blue Test)

Uji *Methylene Blue* atau MBT merupakan pengujian untuk menentukan kapasitas *clay* untuk menyerap kation dari suatu larutan. Pengujian ini didasari pada sifat pertukaran kation dimana *clay* akan bertukar ion dari ion yang lain (Fann Instrument Company, 2013a). *Methylene Blue* merupakan inhibitor. Uji MBT dilakukan untuk mengetahui besaran penyerapan *clay* terhadap larutan *Methylene Blue* sehingga dapat diketahui jenis mineral pada trayek 26 dan 17 ½" ini.

Bahan yang digunakan dalam pengujian MBT adalah larutan *Methylene Blue*, H_2SO_4 , *Hydrogen Peroxide*, *Sodium Pyrophosphate*, dan sampel *cutting* yang akan diuji (sudah dikeringkan dan dihaluskan 200 mesh). Lakukanlah percobaan dengan membuat larutan tersebut dengan cara masukan 25 ml Sodium Pyrophosphate, 1 gr sampel *cutting* yang sudah dihaluskan, 1 ml H_2SO_4 , dan 15 ml Hydrogen Peroxide, panaskan larutan ini dengan *hotplate* dan *magnetic stirrer* hingga mendidih, kemudian dinginkan dan tambahkan 10 ml *aquadest* untuk mengencerkan larutan, setelah itu tambahkan *Methylene Blue* per 1 ml dan aduk, celupkan patang pengaduk ke dalam larutan dan angkat

kemudian teteskan cairan diatas kertas saring. Titik akhir awal akan tercapai jika ketika warna biru muncul berbentuk cincin, jika belum terlihat cincin biru lanjutkan titrasi hingga tetes yang diambil telah terbentuk cincin biru (Fann Instrument Company, 2013).



Gambar 2.12 Methylene Blue Test (Fann Instrument Company, 2013a)

2.7 LSM (*Linear Swell Meter*)

Uji LSM (*Linear Swell Meter*) dilakukan untuk melihat pengembangan mineral *clay* yang diambil dari sampel *cutting* yang sudah dihaluskan dan dibentuk silinder. Analisa *swelling clay* menggunakan metode *swelling test* yang dilakukan dengan menggunakan alat LSM (*Linear Swell Meter*). Pengujian ini dimaksudkan untuk melihat pengembangan dan tingkat reaksi dari mineral *clay* yang diambil dari *cutting* sumur pengeboran apabila dikontakkan dengan lumpur pengeboran. Pada uji LSM (*Linear Swell Meter*) hasil yang didapat berupa grafik antara waktu terhadap persentase pengembangan *clay*.

Metode ini dilakukan untuk melihat pengembangan dan tingkat reaksi dari *mineral clay* yang diambil dari sampel *cutting* (umumnya diambil dari *shaker rig*) pada sumur pemboran yang telah dilakukan *coring*, kemudian dikontakkan dengan lumpur yang akan diuji. Waktu peneteskan tidak dibatasi, karena tergantung dari seberapa cepat sampel tersebut untuk mengembang maksimal dan terlihat pada grafik *output* sudah menunjukkan titik akhir dari *swelling* (Diba et al., 2019).



Gambar 2.13 Linear Swell Meter

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilakukan dalam waktu 6-8 bulan mulai dari rencana persiapan pelaksanaan – hingga pengumpulan laporan akhir beserta luarannya. Tempat yang akan digunakan pada pembuatan sample penelitian ini adalah di Laboratorium Teknik Pemboran dan Produksi Universitas Trisakti

3.2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini memiliki beberapa tahap sebagai berikut :

1. Pendekatan Penelitian:

- Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimental dan analisis laboratorium untuk mengevaluasi efektivitas penambahan KCl dalam lumpur pemboran.

2. Desain Penelitian:

- Penelitian ini terdiri dari dua tahap utama: tahap laboratorium dan tahap analisis data. Tahap laboratorium mencakup persiapan sampel, uji stabilitas, dan pengukuran parameter kinerja. Tahap analisis data mencakup evaluasi hasil dan interpretasi dampak penambahan KCl.

3. Tahap Laboratorium:

a. Persiapan Sampel:

- Formasi Clay Reaktif: Sampel clay reaktif akan diambil dari formasi yang sesuai dan dikarakterisasi untuk mengetahui komposisi dan sifatnya.
- Lumpur Pemboran: Formulasi lumpur pemboran akan disiapkan dengan penambahan KCl dalam berbagai konsentrasi, sesuai dengan parameter yang ditentukan.

b. Uji Stabilitas:

- Uji Pembengkakan Clay: Sampel clay reaktif akan dimasukkan ke dalam lumpur pemboran yang mengandung KCl dan diuji untuk mengukur tingkat pembengkakan menggunakan metode seperti swell test.
- Uji Stabilitas Lubang Bor: Stabilitas lubang bor akan diuji melalui simulasi kondisi pemboran dalam laboratorium untuk mengamati efek penambahan KCl terhadap integritas formasi.

c. Pengukuran Parameter Kinerja:

- Viskositas: Viskositas lumpur pemboran akan diukur menggunakan viskometer untuk menentukan perubahan viskositas akibat penambahan KCl.
- Densitas: berat jenis lumpur pemboran akan diukur menggunakan alat densitometer.
- Filtrasi: Uji filtrasi dilakukan untuk mengukur jumlah filtrat yang melewati sampel lumpur dengan menambahkan KCl.
- Stabilitas: Pengujian stabilitas melibatkan pengukuran kemampuan lumpur untuk menjaga kestabilan formasi clay reaktif di bawah kondisi pemboran.

4. Tahap Analisis Data:

a. Pengolahan Data:

- Data yang diperoleh dari uji laboratorium akan diproses dan dianalisis untuk mengidentifikasi dampak penambahan KCl terhadap kinerja dan stabilitas formasi clay reaktif.

b. Analisis :

- Analisis seperti analisis variansi (ANOVA) dan uji-t akan digunakan untuk menentukan signifikansi perbedaan antara sampel dengan penambahan KCl pada konsentrasi yang berbeda.

c. Interpretasi Hasil:

- Hasil uji akan diinterpretasikan untuk menentukan efektivitas KCl dalam meningkatkan kinerja lumpur pemboran dan menjaga stabilitas formasi clay reaktif. Perbandingan akan dilakukan antara lumpur dengan KCl dan tanpa KCl.

5. Evaluasi dan Kesimpulan:

- Berdasarkan hasil analisis data, akan disusun kesimpulan mengenai efektivitas KCl dalam pemboran formasi clay reaktif. Rekomendasi untuk aplikasi praktis dan pengembangan formulasi lumpur pemboran yang lebih baik juga akan disajikan.

6. Validasi dan Verifikasi:

- Untuk memastikan keandalan hasil, penelitian akan mencakup verifikasi metode dan validasi hasil dengan melakukan uji ulang atau perbandingan dengan studi serupa.

3.3. Metode Analisis

Metode penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini memiliki beberapa tahap sebagai berikut :

1. Analisis Data Laboratorium

a. Pengukuran Viskositas:

- **Instrumen:** Viskometer (misalnya, Fann viscometer)
- **Metode:** Viskositas lumpur pemboran dengan dan tanpa penambahan KCl akan diukur pada berbagai kecepatan putaran. Data viskositas akan dianalisis untuk menentukan perubahan viskositas akibat penambahan KCl.
- **Analisis :** Perbandingan viskositas antara sampel dengan KCl dan tanpa KCl menggunakan uji-t atau analisis variansi (ANOVA) untuk menentukan signifikansi perbedaan.

b. Pengukuran Densitas :

- **Instrumen:** Densitometer
- **Metode:** Kepadatan lumpur pemboran diukur untuk setiap formulasi lumpur, baik yang mengandung KCl maupun yang tidak.
- **Analisis:** Data kepadatan dibandingkan untuk menentukan pengaruh KCl terhadap kepadatan lumpur.

c. Uji Pembengkakan Clay:

- **Instrumen:** Uji pembengkakan (misalnya, swell test)
- **Metode:** Ukur tingkat pembengkakan clay reaktif ketika terpapar lumpur pemboran dengan KCl dan tanpa KCl.
- **Analisis S:** Analisis perbedaan pembengkakan antara sampel dengan KCl dan tanpa KCl menggunakan analisis variansi (ANOVA) atau uji-t.

2. Analisis Data dan Interpretasi

1. Analisis Kinerja:

- **Metode:** Analisis kinerja lumpur pemboran akan melibatkan perbandingan parameter seperti viskositas, kepadatan, dan filtrasi antara formulasi lumpur dengan berbagai konsentrasi KCl dan kontrol (tanpa KCl).

- **Analisis** : Gunakan uji statistik untuk menentukan signifikansi perbedaan kinerja lumpur pemboran. Visualisasikan data menggunakan grafik dan tabel untuk memudahkan interpretasi.

2. Analisis Stabilitas:

- **Metode:** Evaluasi efek KCl terhadap stabilitas formasi clay reaktif melalui data hasil uji pembengkakan dan simulasi stabilitas lubang bor. Analisis perubahan dalam stabilitas lubang bor yang terjadi akibat penambahan KCl.
- **Analisis S:** Bandingkan hasil stabilitas antara sampel dengan KCl dan tanpa KCl menggunakan teknik statistik yang sesuai.

3. Validasi dan Verifikasi:

- **Metode:** Verifikasi hasil analisis dengan uji ulang pada sampel yang sama atau dengan menggunakan metode alternatif untuk memastikan konsistensi dan keandalan data.
- **Analisis:** Gunakan teknik validasi silang atau replikasi untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh dapat diandalkan dan konsisten.

4. Diskusi dan Kesimpulan:

- **Metode:** Interpretasikan hasil analisis untuk menentukan efektivitas KCl dalam meningkatkan kinerja dan stabilitas formasi clay reaktif. Bandingkan temuan dengan studi sebelumnya atau literatur terkait untuk mengaitkan hasil dengan pengetahuan yang ada.
- **Analisis:** Sampaikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan data eksperimen. Identifikasi implikasi praktis dari temuan untuk aplikasi dalam pemboran.

3.4. Indikator Capaian Penelitian

Indikator capaian yang akan dilakukan pada penelitian analisis efektivitas penambahan KCl terhadap kinerja dan stabilitas formasi clay reaktif dalam pemboran adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh KCl terhadap kestabilan formasi clay reaktif selama proses pemboran.
2. Mengetahui efektif KCl dalam meningkatkan kinerja lumpur pemboran yang digunakan pada formasi clay reaktif.
3. Mengetahui mekanisme kerja KCl dalam mengatasi masalah yang disebabkan oleh clay reaktif dalam pemboran.
4. Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas penambahan KCl dalam kondisi pemboran yang berbeda

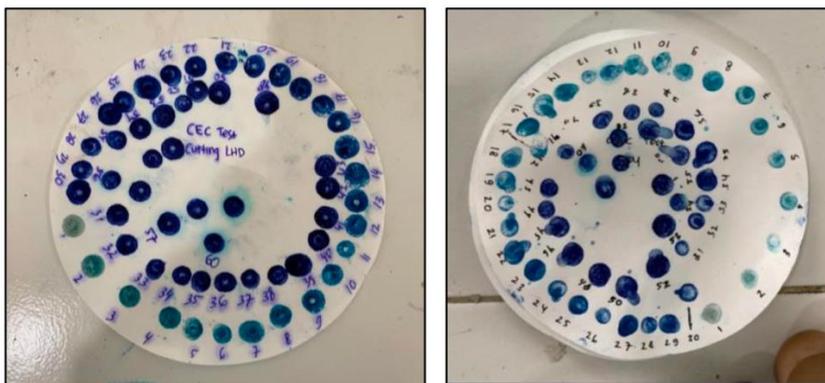
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan mengkaji efektivitas penambahan lumpur KCl Polymer terhadap formasi clay reaktif di sumur X di lapangan panas bumi. Penelitian ini menggunakan satu jenis sampel lumpur, lumpur KCl polymer. Lumpur KCl polymer dilakukan pada trayek 26" dan 17 1/2". Karena formasi clay reaktif ditemukan di trayek 26" dan 17 1/2" pada sumur X, diperlukan tambahan aditif KCl polymer. Tujuan dari penambahan ini adalah untuk mencegah terjadinya swelling clay, yaitu kondisi di mana clay mengembang saat kontak dengan air, yang dapat menyebabkan penyempitan lubang bor dan menghambat proses pengeboran. Dengan demikian, penggunaan KCl polymer diharapkan dapat meningkatkan stabilitas lubang bor serta efisiensi operasi pengeboran di lapangan panas bumi.

Sumur X terdapat pada sebuah lapangan geothermal yang memiliki variasi litologi pada setiap kedalaman. Sample kedalaman yang digunakan pada penelitian ini adalah trayek 26" dan 171/2" yang masing masing trayek memiliki kondisi formasi yang berbeda. Pada trayek 26" dengan kedalaman 29-452 m merupakan formasi tondino andesit sedangkan pada trayek 171/2" dengan kedalaman 453-1014 m memiliki formasi pra-caldera volcanic.

4.1 Penentuan Nilai Mineral Clay dengan Methylene Blue Test

Pengujian kandungan mineral clay menggunakan metode MBT (Methylene Blue Test) dilakukan untuk menganalisis komposisi mineral dalam sampel. Dari hasil pengujian ini, dapat ditentukan apakah formasi tersebut tergolong sebagai formasi clay reaktif atau tidak. Berikut adalah hasil dari uji MBT (Methylene Blue Test).



Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Methylene Blue Test pada Trayek 26" (kiri) dan Trayek 17 1/2" Kanan

Berdasarkan hasil uji MBT (Methylene Blue Test) yang ditampilkan pada Gambar 4.1. sampel pada trayek 26" diambil dari interval kedalaman 235–238 meter dengan kapasitas tukar kation (CEC) sebesar 60 meq/100 gram, yang tergolong dalam formasi clay reaktif jenis smectite. Sementara itu, sampel dari trayek 17 1/2" diambil pada kedalaman interval 574–583 meter, memiliki nilai kapasitas tukar kation (CEC) sebesar 60 meq/100 gram, yang termasuk kategori smectite. Smectite pada trayek 26" diklasifikasikan sebagai bagian dari zona agrilik dengan tingkat alterasi lemah hingga kuat, yang didominasi oleh mineral ubahan berupa clay Fe atau oksida besi sebesar 11–18%. Sedangkan pada trayek 17 1/2", smectite dikategorikan dalam zona agrilik dengan alterasi lemah hingga sedang, mengandung Fe atau oksida besi sebesar 30%. Pengujian nilai MBT pada kedua sampel ini bertujuan untuk memahami karakteristik formasi batuan yang akan ditembus dan menentukan jenis lumpur yang sesuai untuk digunakan pada masing-masing trayek. Clay smectite yang terkandung dalam formasi ini bersifat reaktif terhadap fluida, sehingga diameternya dalam

sampel cenderung mengembang (swell) ketika menyerap cairan. Jika tidak diatasi, pengembangan ini dapat menghambat operasi pengeboran dan menimbulkan masalah seperti swelling clay. Oleh karena itu, diperlukan penambahan aditif lumpur berupa KCl untuk mencegah pengembangan clay dan memastikan kelancaran proses pengeboran pada sumur tersebut.

4.2 Evaluasi Lumpur Pemboran pada Trayek 26 dan 17 ½ ” Sumur X

Dalam operasi pengeboran di sumur X, penentuan fluida pemboran dengan memiliki spesifikasi tertentu dirancang untuk mencegah berbagai potensi masalah. Pada Gambar 4.1 ditampilkan hasil uji MBT (Methylene Blue Test) pada dua trayek, yaitu 26” dan 17 ½”, yang menunjukkan kapasitas tukar kation (CEC) sebesar 60 meq/100 gram pada kedua trayek tersebut. Hasil ini mengindikasikan bahwa formasi tersebut tergolong formasi clay reaktif. Oleh karena itu, pada trayek 26” dan 17 ½” diperlukan bahan aditif yang dapat mengatasi reaktivitas clay pada trayek 26” dan 17 ½” serta memastikan kelancaran operasi pengeboran, digunakan lumpur dengan formulasi khusus. Komposisi lumpur ini menggunakan KCl Polymer guna menjaga stabilitas dan kelancaran proses pengeboran di formasi clay reaktif. Dibawah ini merupakan tabel komposisi fluida pemboran yang terdapat pada trayek 26 ” dalam kondisi plan dan actual.

Tabel 4.1 Komposisi Fluida pemboran pada Trayek 26 ”

| Bahan | Fungsi | Plan (ppb) | Actual (ppb) |
|-------------|---|------------|--------------|
| Soda Ash | Pengontrol pH | 0,12 | 7 |
| KCl | Shale inhibitor | 16,49 | 500 |
| KOH | memperkuat ion K | 0,21 | 13 |
| XCD Polymer | Meningkatkan Viskositas | 0,71 | 43 |
| PAC-LV | Mengontrol viskositas dan shale inhibitor | 1,5 | 91 |
| CMC-HV | Meningkatkan Viskositas | 1,48 | 90 |

Berdasarkan pada tabel 4.1 menunjukkan komposisi lumpur yang digunakan pada trayek 26”, dengan kedalaman 235–238 meter memiliki fungsi spesifik, namun terdapat perbedaan antara rencana awal (plan) dan kondisi aktual (actual). Hal ini disebabkan oleh karakteristik formasi batuan yang sering kali berbeda dari perkiraan selama pengeboran, sehingga diperlukan penyesuaian komposisi lumpur untuk menjaga stabilitas lubang bor. Perbedaan tekanan formasi yang ditemui juga menjadi faktor penting untuk mencegah masalah seperti kick dan blowout. Masalah seperti kehilangan sirkulasi lumpur, masuknya gas berbahaya, dan potensi kerusakan alat dapat memengaruhi jumlah dan jenis bahan yang digunakan dalam lumpur. Penyesuaian ini bertujuan untuk menghasilkan sifat fisik lumpur yang sesuai untuk mendukung kelancaran proses pengeboran. Berikut adalah tabel yang memperlihatkan sifat fisik lumpur berdasarkan kondisi plan dan actual pada trayek 26”.

Tabel 4.2 Sifat Fisik pada Trayek 26 inchi

| Sifat Fisik | Plan | | Actual |
|--------------------------|------|-----|--------|
| | Min | Max | |
| Mud Weight, (ppg) | 8,4 | 8,8 | 8,6 |
| Plastik Viskositas, (cp) | < 20 | | 14 |

| | | | |
|--|-------|----|-------|
| Yield Point, (lb/100ft ²) | 25 | 35 | 32 |
| Gel strength 10', (lb/100ft ²) | 5 | 20 | 6 |
| Gel strength 10'', (lb/100ft ²) | 5 | 15 | 8 |
| pH | 9,5 | 10 | 10 |
| Solid | < 4 | | 5 |
| K+ | 34210 | | 34210 |

Tabel 4.2 memperlihatkan nilai sifat fisik lumpur pada trayek 26” terdapat adanya perbedaan antara nilai sifat fisik lumpur yang direncanakan (plan) dan yang terjadi di lapangan (actual). Perbedaan ini disebabkan oleh perubahan kondisi selama pengeboran, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti porositas dan permeabilitas batuan, serta kebutuhan akan viskositas dan densitas lumpur untuk mempertahankan stabilitas lubang bor. Selain itu, tekanan formasi yang aktual sering kali berbeda dari perkiraan, ditambah dengan masuknya air formasi ke dalam lubang bor, turut memengaruhi perubahan sifat fisik lumpur.

Berikut ini merupakan tabel komposisi fluida pemboran pada trayek 17 ½ ” dengan kedalaman 453-1014 m

Tabel 4.3 Komposisi Fluida pemboran pada Trayek 17 ½ inchi

| Bahan | Fungsi | Plan (ppb) | Actual (ppb) |
|--------------|---|-----------------------|-------------------------|
| Soda Ash | Pengontrol pH | 0,13 | 15 |
| KCl | Shale inhibitor | 4,87 | 265 |
| KOH | memperkuat ion K | 0,37 | 41 |
| XCD Polymer | Meningkatkan Viskositas | 0,68 | 75 |
| PAC-LV | Mengontrol viskositas dan shale inhibitor | 1,41 | 15 |
| CMC-HV | Meningkatkan Viskositas | 1,48 | 90 |

Berdasarkan pada tabel 4.3 menunjukkan komposisi lumpur yang digunakan pada trayek 26”, dengan kedalaman 453-1014 meter memiliki fungsi spesifik, namun terdapat perbedaan antara rencana awal (plan) dan kondisi aktual (actual). Hal ini disebabkan oleh karakteristik formasi batuan yang sering kali berbeda dari perkiraan selama pengeboran, sehingga diperlukan penyesuaian komposisi lumpur untuk menjaga stabilitas lubang bor. Perbedaan tekanan formasi yang ditemui juga menjadi faktor penting untuk mencegah masalah seperti kick dan blowout. Masalah seperti kehilangan sirkulasi lumpur, masuknya gas berbahaya, dan potensi kerusakan alat dapat memengaruhi jumlah dan jenis bahan yang digunakan dalam lumpur. Penyesuaian ini bertujuan untuk menghasilkan sifat fisik lumpur yang sesuai untuk mendukung kelancaran proses pengeboran. Berikut adalah tabel yang memperlihatkan sifat fisik lumpur berdasarkan kondisi plan dan actual pada trayek 26”.

Tabel 4.4 Sifat Fisik pada Trayek 17 ½ inchi

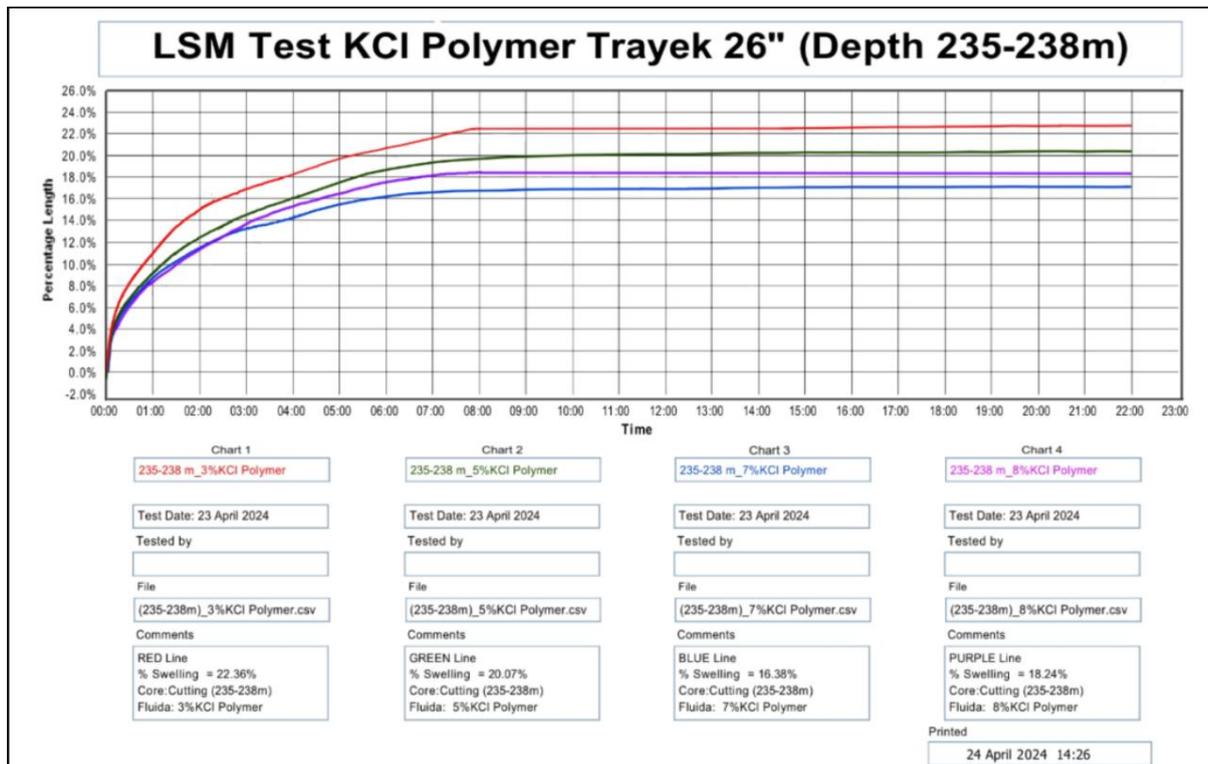
| Sifat Fisik | Plan | | Actual |
|---|-------|-----|--------|
| | Min | Max | |
| Mud Weight, (ppg) | 8,4 | 8,8 | 8,80 |
| Plastik Viskositas, (cp) | < 20 | | 18 |
| Yield Point, (lb/100ft ²) | 25 | 35 | 49 |
| Gel strength 10', (lb/100ft ²) | 5 | 20 | 6 |
| Gel strength 10'', (lb/100ft ²) | 5 | 15 | 8 |
| pH | 9,5 | 10 | 10 |
| Solid | < 4 | | 5 |
| K+ | 34210 | | 34210 |

Tabel 4.4 memperlihatkan nilai sifat fisik lumpur pada trayek 17 ½ ” terdapat adanya perbedaan antara nilai sifat fisik lumpur yang direncanakan (plan) dan yang terjadi di lapangan (actual). Perbedaan ini disebabkan oleh perubahan kondisi selama pengeboran, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti porositas dan permeabilitas batuan, serta kebutuhan akan viskositas dan densitas lumpur untuk mempertahankan stabilitas lubang bor. Selain itu, tekanan formasi yang aktual sering kali berbeda dari perkiraan, ditambah dengan masuknya air formasi ke dalam lubang bor, turut memengaruhi perubahan sifat fisik lumpur.

4.3 Uji Pengembangan Clay Terhadap Sample KCl pada Trayek 26 dan 17 ½ inchi

Pengujian ini bertujuan untuk menilai kemampuan sampel lumpur dalam mengatasi masalah swelling clay. Dalam pengujian ini, digunakan satu jenis sampel lumpur, yaitu lumpur KCl polimer. Proses pengujian dilakukan menggunakan LSM (Linear Swell Meter), yang merekam data grafik selama 17–24 jam. Data tersebut menunjukkan persentase pengembangan sampel cutting berbentuk silinder terhadap waktu ketika kontak dengan lumpur pemboran. Hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik pada layar monitor yang terhubung dengan alat tersebut. Grafik ini memuat kurva persentase tingkat pembengkakan sampel cutting selama pengujian, sehingga mempermudah analisis efektivitas jenis lumpur KCl polymer dalam menangani swelling clay.

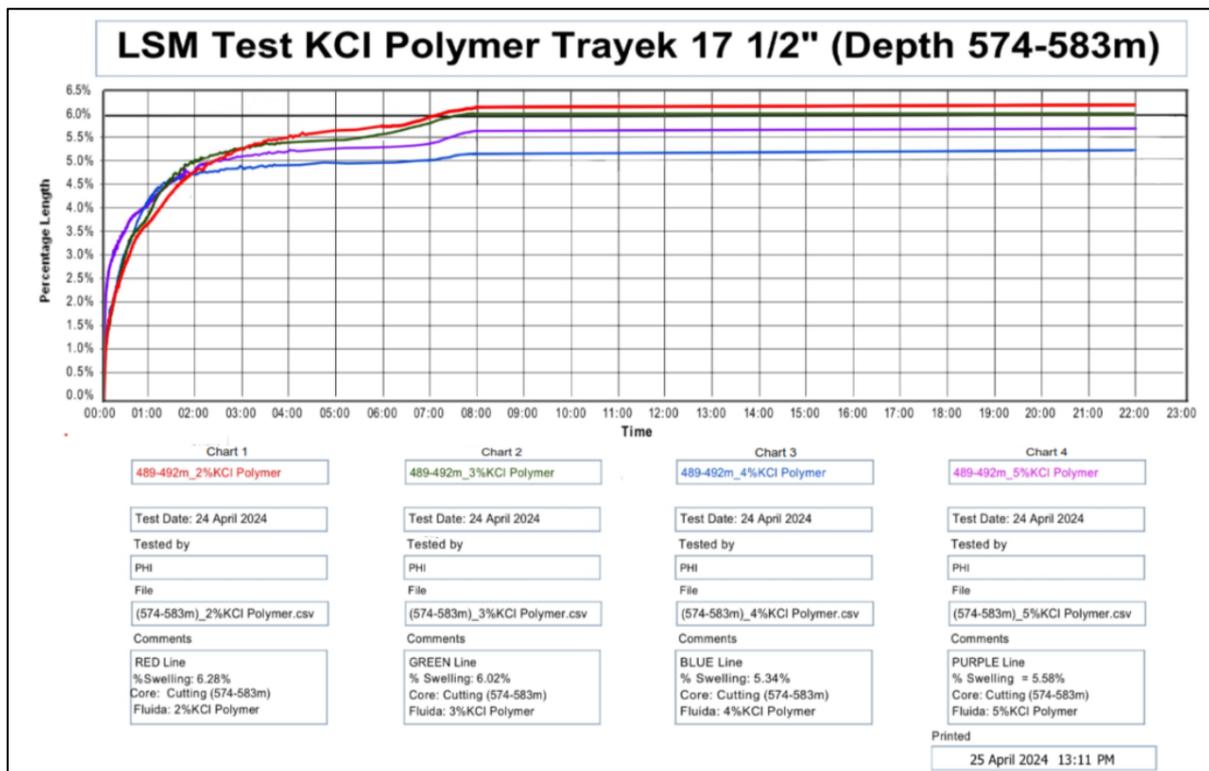
Terjadinya reaksi antara KCl dengan air akan terurai menjadi ion K⁺ dan Cl⁻. Ion K⁺ menggantikan ion Na⁺ memiliki fungsi dalam menstabilkan *shale*, karena ikatan K⁺ dengan *shale* cenderung lebih kuat dibanding ikatan Na⁺ dengan air. Ini mengurangi daya tolak-menolak antar ion dalam air dan memperkuat ikatan antar *clay*. Ion K⁺ dengan jari-jari atom besar menutup microfracture pada *shale* dan mencegah masuknya air sehingga mengurangi hidrasi osmosis pada *shale*. Berikut hasil dari pengembangan *clay* sampel lumpur KCl Polymer trayek 26” pada interval kedalaman 235-238 m yang dikontakkan dengan sampel *cutting* yang sudah berbentuk silinder



Gambar 4.2 Persentase KCl pada Trayek 26 inchi terhadap Pengembangan Clay

Terlihat pada gambar 4.2 menunjukkan hasil pengembangan clay dengan berbagai konsentrasi KCl memiliki hasil yang berbeda pada setiap konsentrasinya. Pada konsentrasi 3% KCl mendapatkan hasil 22,36 %, konsentrasi 5% KCl mendapatkan hasil 20,07%, konsentrasi 7% KCl mendapatkan hasil 16,38% dan untuk konsentrasi 8% KCl mendapatkan hasil 18,24%. Berdasarkan empat konsentrasi KCl mendapatkan hasil pengembangan clay yang berbeda, ini terjadi karena ada perbedaan reaksi antar konsentrasi KCl dengan sample clay yang digunakan. Namun jika dilihat terdapat hasil konsentrasi 7 % KCl memiliki hasil paling efektif karena dapat mengurangi reaksi pengembangan clay dengan menetralkan muatan negative partikel clay dan mengurangi penyerapan air dengan pengembangan clay yang berhenti paling cepat dalam waktu delapan jam dengan persentasi pengembangan yang lebih kecil dari konsentrasi yang lain. Terlihat pula nilai konsentrasi yang lebih tinggi tidak selalu mengurangi persentasi pengembangan, terlihat pada konsentrasi 8% yang memiliki persentasi pengembangan lebih besar jika di dibandingkan dengan konsentrasi 7%, ini terjadi karena kandungan ion K^+ yang lebih tinggi pada clay tidak sepenuhnya dapat menetralkan muatan negative sehingga dapat mengurangi efisiensi penggunaan KCl pada setiap trayek.

Selanjutnya terdapat pengujian pengembangan clay dengan menggunakan linear swell meter pada sample trayek 17 ½ inchi dengan interval kedalaman 574-583 m. Dibawah ini merupakan hasil uji linear swell meter pada trayek 17 ½ inchi.



Gambar 4.3 Persentase KCl pada Trayek 17 1/2 inchi terhadap Pengembangan Clay

Berdasarkan pada Gambar 4.3 menunjukkan hasil pengembangan clay dengan berbagai konsentrasi KCl memiliki hasil yang berbeda pada setiap konsentrasinya. Pada konsentrasi 2% KCl mendapatkan hasil 6,28 %, konsentrasi 3% KCl mendapatkan hasil 6,02%, konsentrasi 4% KCl mendapatkan hasil 5,345% dan untuk konsentrasi 5% KCl mendapatkan hasil 5,58%. Berdasarkan empat konsentrasi KCl mendapatkan hasil pengembangan clay yang berbeda, ini terjadi karena ada perbedaan reaksi antar konsentrasi KCl dengan sample clay yang digunakan. Terlihat pada persentase KCl dengan konsentrasi 4% KCl memiliki hasil yang paling efektif dalam uji pengembangan clay ini terjadi karena dapat menetralkan muatan negative partikel clay dan mengurangi penyerapan air dengan pengembangan clay yang berhenti paling cepat dalam waktu delapan jam dengan persentasi pengembangan yang lebih kecil dari konsentrasi yang lain.

Jika dikomparasikan antara gambar 4.2 dan 4.3 hasil pengujian pengembangan clay dengan linear swelling meter yang dikontakan dengan fluida pemboran yang mengandung konsentrasi 7% KCl pada trayek 26 inchi dan konsentrasi 4 % KCl pada trayek 17 1/2 inchi memiliki nilai persentasi paling kecil pada setiap pengujian yaitu 16,38% dan 5,34% dengan rentang waktu pengembangan 8jam untuk mencapai stabil. Penggunaan KCl yang memiliki peranan sebagai pengganti ion Na⁺ pada permukaan clay dengan ion K⁺ yang lebih kuat. Ion K⁺ dapat menetralkan muatan negatif pada permukaan clay sehingga mengurangi kemampuan clay untuk menyerap air dan mengembang. Ion kalium dari KCl pun dapat menyebabkan lapisan clay menjadi lebih padat dan mengurangi ruang antar lapisan sehingga mengurangi jumlah air yang dapat diserap dan menyebabkan swelling. Tanpa adanya ion kalium seperti dalam KCl, jenis lumpur lain seperti gel polymer kurang efektif dalam menetralkan muatan negatif pada permukaan clay sehingga clay terus menyerap air dan mengembang hingga mencapai batas maksimal penyerapan air.

4.4 Hasil Uji Pengembangan Clay terhadap Fluida Pemboran

Pengujian LSM (Linear Swelling Meter) dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas jenis lumpur pemboran, KCl Polymer, dalam mengurangi pengembangan clay. Pengujian ini melibatkan sampel cutting berbentuk silinder yang dikontakkan dan direndam dengan kedua jenis lumpur pemboran selama 17–24 jam. Swelling clay adalah partikel clay pada formasi batuan yang bereaksi dengan air, menyebabkan peningkatan volume yang dapat menimbulkan masalah selama proses pengeboran. Berikut ini adalah hasil pengujian yang menunjukkan perubahan bentuk sampel setelah direndam menggunakan alat LSM (Linear Swell Meter).

Tabel 4.3 Bentuk Sampel cutting (yang sudah dibentuk silinder) Setelah Dilakukan Uji LSM

| No | Konsentrasi KCl | Persentasi Swelling | Gambar Sample sebelum dan sesudah pengujian Linear Swelling Meter | |
|----|-----------------|---------------------|---|---|
| | | | Sebelum | Sesudah |
| 1 | 7% KCl | 16,38 % |  |  |
| 2 | 4 % KCl | 5,34 % |  |  |

Berdasarkan pada tabel 4.3 terlihat perbedaan pada masing masing sample yang telah dikontakan dengan sample cutting pada pengujian linear swelling meter. Pada % *Swelling* KCl Polymer 7% (16,38%) dan 4% (5,34%) terlihat sampel cutting mengandung banyak air. ni terjadi karena KCl polymer menggantikan ion natrium dengan ion kalium pada permukaan clay yang lebih efektif menetralkan muatan negatif dan mengurangi kemampuan clay untuk menyerap air sehingga menghambat terjadinya swelling

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian Analisis Efektivitas Penambahan KCl Terhadap Kinerja dan Stabilitas Formasi Clay adalah sebagai berikut :

1. Hasil uji MBT (Methylene Blue Test) pada trayek 26” dan 17 ½”, diperoleh nilai 60 meq/100 gr, yang menunjukkan bahwa mineral clay yang terkandung dalam formasi ini termasuk dalam kategori smectite, yaitu formasi clay reaktif.
2. Hasil persentase dari uji LSM (Linear Swell Meter) dengan penggunaan konsentrasi 7% KCl, dan 4% KCl Polymer masing-masing menunjukkan 16,38%, dan 5,34%. Waktu pengembangan selama 8 jam.
3. Penggunaan lumpur KCl terbukti dapat membantu mengurangi terjadinya swelling pada formasi clay reaktif di trayek 26” dan 17 ½”, karena lumpur ini mampu mengurangi penyerapan air. Namun, peningkatan konsentrasi KCl polymer tidak selalu berbanding lurus dengan pengurangan persentase pengembangan, seperti yang terlihat pada grafik LSM.
4. Berdasarkan hasil uji laboratorium terhadap konsentrasi 7% KCl, dan 4% KCl, lumpur KCl Polymer lebih efektif dalam mengatasi masalah swelling clay. Di antara kedua sampel KCl Polymer, yang paling optimal adalah penggunaan 4% KCl Polymer, yang menghasilkan persentase pengembangan sebesar 5,34% dalam waktu 8 jam.

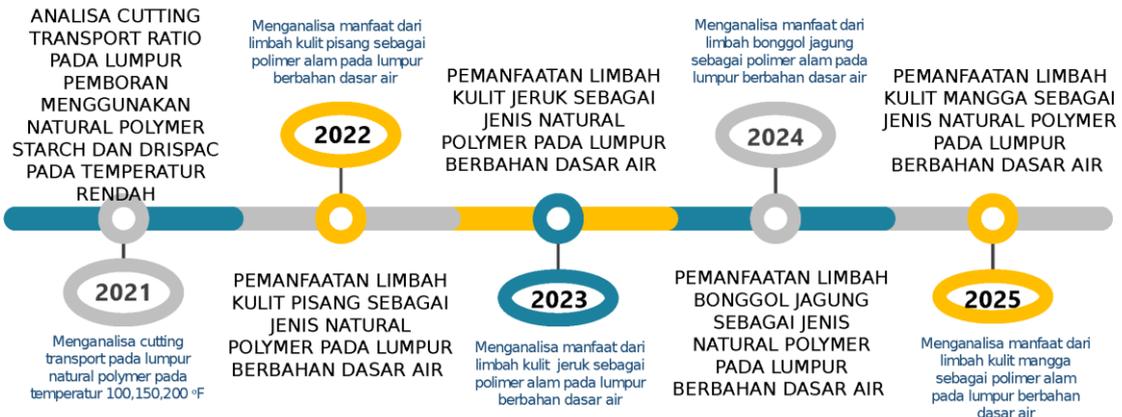
Adapun saran dari hasil penelitian ini, penulis mencoba memberikan saran untuk penelitian selanjutnya seperti pengujian pada berbagai tipe mineral clay untuk mengidentifikasi interaksi yang berbeda dengan KCl Polymer.

DAFTAR PUSTAKA

- Amazon Associate. (2024). *Shale: Identification, Characteristics, and More*. Rockhound Resource.
- Amin, M. (2013). *Lumpur dan Hidrolika Lumpur Pemboran*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Buntoro, A. (2016). *Lumpur Pemboran Perencanaan dan Solusi Masalah Secara Praktis*. Teknosain. <https://www.researchgate.net/publication/364813218>
- Diba, A. F., Mukmin, N. M., & Afifah, R. S. (2019). "Analisa Lumpur Pemboran Terhadap Swelling Clay pada Sumur X Lapangan Affikah." *Jurnal Petrogas*, 1(1), 46–56.
- Fann Instrument Company. (2013a). *Methylene Blue Kit Instruction Manual*. Fann Instrument Company. https://cdn.brandfolder.io/3RYPUX6K/at/2qhrvmt9jxc346rrfs8njsc/LSM_2100_Manual_102114531.pdf
- Fann Instrument Company. (2013b, May 1). *Marsh Funnel Viscometer Instructions*. Fann Instrument Company. https://cdn.brandfolder.io/3RYPUX6K/at/q98uxo-cnyxi0brzgfq/Marsh_Funnel_Instruction.pdf
- Fann Instrument Company. (2016a). *Mud Balance Instruction Manual*. https://cdn.brandfolder.io/3RYPUX6K/at/qcjm4b4mwxgwjzhzv74s89f/Model_140_Mud_Balance.pdf
- Fann Instrument Company. (2016b, January). *Viscometer Instruction Manual*. Fann Instrument Company. <https://www.fann.com/en/products/model-35>
- Fann Instrument Company. (2022). *API LPLT Instruction*. Fann Instrument Company. <https://www.fann.com/en/products/filter-press-api-lplt>
- Ginting, R. M. (2018). "Studi Laboratorium Pengaruh Penambahan Polimer Sintesis dan Tepung Sagu terhadap Sifat Rheology Lumpur Air Asin Sistem Dispersi pada Berbagai Temperatur." *Jurnal Petro*, VII(4), 166–170. <http://trijurnal.lemlit.trisakti.ac.id/index.php/petro>
- Hamid, A., & Wastu, A. R. (2017). "Evaluasi Penggunaan Sistem Lumpur Synthetic OBM dan KCl Polymer pada Pemboran Sumur X Lapangan Y." *Jurnal Petro*, VI(01), 2. <http://trijurnal.lemlit.trisakti.ac.id/index.php/petro>
- Herianto, D. A. (2015). "Analisa Swelling Clay Formasi Telisa untuk Perencanaan Lumpur Pemboran". *Seminar Nasional Kebumihan X*, 244–253.
- Nugraheni, R. Di., & Setiawan, N. S. (2021). *Pengaruh Diagenesa Batupasir pada Proses Recovery Hidrokarbon*. www.penerbit.medsan.co.id
- Ramadhan, R. (2015). "Optimasi Penggunaan Polymer Ultrahib dalam Sistem Water Base Mud di Sumur RRX-11 Lapangan RRX." *Seminar Nasional Cendekiawan*, 472–477.
- Rubiandini, R. (2009). *TEKNIK PERMBORAN 1*.
- Satiyawira, B. (2018). "Pengaruh Temperatur terhadap Sifat Fisik Sistem Low Solid Mud dengan Penambahan Aditif Biopolimer dan Bentonite Extender." *Jurnal Petro*, VII(4), 144–151. <http://trijurnal.lemlit.trisakti.ac.id/index.php/petro>
- Satiyawira, B., & Imanurdana, G. (2018). "Evaluasi Penyebab Hilang Sirkulasi Lumpur dan Penanggulangannya Pemboran pada Sumur-Sumur Lapangan Minyak 'X.'" *Jurnal Petro*, VII(4), 155.
- Subraja, T., Lestari, L., Husla, R., R.R.W, A., & Yasmaniar, G. (2022). "Analisa Pengangkatan Cutting menggunakan Metode CCI, CTR, dan CCA pada Sumur T Trayek 17 ½". *PETRO: Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, 11(1), 10–20. <https://doi.org/10.25105/petro.v11i1.12794>
- Wardani, R. (2017). "Evaluasi Pengaruh Temperatur terhadap Sifat Fisik Lumpur KCl Polymer Sumur "X" Lapangan "Y" pada Lubang 17 ½". *Jurnal Petro*, VI(4), 131. <http://trijurnal.lemlit.trisakti.ac.id/index.php/petro>

- Wastu, A., Hamid, A., & Yanti, W. (2015). "Evaluasi Penggunaan Sistem Lumpur Synthetic OBM dan KCl Polymer pada Pemboran Sumur SKW23 Lapangan Sukowati JOB Pertamina Petrochina East Java." *Seminar Nasional Cendekiawan*, 168.
- Widiatna, F., Satiyawira, B., & Sundja, A. (2015). "Analisis Penggunaan Lumpur Pemboran pada Formasi Gumai Shale Sumur K-13, S-14 dan Y-6 Trayek 12 1/4" CNOOC SES Ltd". *Seminar Nasional Cendekiawan*, 362.
- Zakhrifady, F. M. (2018). "Hidrolika Pemboran dan Pengangkatan Cutting." *Jurnal Petro*, VII(1), 5–14. <http://trijurnal.lemlit.trisakti.ac.id/index.php/petro>

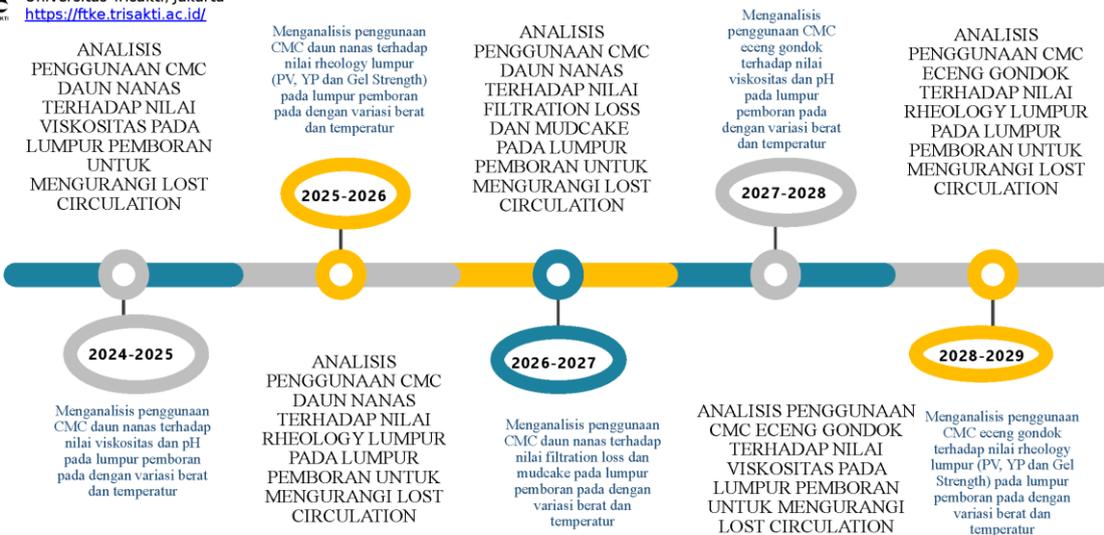
LAMPIRAN 1. ROAD MAP PENELITIAN



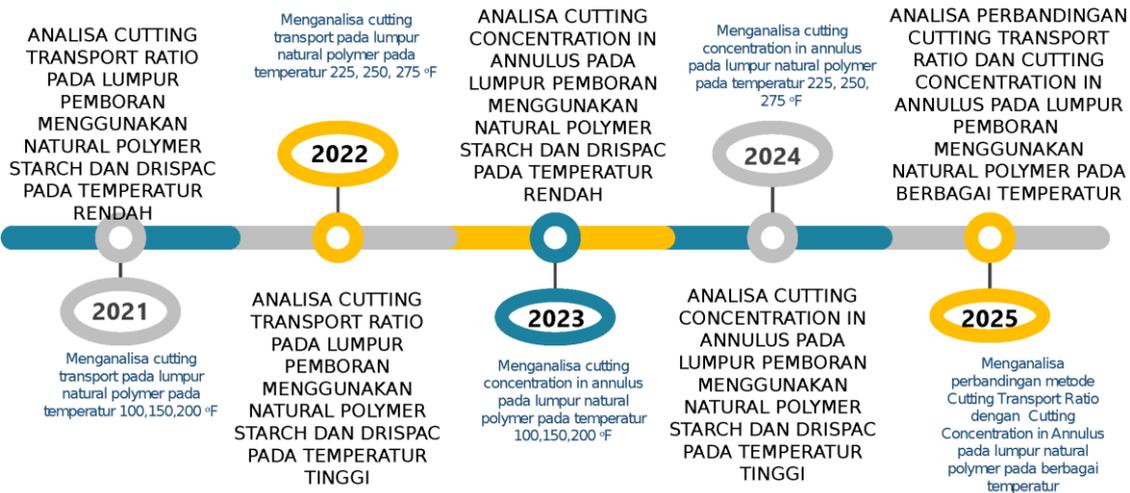
PETA JALAN PENELITIAN <Apriandi Rizkina Rangga Wastu ST.,MT>



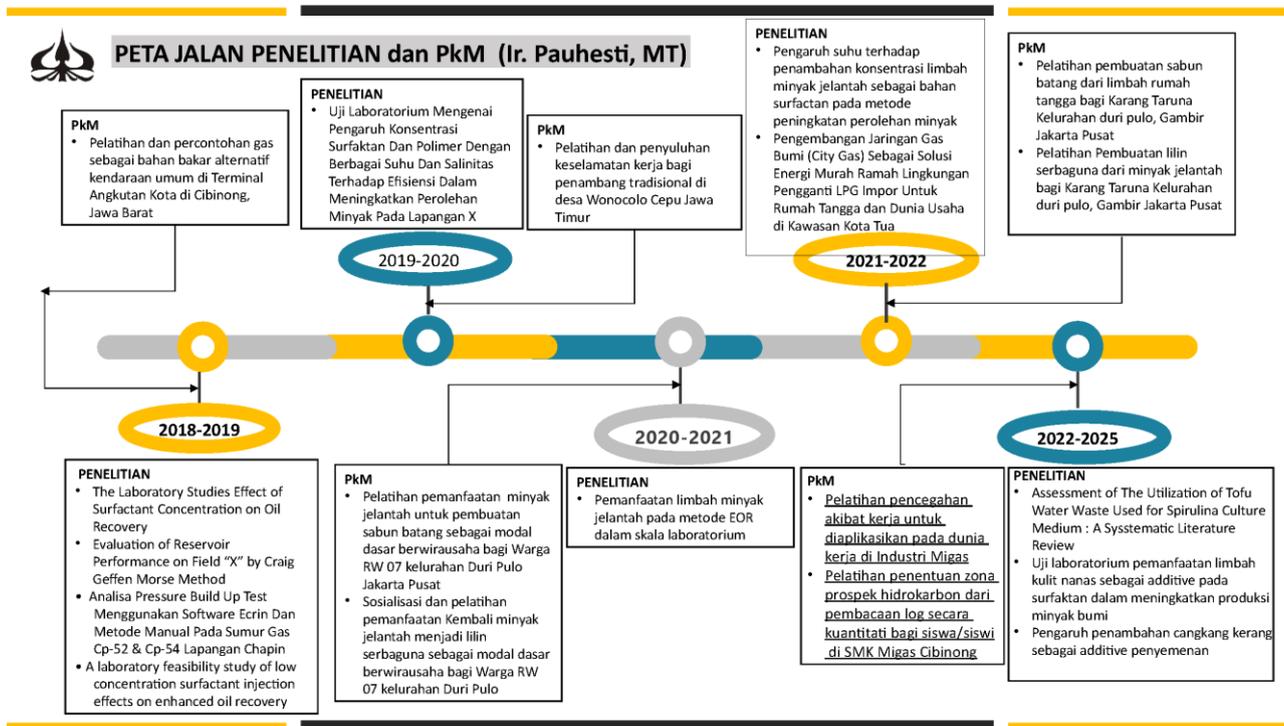
Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi
Universitas Trisakti, Jakarta
<https://ftke.trisakti.ac.id/>



Ridha Husla
NIK : 3552
NIDN : 0325029401
SINTA ID : 6685524
SCOPUS : 57211946498



PETA JALAN PENELITIAN < GHANIMA YASMANIAR ST.,MT>



LAMPIRAN 2. LUARAN PENELITIAN

LUARAN 1 :

Kategori Luaran : Artikel Ilmiah

Status : Submitted

Jenis Publikasi Jurnal : Jurnal Internasional Bereputasi

Nama Jurnal : Jurnal Teknologi

ISSN :

EISSN : 2180-3722

Lembaga Pengindek : Universiti Teknologi Malaysia

Url Jurnal : <https://journals.utm.my/jurnalteknologi>

Judul Artikel : ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF KCL POLYMER ON REACTIVE CLAY FORMATION IN THE 26 SECTION OF A FIELD X

Penulis (Tim Peneliti) :

1. Apriandi Rizkina Rangga Wastu , S.T., M.T. (First Author)
2. Ridha Husla, S.T., M.T. (Corresponding Author)
3. Ghanima Yasmaniar, S.T., M.T. (Corresponding Author)
4. Ir. Pauhesti, M.T. (Corresponding Author)
5. Farah Adiana Eka Suci, S.T (Corresponding Author)
6. Mentari Gracia Soekardy (Corresponding Author)

Penulis (Di Luar Tim Peneliti) :

1. R. Hari Karyadi Oetomo, BsPE., MsPE (Corresponding Author)

LUARAN 2 :

Kategori Luaran : Hak Kekayaan Intelektual

Status : Tercatat/Tersedia

Jenis HKI : Hak Cipta

Nama HKI : EFEKTIVITAS LUMPUR KCl PADA FORMASI CLAY REAKTIF DI LAPANGAN GEOTHERMAL

No. Pendaftaran : EC00202510926

Tanggal Pendaftaran : 2025-01-22

No. Pencatatan : 000850289

Penulis (Tim Peneliti) :

1. Apriandi Rizkina Rangga Wastu , S.T., M.T.
2. Ridha Husla, S.T., M.T.
3. Ghanima Yasmaniar, S.T., M.T.
4. Ir. Pauhesti, M.T.
5. Farah Adiana Eka Suci, S.T

LUARAN 3 :