

LAPORAN
PENELITIAN UNGGULAN FAKULTAS (PUF)

**ANALISA CUTTING CONCENTRATION IN ANNULUS PADA LUMPUR
PEMBORAN MENGGUNAKAN NATURAL POLYMER STARCH DAN DRISPAC
PADA TEMPERATUR TINGGI**

TIM PENELITIAN

Ridha Husla, S.T., M.T.	(0325029401)	Ketua
Apriandi Rizkina Ranga Wastu, S.T., M.T.	(0320049301)	Anggota
Ghanima Yasmaniar, S.T., M.T.	(0320119501)	Anggota
Prayang Sunny Yulia, S.T., M.T.	(0308079101)	Anggota
DAVID MICHAEL	071002000012	Anggota



TEKNIK PERMINYAKAN
Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi
UNIVERSITAS TRISAKTI
2024/2025



UNIVERSITAS TRISAKTI

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Jl. Kyai Tapa No. 1 Grogol, Jakarta Barat 11440, Indonesia

Telp. 021-5663232 (hunting), ext. 8141, 8161, Fax. 021-5684021

<http://lppm.trisakti.ac.id/>

lppm@trisakti.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN TAHUN AKADEMIK 2024/2025 0749/PUF/FTKE/2024-2025

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. Judul Penelitian | : ANALISA CUTTING CONCENTRATION IN ANNULUS PADA |
| 2. Skema Penelitian | : LUMPUR PEMBORAN MENGGUNAKAN NATURAL POLYMER |
| 3. Ketua Tim Pengusul | : STARCH DAN DRISPAC PADA TEMPERATUR TINGGI |
| a. Nama | : Penelitian Unggulan Fakultas (PUF) |
| b. NIDN | : Ridha Husla, S.T., M.T. |
| c. Jabatan/Golongan | : 0325029401 |
| d. Program Studi | : Lektor/II-D |
| e. Perguruan Tinggi | : TEKNIK PERMINYAKAN |
| f. Bidang Keahlian | : Universitas Trisakti |
| | : TEKNIK PERMINYAKAN |
| | JL. GILI SAMPENG NO.10A 009/03 KEBON JERUK JAKARTA |
| | BARAT |
| g. Alamat Kantor/Telp/Fak/surel | : ridha.husla@trisakti.ac.id |
| 4. Anggota Tim Pengusul | |
| a. Jumlah anggota | : Dosen 3 orang |
| b. Nama Anggota 1/bidang keahlian | : Apriandi Rizkina Rangga Wastu , S.T., M.T. /Teknik Perminyakan |
| c. Nama Anggota 2/bidang keahlian | : Ghanima Yasmaniar, S.T., M.T./Teknik Perminyakan |
| d. Nama Anggota 3/bidang keahlian | : Prayang Sunny Yulia, S.T., M.T./Ekonomi Migas |
| e. Jumlah mahasiswa yang terlibat | : 1 orang |
| f. Jumlah alumni yang terlibat | : 1 orang |
| g. Jumlah laboran/admin | : 1 orang |
| 5. Waktu Penelitian | |
| • Bulan/Tahun Mulai | : September 2023 |
| • Bulan/Tahun Selesai | : Juli 2024 |
| 6. Luaran yang dihasilkan | : <ul style="list-style-type: none">• Hak Kekayaan Intelektual• Artikel Ilmiah |
| 7. Biaya Total | : Rp31.000.000,-
(Tiga Puluh Satu Juta) |

Dekan



Dr. Suryo Prakoso, S.T., M.T.
NIDN: 0324017002

Jakarta, 24 September 2024
Ketua Tim Pengusul



Ridha Husla, S.T., M.T.
NIDN: 0325029401

Direktur



Prof. Dr. Ir. Astri Rinanti, M.T., IPM., ASEAN Eng.
NIDN: 0308097001

IDENTITAS PENELITIAN

Skema Penelitian	: Penelitian Unggulan Fakultas (PUF)
Judul Penelitian	: ANALISA CUTTING CONCENTRATION IN ANNULUS PADA LUMPUR PEMBORAN MENGGUNAKAN NATURAL POLYMER STARCH DAN DRISPAC PADA TEMPERATUR TINGGI
Fokus Penelitian	: Green Energy
Rumpun Penelitian	: Green Engineering/ Technology
Mata Kuliah yang terkait	: Teknik Lumpur Pemboran
Topik Pengabdian kepada Masyarakat yang terkait	:

Tim Peneliti

Peneliti	NIK/ NIM	Posisi	Status	Program Studi	Fakultas
Ridha Husla, S.T., M.T.	3552	Ketua	Dosen Universitas Trisakti	TEKNIK PERMINY AKAN	FTKE
Apriandi Rizkina Rangga Wastu , S.T., M.T.	3607	Anggota	Dosen Universitas Trisakti	TEKNIK PERMINY AKAN	FTKE
Ghanima Yasmaniar, S.T., M.T.	3565	Anggota	Dosen Universitas Trisakti	TEKNIK PERMINY AKAN	FTKE
Prayang Sunny Yulia, S.T., M.T.	3513	Anggota	Dosen Universitas Trisakti	TEKNIK PERMINY AKAN	FTKE
DAVID MICHAEL	07100200 0012	Anggota	Mahasiswa Universitas Trisakti	TEKNIK PERMINY AKAN	FTKE
FADILAH ALDO ALIMUDIN	36711309 07010006	Anggota	Alumni Universitas Trisakti		
ANGGI MAYASARI ST	15710146 03890081	Anggota	Laboran/Ad min Universitas Trisakti	TEKNIK PERMINY AKAN	FTKE

Lokasi dan atau Tempat Penelitian	:
Masa Penelitian	
Mulai	: September 2023
Berakhir	: Juli 2024
Dana diusulkan	: Rp31.000.000,-
Sumber Pendanaan	: 5.2.03.08.01
Target Kesiapterapan Teknologi	: TKT 4
Produk Inovasi	:
Luaran	: Hak Kekayaan Intelektual Artikel Ilmiah

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Identitas Penelitian	iii
DAFTAR ISI.....	1
DAFTAR TABEL.....	2
DAFTAR GAMBAR	4
RINGKASAN PENELITIAN.....	5
BAB 1. PENDAHULUAN	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	8
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	27
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN 1. ROAD MAP PENELITIAN	79
LAMPIRAN 2. LUARAN PENELITIAN.....	81

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Komposisi Lumpur Starch	30
Tabel 4. 2 Komposisi Lumpur Drispac	31
Tabel 4. 3 Spesifikasi Lumpur yang Digunakan.....	31
Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Densitas Terhadap Berbagai Suhu	32
Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Densitas Setelah Penambahan Barite	33
Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Viskositas Terhadap Suhu	34
Tabel 4. 7 Hasil Pengukuran Viskositas Setelah Penambahan Bahan	35
Tabel 4. 8 Hasil Pengukuran Plastik Viskositas Terhadap Berbagai Suhu.....	36
Tabel 4. 9 Hasil Pengukuran Plastik Viskositas Setelah Penambahan Bahan	37
Tabel 4. 10 Hasil Pengukuran <i>Yield point</i> Terhadap Berbagai Suhu	38
Tabel 4. 11 Hasil Pengukuran <i>Yield point</i> Setelah Penambahan Bahan	39
Tabel 4. 12 Hasil Pengukuran <i>Gels Strength</i> Terhadap Berbagai Suhu	40
Tabel 4. 13 Hasil Pengukuran <i>Gels Strength</i> Setelah Penambahan Bahan.....	41
Tabel 4. 14 Hasil Pengukuran <i>Filtration Loss</i> Terhadap Temperatur	43
Tabel 4. 15 Hasil Pengukuran <i>Filtration Loss</i> Setelah Penambahan Bahan.....	44
Tabel 4. 16 Data Perhitungan Pengangkatan <i>Cutting</i> Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 150°F.....	45
Tabel 4. 17 Data Perhitungan Pengangkatan <i>Cutting</i> Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 17-1/2 Pada Temperatur 150°F.....	46
Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan Vann, Annular Viskositas, Vcrit, dan Jenis Aliran Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 17-1/2” Pada Temperatur 150 °F	46
Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan Vann, Annular Viskositas, Vcrit, dan Jenis Aliran Sampel Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 17-1/2” Pada Temperatur 150°F (lanjutan)	47
Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan Nre Partikel, Vslip, dan Vslip koreksi Sampel	48
Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan Nre Partikel, Vslip, dan Vslip koreksi Sampel	49
Tabel 4. 22 Hasil Perhitungan Annular Area Point, Vmin, dan Qmin Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 17-1/2" Pada Temperatur 150°F	50
Tabel 4. 23 Hasil Perhitungan Annular Area Point, Vmin, dan Qmin Sampel Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 17-1/2" Pada Temperatur 150°F	51
Tabel 4. 24 Hasil Perhitungan <i>Cutting Sample</i> Lumpur KCl Polymer (Starch) Pada Trayek 12-1/4 ” Pada Temperatur 150 °F.....	52
Tabel 4. 25 Hasil Perhitungan <i>Cutting Sample</i> Lumpur KCl Polymer (Drispac) Pada Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 150 °F.....	53
Tabel 4. 26 Data Perhitungan Pengangkatan <i>Cutting</i> Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4” pada Temperatur 200°F.....	54
Tabel 4. 27 Data Perhitungan Pengangkatan <i>Cutting</i> Lumpur KCl Polymer	55
Tabel 4. 28 Hasil Perhitungan Vann, Annular Viskositas, Vcrit, dan Jenis Aliran Sampel Lumpur KCL Polymer (Starch) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 200 °F	55
Tabel 4. 29 Hasil Perhitungan Vann, Annular Viskositas, Vcrit, dan Jenis	56
Tabel 4. 30 Hasil Perhitungan Nre Partikel, Vslip, dan Vslip koreksi Sampel Lumpur KCL Polymer (Starch) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 200 °F	57
Tabel 4. 31 Hasil Perhitungan Nre Partikel, Vslip, dan Vslip koreksi Sampel Lumpur KCL Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 200 °F	58

Tabel 4. 32 Hasil Perhitungan Annular Area Point, V_{min} , dan Q_{min} Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 200°F	59
Tabel 4. 33 Hasil Perhitungan Annular Area Point, V_{min} , dan Q_{min} Sampel Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 200°F	60
Tabel 4. 34 Hasil Perhitungan Pengangkatan <i>Cutting</i> Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 200 °F	61
Tabel 4. 35 Hasil Perhitungan Pengangkatan <i>Cutting</i> Sampel Lumpur KCl	62
Tabel 4. 36 Data Perhitungan Pengangkatan <i>Cutting</i> Lumpur KCL Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250°F	63
Tabel 4. 37 Data Perhitungan Pengangkatan <i>Cutting</i> Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250°F	64
Tabel 4. 38 Hasil Perhitungan V_{ann} , Annular Viskositas, V_{crit} , dan Jenis Aliran Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250 °F	64
Tabel 4. 39 Hasil Perhitungan V_{ann} , Annular Viskositas, V_{crit} , dan Jenis Aliran Sampel Lumpur KCL Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250 °F	65
Tabel 4. 40 Hasil Perhitungan N_{re} Partikel, V_{slip} , dan V_{slip} koreksi Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250 °F	66
Tabel 4. 41 Hasil Perhitungan N_{re} Partikel, V_{slip} , dan V_{slip} koreksi Sampel Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250 °F	67
Tabel 4. 42 Hasil Perhitungan Annular Area Point, V_{min} , dan Q_{min} Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250°F	68
Tabel 4. 43 Hasil Perhitungan Annular Area Point, V_{min} , dan Q_{min} Sampel Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250°F	69
Tabel 4. 44 Hasil Perhitungan Pengangkatan <i>Cutting</i> Sampel Lumpur KCl	70
Tabel 4. 45 Hasil Perhitungan Pengangkatan <i>Cutting</i> Sampel Lumpur KCl	70
Tabel 4. 46 Hasil Perhitungan Pengangkatan <i>Cutting</i> Sampel Lumpur KCl	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hubungan shear stress dengan shear rate pada fluida newtonian	11
Gambar 2. 2 Hubungan shear stress dengan shear rate pada fluida non-newtonian.....	12
Gambar 2. 3 Alat ukur Fann Vg Meter (Wastu et al., 2019)	16
Gambar 2. 4 Proses Pengangkatan Cutting di Annulus (Zakhrifady, 2018).....	18
Gambar 2. 5 Eksentrisitas pipa pemboran	19
Gambar 2. 6 Pengangkatan cutting oleh lumpur pemboran.....	21
Gambar 2. 7 Pola Aliran Turbulent.....	21
Gambar 2. 8 Pola Aliran Laminar	22
Gambar 2. 9 Momen Pembentukan Nilai ECD (Wastu et al., 2019).....	25
Gambar 3. 1 Grafik Hasil Pengukuran Densitas Terhadap Berbagai Suhu	28
Gambar 4. 1 Grafik Hasil Pengukuran Densitas Terhadap Berbagai Suhu	32
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengukuran Densitas Setelah Penambahan Barite	33
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Pengukuran Viskositas Terhadap Berbagai Suhu	34
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Pengukuran Viskositas Setelah Penambahan Bahan.....	35
Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pengukuran Plastik Viskositas Terhadap Berbagai Suhu	36
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengukuran Plastik Viskositas Setelah Penambahan Bahan.....	37
Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengukuran <i>Yield point</i> Terhadap Temperatur	38
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengukuran <i>Yield point</i> Setelah Penambahan Bahan	39
Gambar 4. 9 Grafik Hasil Pengukuran <i>Gels Strength</i> 10 Detik Terhadap Berbagai Suhu	40
Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengukuran <i>Gel Strength</i> 10 Detik Terhadap Berbagai Suhu.....	41
Gambar 4. 11 Grafik Hasil Pengukuran <i>Gel Strength</i> 10 Detik Setelah Penambahan Bahan	42
Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengukuran <i>Gel Strength</i> 10 Menit Setelah Penambahan Bahan	43
Gambar 4. 13 Grafik Perubahan <i>Filtration Loss</i> Terhadap Temperatur.....	44
Gambar 4. 14 Grafik Hasil Pengukuran <i>Filtration Loss</i> Setelah Penambahan Bahan	44

RINGKASAN PENELITIAN

Prinsip dasar dari operasi pengeboran adalah menggerus batuan formasi dengan mata bit yang nantinya akan menjadi serpihan serbuk bor. Dalam proses ini dibutuhkan fluida sebagai media pengantar yang biasa dikenal lumpur pemboran, dikarenakan semakin dalam nya pemboran maka semakin banyak juga serpih bor yang dihasilkan. Salah satu fungsi utama dari lumpur pemboran ini adalah mengangkat hasil serpih bor ke atas permukaan. Dalam proses pengangkatan serbuk bor ada beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain nilai Rheology lumpur, laju aliran dan juga pola aliran dari lumpur tersebut. Apabila nilai-nilai ini tidak cocok dengan kebutuhan dalam operasi pengangkatan serbuk bor, maka akan menimbulkan beberapa permasalahan pada saat operasi pemboran yang dimana harus di hindari. Salah satu operasi masalah yang terjadi adalah pipa terjepit dan juga penurunan laju penetrasi karena serbuk bor yang tidak terangkat secara sempurna.

Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk melakukan perbandingan dua jenis polymer alam yang memiliki manfaat sebagai komposisi yang dapat membantu proses hole cleaning pada proses pemboran. Dua jenis polymer tersebut merupakan polymer selulosa yaitu drispac dan polymer polisakarida yaitu starch. Pada dua jenis polymer tersebut memiliki fungsi sebagai viscosifier yang dapat mengontrol sifat fisik pada lumpur pemboran terutama pada viskositas, plastic viskositas serta yield point. Pada penelitian akan dilakukan dua metode penelitian yaitu penelitian eksperimental dan analitik untuk mengetahui hubungan antara dua variabel yang akan diteliti. Dua sample variable tersebut akan dilakukan pengujian sifat fisik lumpur dengan pengaruh perubahan temperature sehingga pada kedua sample tersebut pada merepresentasikan keadaan lumpur di dalam lubang sumur pemboran. Setelah dilakukan pengujian sifat fisik secara di laboratorium , akan dilakukan pengujian pada skala lapangan dengan menggunakan metode cutting concentration in annulus untuk mengetahui seberapa besar ratio yang didapatkan pada kedua jenis sample lumpur tersebut dalam proses pengangkatan cutting. Pada penelitian ini menghasilkan luaran berupa HAKI dan paper yang akan di publish pada Jurnal Internasional.

Kata Kunci :

Cutting , Polymer, Starch, Drispac, Rheology, Lumpur

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Lumpur pemboran merupakan salah satu yang memiliki peranan penting pada proses pemboran minyak dan gas. Salah satu fungsi utama lumpur pemboran adalah mengangkat cutting (serbuk bor) dari lubang bor sampai permukaan. Lumpur pemboran harus memiliki kemampuan pengangkatan cutting dari dasar lubang hingga menuju kepermukaan dengan baik sehingga pemboran tidak akan menjadi permasalahan, apabila pada proses pengangkatan cutting tersebut tidak optimal akan menyebabkan pengendapan didasar sumur bor sehingga dapat terjadi permasalahan seperti stuck pipe dllnya. Parameter yang penting dalam lumpur pemboran adalah memiliki nilai sifat fisik lumpur pemboran yang baik. Sifat fisik yang berpengaruh pada saat terjadinya pengangkatan cutting adalah densitas, viskositas dan rheology lumpur pemboran. Untuk rheology lumpur pemboran terbagi menjadi dua bagian yaitu rheology pada keadaan statis dan dinamis. Pada kondisi statis yaitu Gel strength dan pada kondisi dinamis yaitu plastik viskositas dan yield point. Sehingga diperlukan bahan aditif yang dapat menjaga nilai sifat fisik lumpur tersebut dalam kondisi baik pada proses pengangkatan cutting.

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan dua jenis polymer alam yang memiliki fungsi untuk membantu proses hole cleaning pada proses pemboran. Dua jenis polymer tersebut adalah polymer selulosa yaitu drispac dan polymer polisakarida yaitu starch. Dua jenis polymer ini memiliki fungsi sebagai viscosifier yang dapat mengontrol sifat fisik rheology pada lumpur pemboran tersebut. Dua sample lumpur tersebut akan diuji sifat fisik lumpur dengan pengaruh perubahan temperatur sehingga pada kedua sample lumpur pemboran tersebut dapat mempersentasikan keadaan pada lumpur di lubang sumur pemboran. Setelah itu akan diuji pada skala lapangan dengan menggunakan metode cutting concentration in annulus untuk mengetahui berapa berapa persen pengendapan cutting di annulus.

1.2. Perumusan Masalah

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

1. Apakah penggunaan komposisi pada sample lumpur polymer Drispac dan Starch dapat mempengaruhi proses pengangkatan cutting ?
2. Bagaimana perubahan densitas lumpur polymer Drispac dan Starch terhadap perubahan temperatur ?
3. Bagaimana perubahan viskositas lumpur polymer Drispac dan Starch terhadap perubahan temperatur ?
4. Bagaimana perubahan rheology lumpur polymer Drispac dan Starch terhadap perubahan temperatur ?
5. Faktor apa saja yang yang mempengaruhi proses pengangkatan cutting ke permukaan, pada proses sirkulasi lumpur pemboran ?
6. Apakah arah aliran pada proses sirkulasi pemboran dapat menentukan keberhasilan pengangkatan cutting ke permukaan ?
7. Apakah pressure loss di annulus dan equivalent circulating density dapat menjadi salah satu penentu keberhasilann pengangkatan cutting ?
8. Bagaimana tingkat keberhasilan pengangkatan cutting dengan adanya perubahan nilai densitas pada metode pengangkatan cutting CCA (*Cutting Concentration In Annulus*) ?
9. Bagaimana tingkat keberhasilan pengangkatan cutting dengan adanya perubahan nilai rheology pada metode pengangkatan cutting CCA (*Cutting Concentration In Annulus*) ?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah maka didapatkan tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Mengetahui penggunaan komposisi pada sample lumpur polymer Drispac dan Starch dapat mempengaruhi proses pengangkatan cutting.
2. Mengetahui perubahan densitas lumpur polymer Drispac dan Starch terhadap perubahan temperatur.
3. Mengetahui perubahan viskositas lumpur polymer Drispac dan Starch terhadap perubahan temperatur.
4. Mengetahui perubahan rheology lumpur polymer Drispac dan Starch terhadap perubahan temperatur.
5. Mengetahui faktor apa saja yang mempengaruhi proses pengangkatan cutting ke permukaan, pada proses sirkulasi lumpur pemboran.
6. Mengetahui pengaruh arah aliran pada proses sirkulasi pemboran dapat menentukan keberhasilan pengangkatan cutting ke permukaan.
7. Mengetahui pengaruh pressure loss diannulus dan equivalent circulating density dapat menjadi salah satu penentu keberhasilan pengangkatan cutting ?
8. Mengetahui tingkat keberhasilan pengangkatan cutting dengan adanya perubahan nilai densitas pada metode pengangkatan cutting CCA (Cutting Concentration In Annulus) ?
9. Mengetahui tingkat keberhasilan pengangkatan cutting dengan adanya perubahan nilai rheology pada metode pengangkatan cutting CCA (Cutting Concentration In Annulus) ?

1.4. Batasan Penelitian

Pada penelitian ini akan dibatasi permasalahan pada analisis perbandingan pada lumpur polymer drispac dan starch terhadap pengangkatan cutting. Metode pengangkatan cutting yang digunakan pada kedua sample tersebut adalah CCA (Cutting Concentration In Annulus).

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

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang akan berlanjut sampai tahun 2025 dengan menggunakan polymer, metode serta temperature yang berbeda antara tahun satu dengan yang lainnya

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 ini akan membahas tentang landasan teori yang berhubungan dan mendukung penelitian ini, landasan teori yang akan dibahas berdasarkan dari sumber penelitian-penelitian terdahulu. Lumpur bor adalah salah satu elemen paling penting dalam operasi pemboran apapun. Lumpur memiliki nilai fungsi yang harus seluruhnya teroptimisasi untuk memastikan pemboran dapat berjalan dengan baik dan efisien. Kegagalan dari lumpur pemboran dapat mengganggu seluruh operasi pemboran yang nantinya akan membuat harga operasi pemboran menjadi meningkat dan bisa pula menyebabkan permasalahan lainnya seperti stuck pipe, bit bailing, lost circulation, kick dan, blow out.

2.1 Pengertian Pemboran

Operasi pemboran merupakan faktor terpenting dari beberapa faktor lainnya dalam dunia oil dan gas, karena merupakan salah satu pembuktian tentang keberadaan minyak dan gas bumi yang berada di bawah permukaan bumi. Adapun tujuan dari operasi pemboran ini adalah mengebor sampai daerah yang diinginkan, mengevaluasi lubang bor dan, menyelesaikan lubang bor yang akan menghasilkan minyak dan atau gas bumi secara optimal dan aman.

Agar tercapainya hasil operasi pemboran yang optimal dibutuhkan juga faktor pendukung yaitu, salah satunya lumpur fluida yang berfungsi sebagai media dari pahat bor itu sendiri dan juga sebagai media pengangkutan hasil serpih serbuk bor. Penggunaan lumpur bor yang optimal sangat mempengaruhi laju kelancaran dari operasi pemboran itu sendiri dimana faktor-faktor yang di perhatikan mulai dari karakteristik batuan itu sendiri.

2.2 Fungsi Lumpur Pemboran

Lumpur pemboran digunakan pada saat pengoperasian pemboran sehingga pengoperasian dapat berjalan secara lancar. Hal ini tentunya merupakan fungsi dari lumpur pemboran itu sendiri yaitu; mengangkat serbuk bor, mendinginkan serta melumasi bit dan rangkaian bor, menjaga dan mengimbangi tekanan formasi, membentuk mud cake sebagai pencegahan runtuhnya dinding lubang bor, menahan serpih bor pada saat sirkulasi di hentikan, menunjang berat dari drillstring, penghantar daya hidrolika lumpur ke pahat, memastikan pembersihan dasar lubang bor di lakukan secara optimal, membatasi korosi terhadap pipa bor dan selubung, sebagai media evaluasi formasi (*logging*).

2.2.1 Mengangkat serbuk bor

Lumpur pemboran mempunyai banyak fungsi salah satu fungsi utamanya adalah mengangkat cutting dari dasar lubang bor melalui annulus sampai ke atas permukaan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi dalam proses pengangkatan ini, diantaranya adalah kecepatan fluida di annulus (*annulus velocity*). Untuk kecepatan laju alir ini paling mudah diatur dengan mengatur *flowrate* lumpur, yang berhubungan dengan debit pompa. Dimana *flowrate* lumpur dengan debit pompa berbanding lurus, dimana semakin besar debit pompa semakin besar juga laju *flowrate* lumpur. Maka dari itu perlu dilakukan perhitungan antara kekentalan, *flowrate* dan juga debit pompa sehingga dapat mengangkat cutting secara maksimal. Serbuk bor yang tidak terangkat dan mengendap akan mengganggu operasi pemboran dan akan menyebabkan beberapa masalah pemboran seperti, pengerusan serbuk bor berulang kali oleh mata bor (*regrinding*), tersangkutnya serpihan serbuk bor pada sela-sela mata bor (*bit balling*), menyebabkan pipa terjepit (*stuck pipe*) yang memicu terjadinya semburan liar dan juga hidrolika pahat yang tidak optimum menjadi salah satu penyebab turunnya laju penetrasi (*Rate of Penetration*).

2.2.2 Mendinginkan dan melumasi bit dan rangkaian pipa bor

Pada saat operasi pemboran dimana mata bor menggerus dasar lubang bor maka secara tidak langsung akan menimbulkan panas di sekitar permukaan yang bergesekan. Maka dari itu perlu adanya sirkulasi secara kontinu oleh lumpur sehingga dapat meminimalisir panas yang disebabkan oleh gesekan itu. Kemampuan mendinginkan dan melumasi pahat dapat ditingkatkan dengan menambahkan zat-zat pelumasi (pelicin) seperti: minyak, asphalt, graphite, dan zat surfaktan khusus.

2.2.3 Mengontrol tekanan formasi

Pada kondisi normal (gradient) tekanan fluida formasi sebesar 0,465 psi/ft kedalaman. Berat dari kolom lumpur yang terdiri dari fasa air dan partikel-partikel pada lainnya cukup memadai untuk mengimbangi tekanan formasi. Tetapi jika menjumpai daerah yang memiliki tekanan abnormal (lebih dari 0,465 psi/ft) maka dibutuhkan materi jenis tinggi sekitar 4,2 SG untuk menaikan hidrostatik dari kolom lumpur agar dapat mengimbangi tekanan formasi (Course, 1995).

2.2.4 Mencegah runtuhnya dinding lubang bor

Di dalam lumpur pemboran selain mud filtrat itu sendiri atau fasa cair lumpur terdapat beberapa partikel-partikel lainnya seperti, weighting agent, Filtration control dan, polymer. Partikel-partikel ini yang nantinya akan membuat mud cake atau lapisan zat tipis di atas permukaan dinding formasi yang zonanya permeable (air dapat masuk). Pembentukan mud cake ini akan menyebabkan tertahannya aliran fluida masuk ke formasi untuk selanjutnya. Pembentukan mud cake ini juga sebagai lapisan pelapis sehingga memperkuat dari dinding formasi yang unconsolidated atau mudah runtuh. Tetapi lumpur bor yang membentuk mud cake dengan kualitas kurang baik dan terlalu tebal akan menyebabkan masalah seperti stuck pipe atau terjepitnya rangkaian pemboran oleh mud cake (Richardson, 1986).

2.2.5 Menahan serpih bor pada saat sirkulasi dihentikan

Saat operasi pemboran sering terjadi stop circulation yang disebabkan banyak hal mulai dari menambah drill pipe, mengganti lumpur, penutupan *Blow Out Preventer* (BOP), dan masih banyak lagi. Ketika tidak terjadi sirkulasi maka kondisi akan menjadi statis dimana jika tidak ada gaya Gel Strength maka cutting yang tadinya sudah terbawa sampai mau ke permukaan dapat jatuh kembali ke dasar lubang bor. Nilai Gel Strength ini lah yang mempunyai kaitan dengan daya agar dimana kemampuan fluida lumpur untuk menahan cutting pada saat tidak ada sirkulasi. Daya agar adalah suatu sifat fluida thixotropic yang mempunyai fungsi sebagai pengental atau meng-agar jika didiamkan dan kembali mencair jika diaduk. Nilai daya agar ini harus diperhitungkan kembali sehingga pada saat ingin memulai sirkulasi kembali tidak membutuhkan tenaga torsi yang berlebihan (Rabia, 2002).

2.2.6 Menunjang berat dari rangkaian pipa bor

Dengan bertambahnya kedalaman maka berat rangkaian yang harus ditahan oleh alat permukaan menjadi semakin besar, karena semua rangkaian mengalami daya pengapungan (*buoyed*) di dalam lumpur. Gaya apung yang sama dengan berat lumpur yang dipindahkan, sesuai dengan prinsip Archimedes maka akan menjadi jelas sekali gaya apung ini akan banyak mengurangi beban yang ditahan oleh alat-alat di permukaan. Hal ini karena lumpur pemboran akan menyangga berat rangkaian seberat volume fluida yang dipindahkan. Buoyancy effect ini akan bertambah besar dengan bertambah besarnya berat jenis lumpur. Di dalam mendesain rangkaian bor, faktor apung dari lumpur selalu diperhitungkan untuk mengetahui letak dari titik netral dari rangkaian pipa di dalam operasi pengeboran (Rabia, 2002).

2.2.7 Menghantarkan daya hidrolika lumpur ke pahat

Mata bor yang dipakai harus dibersihkan dan dipakai sesuai dengan masa pemakaian nya, lamanya pemakaian bit tergantung dengan spesifikasi mata bor itu sendiri. Pemakaian yang sesuai ini berpengaruh pada efisiensi penggerusan mata bor pada lapisan formasi. Salah satu fungsi lumpur bor adalah sebagai media penghantar daya hidrolika dari permukaan ke dasar lubang. Daya hidrolika lumpur harus ditentukan di dalam membuat program pengeboran sehingga laju sirkulasi lumpur dan tekanan permukaan dapat dihitung sehingga daya hidrolika yang ditimbulkan optimal. Nilai ini berkaitan erat dengan *Bit Hydraulic Horse Power*, viskositas, serta densitas dari lumpur itu sendiri (Rabia, 2002).

2.2.8 Memastikan pembersihan dasar lubang bor dilakukan secara optimal

Pada proses sirkulasi, lumpur membawa cutting dari dasar lubang sumur menuju ke permukaan. Hal ini bertujuan agar sumur selalu dalam keadaan bersih. Cutting seringkali terjatuh kembali karena adanya pengaruh gravitasi, tetapi dapat diatasi oleh adanya sirkulasi dan kekentalan lumpur. Pada pengangkatan cutting ke permukaan tergantung pengangkatan fluida di annulus dan kapasitas untuk menahan fluida yang merupakan fungsi dari: densitas, aliran (laminar atau turbulen), dan juga viskositas. Umumnya kecepatan 100 - 120 fpm telah cukup. Untuk mencegah terjadinya sirkulasi berulang dari serbuk bor, dapat dihindari dengan cara membuang cutting dari lumpur pada saat di permukaan. Adapun beberapa alat penunjang yaitu: shale shaker, desander, desilter, centrifuge. Bak pengendapan (settling pit) juga dapat memisahkan serbuk bor dari lumpur, terutama jika kekentalan dan gel strength dari lumpur itu rendah (Rabia, 2002).

Adapun faktor selain faktor serbuk bor, yaitu dari segi laju alir dimana laju alir laminar atau turbulen dapat mempengaruhi efisiensi pengangkatan cutting.

2.2.9 Membatasi korosi terhadap pipa bor dan selubung

Korosi merupakan proses elektrokimia, yang menyebabkan kerusakan atau degradasi logam. Proses elektrokimia adalah proses terjadinya reduksi oksidasi secara spontan. Sifat korosi dalam lumpur pemboran, biasanya disebabkan karena adanya pencemaran CO₂, H₂S, O₂ dan bakteri – bakteri (dalam keadaan diam) terhadap lumpur. Gas yang terlarut di dalam lumpur misalkan CO₂ dan H₂S akan besar sekali menaikkan laju korosi. Untuk mengurangi terlarutnya gas-gas tersebut pH dari lumpur dijaga antara 9,5 – 11, pH lumpur harus di jaga selalu pada keadaan basa karena jika keadaan asam akan dapat mempercepat proses korosi itu sendiri dan membuat serpihan bor menjadi hancur tidak berbentuk sehingga nantinya akan sulit untuk dilakukan analisa hasil core logging.

Adapun juga bantuan jenis additif-additif yang ditambahkan ke dalam lumpur untuk menghambat laju korosi, misalnya zat pengikat oksigen (*oxygen scavenger*) atau zat penghambat kerak (*scale inhibitor*), pembentuk lapisan tipis (*film forming agents*)(Gould, 1959).

2.2.10 Media evaluasi formasi

Dalam operasi minyak dan gas bumi dilakukan juga pembacaan nilai formasi atau biasa dikenal dengan logging. Pada operasi pemboran nilai dari sifat fisik lumpur biasanya akan terganti-ganti karena dipengaruhi faktor batuan formasi maupun ketahanan dari lumpur itu sendiri. Pada operasi logging berlangsung lumpur pemboran mempunyai peran paling penting yaitu sebagai media perekaman atau penembakan dari alat logging tersebut.

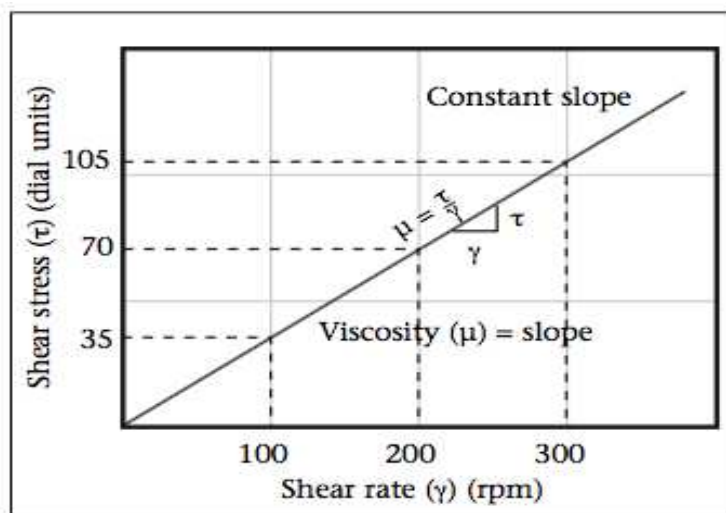
2.3 Jenis-jenis Fluida Pemboran

Sifat fisik lumpur pemboran terbagi menjadi sifat aliran dan jenis fluida pemboran. Sifat aliran sendiri terdiri dua aliran yaitu, aliran laminar dan turbulen sedangkan jenis fluida pemboran mencakup atas fluida Newtonian dan non-Newtonian.

2.3.1 Fluida Newtonian

Jenis fluida Newtonian memiliki nilai viskositas konstan dengan tekanan dan temperatur yang konstan. Dalam hal ini, fluida newtonian memiliki hubungan yang linear atau perbandingan antara shear stress dan shear rate adalah konstan. Grafik antara shear stress dan shear rate pada fluida newtonian ditunjukkan pada gambar 2.1. Contoh dari fluida newtonian ini sendiri terdapat pada fresh water, brine, glycerine, dan diesel.

Sifat fluida newtonian ini bersifat konstan, dimana tidak adanya perubahan gaya yang bekerja pada fluida sehingga fluidanya akan terus mengalir meskipun tidak ada gaya yang bekerja. Sebagai contoh untuk shear stress yang dilipatgandakan maka shear rate juga akan berlipat ganda, atau saat shear rate dilipatgandakan maka tekanan yang diperlukan untuk memompa fluida pemboran juga akan berlipat ganda (Course, 1995).



Gambar 2. 1 Hubungan shear stress dengan shear rate pada fluida newtonian

Persamaan yang digunakan untuk menghubungkan besar shear stress pada tiap shear rate tertentu adalah sebagai berikut,

$$\tau = \mu \times \gamma \quad (\text{II.1})$$

dimana,

τ : shear stress, $lb/100ft^2$

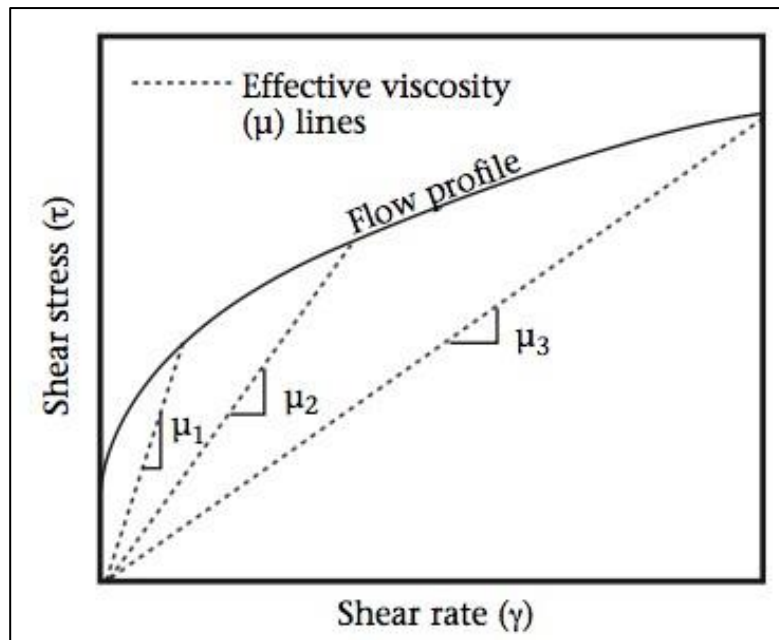
μ : viskositas fluida, cp

γ : shear rate, sec^{-1}

2.3.2 Fluida Non-Newtonian

Fluida non-Newtonian adalah kebalikan dari fluida Newtonian dimana fluida yang mempunyai viskositas tidak konstan dan tidak bersifat adanya perbandingan tetap antara shear stress dan shear rate. Grafik antara shear stress dan shear rate pada fluida non-newtonian ditunjukkan pada gambar 2.2. Fluida pemboran pada umumnya bersifat non-newtonian. Partikel koloid (clay) yang terdapat pada fluida pemboran cenderung meningkatkan *shear stress* atau gaya yang diperlukan untuk mempertahankan laju aliran tertentu. Hal ini disebabkan karena adanya tarikan listrik antara partikel dan secara fisik menabrak dan berorientasi secara acak sehingga menampilkan interferensi partikel

yang tinggi satu sama lain. Pada saat *shear rate* meningkat, partikel akan cenderung mengembangkan orientasi yang teratur dan interaksi ini akan berkurang. Contoh cairan non-newtonian mencakup; fluida pengeboran pada umumnya dan slurry semen (Course, 1995).



Gambar 2. 2 Hubungan shear stress dengan shear rate pada fluida non-newtonian.

Perlu diperhatikan bahwa kelakuan fluida pemboran di *downhole* tidak dapat dipastikan dan sifat-sifat fluida yang diukur di permukaan diasumsikan mempunyai nilai yang berbeda pada kondisi bottom hole. Beberapa model perhitungan kehilangan tekanan yang sudah ada menghasilkan nilai yang berbeda-beda pada kondisi yang sama. Dua model yang biasa digunakan adalah *Bingham Plastic* dan *Power Law*:

a. Bingham plastic

Salah satu model rheology lama yang saat ini digunakan adalah Bingham plastic. Lumpur pemboran termasuk Bingham plastic apabila mempunyai padatan yang cukup rendah. Persamaan shear stress fluida untuk Bingham plastic dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut

$$\tau = YP + (PV) \times \gamma \quad (II.2)$$

dimana,

τ : shear stress, $lb/100ft^2$

YP : yield point, $lb/100ft^2$

PV : plastic viscosity, cp

γ : shear rate, sec^{-1}

b. Power Law

Power law merupakan model penyempurnaan dari Bingham plastic dengan shear rate yang rendah. Lumpur pemboran termasuk power law apabila mempunyai kepadatan yang tinggi. Hubungan secara matematis antara shear stress dan shear rate pada model power law dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\tau = K \times \gamma^n \quad (\text{II.3})$$

dimana:

τ : *shear stress, lb/100ft²*

n : *flow behavior index*

k : *consistency factor, cp*

γ : *shear rate, sec⁻¹*

2.4 Pengaruh Sifat Fisik Lumpur Pemboran Terhadap Hidrolika

Pada operasi pemboran berlangsung beberapa sifat lumpur pemboran akan mempengaruhi aspek hidrolika salah satunya mempengaruhi kelancaran sirkulasi lumpur pemboran. Karena dengan sifat-sifat lumpur yang stabil dan cocok untuk formasi, maka operasi pemboran akan dapat berjalan lancar. Kedua hal ini dapat diperoleh apabila sifat dari lumpur pemboran selalu dilakukan monitoring dan maintenance secara berkala. Lumpur yang optimal merupakan salah satu kunci agar pemboran dapat sesuai dengan drilling schedule yang sudah ditetapkan. Sifat-sifat lumpur yang berkaitan dengan hidrolika antara lain: densitas (berat jenis), viskositas, *plastic viscosity* (PV), *yield point*, dan *gel strength*, *water loss* (laju tapisan), dan pH lumpur pemboran (Course, 1995).

2.4.1 Mud Weight

Berat jenis lumpur atau densitas lumpur merupakan salah satu sifat fisik lumpur yang paling penting karena perannya sebagai pengontrol tekanan formasi untuk mencegahnya terjadi semburan liar. Berat jenis ini perlu dijaga karena dengan nilai densitas yang terlalu besar akan menyebabkan lumpur hilang ke formasi (*lost circulation*), sedangkan densitas yang terlalu kecil akan menyebabkan terjadinya semburan liar (*kick*). Untuk menjaga keamanan pada saat pengoperasian berlangsung maka berat jenis yang di pakai harus sesuai dengan keadaan formasi yang akan di bor. Perhitungan untuk menghitung berat jenis adalah sebagai berikut :

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{air}} \quad (\text{II.4})$$

$$MW = SG \times 8,33 \quad (\text{II.5})$$

Dimana:

SG	= Spesific Gravity
ρ	= Densitas Lumpur, gr/cc
ρ_{air}	= Densitas air, gr/cc
Mw	= Mud Weight, ppg

Di lapangan pengukuran *density mud* dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut *mud balance*. Tekanan hidrostatik lumpur di dasar lubang akan mempengaruhi kemampuan dari pada formasi di bawahnya yang akan di bor.

Untuk penambahan berat lumpur bisa menggunakan material pemberat seperti barite, galena, dan lain-lain. Namun penambahan material ini harus disesuaikan dengan tekanan formasi sehingga tidak terjadi rekahan formasi pada saat operasi pemboran. Maka dari itu jika nilai densitas terlalu besar dapat ditambahkan air maupun cairan kimia seperti thinner.

2.4.2 Viskositas

Viskositas atau disebut dengan kekentalan lumpur merupakan besaran yang menunjukkan tahanan atau hambatan dari suatu fluida yang mengalir. Nilai viskositas ini mempengaruhi dari pergerakan fluida itu sendiri, dimana semakin rendah nilai viskositas maka semakin cepat juga pergerakan dari fluida tersebut. Peranan viskositas berkaitan erat dengan proses serbuk bor, dimana

nilai viskositas disini harus diperhitungkan karena jika nilainya terlalu rendah maka cutting tidak terangkat. Sedangkan jika nilai viskositas berlebih akan membuat laju penetrasi menjadi berkurang. Pengukuran viskositas salah satunya dapat menggunakan alat Marsh Funnel. Viskositas merupakan jumlah detik yang dibutuhkan lumpur sebanyak 0,946liter (1 Quart) untuk mengalir keluar dari corong Marsh Funnel. Pada lumpur yang berbasis air biasanya untuk menambahkan nilai viskositas dapat dimasukan bentonite dan untuk menurunkan nilai viskositas dimasukan lignosulfonate. Tingginya nilai viskositas ini akan menyebabkan beberapa masalah seperti: (Transport of Drilled Cuttings, 2012):

Penetration rate menurun karena viskositas yang tinggi memiliki kohesi partikel yang kuat sehingga menghalangi efektifitas penembusan oleh drill bit. Sulitnya lumpur melepaskan gas terlarut, cutting dan pasir dalam sirkulasi di permukaan. Beban pompa bertambah dengan bertambahnya luas kontak dengan partikel sehingga efek friksi dan resistansi lumpur menjadi sangat besar.

2.4.3 Rheology Lumpur Pemboran

Rheologi adalah studi tentang aliran dan deformasi bahan. Deformasi dan aliran masing-masing disebut sebagai regangan atau laju regangan, dan menunjukkan jarak di mana suatu benda bergerak di bawah pengaruh gaya eksternal (kekuatan tarik-menarik dan torsi) atau stress (tekanan). Maka rheology dapat diartikan sebagai studi yang mempelajari hubungan dan regangan dalam komposisi lumpur bor (Allawi et al., 2019).

Pengukuran rheology ini dapat dilakukan dengan rheometer, prinsip kerja alat ini adalah dengan melakukan torsi (putaran) sehingga menimbulkan gaya tarik-menarik di lingkungan sekitarnya. Dari alat ini dapat memperoleh beberapa parameter diantaranya:

2.4.3.1 Plastic Viscosity

Pengertian Plastic Viscosity merupakan tahanan terhadap aliran yang disebabkan oleh gesekan antara sesama benda padat di dalam lubang bor, padatan cairan dan gesekan antara lapisan cairan dan merupakan hasil torsi dari pembacaan alat Fann VG Meter dengan satuan centipoise (cp). Cara untuk mendapatkan nilai dari plastic viscosity dengan cara dial reading 600 rpm dikurangi dial reading 300 rpm. Atau dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$PV = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (II.6)$$

Dimana:

- PV = Plastic Viscosity,
- θ_{600} = Dial Reading pada saat 600 putaran.
- θ_{300} = Dial Reading pada saat 300 putaran.

Naiknya nilai plastic viscosity menunjukkan kenaikan gesekan padatan yang disebabkan oleh naiknya konsentrasi padatan didalam lumpur yang disebabkan solid control equipment tidak berfungsi dengan baik (Amin, 2013).

2.4.3.2 Yield Point

Yield Point adalah bagian dari resistensi untuk mengalir oleh gaya tarik menarik antar partikel. Gaya tarik-menarik ini disebabkan oleh muatan-muatan pada permukaan partikel yang di dispersi dalam fasa fluida. Dengan satuan lbs/100ft² penentuan harga yield point tersebut dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$YP = \theta_{300} - PV \quad (II.7)$$

Dimana:

YP = Yield Point.

PV = Plastic Viscosity.

θ_{300} = Dial Reading pada saat 300 putaran.

Apabila harga yield point terlalu besar, maka akan mengakibatkan daya pompa pada saat awal pemompaan dan pressure loss menjadi besar. Yield point ini berhubungan dengan viskositas lumpur pemboran. Harga yield point yang besar dapat diturunkan dengan menurunkan gaya elektrokimia antara partikel dengan penambahan zat-zat penetral muatan partikel aktif (Course, 1995).

2.4.3.3 Apparent Viscosity

Apparent Viscosity merupakan keadaan dimana fluida Non-Newtonian pada shear rate tertentu seolah-olah memiliki viskositas seperti pada fluida Newtonian, dimana apparent viscosity merupakan hasil dari kecepatan pada dial reading 600 rpm di bagi dua, dengan satuan centipoise (cp). Atau dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$AV = \theta_{600} : 2 \quad (II.8)$$

Dimana:

AV = Average Velocity.

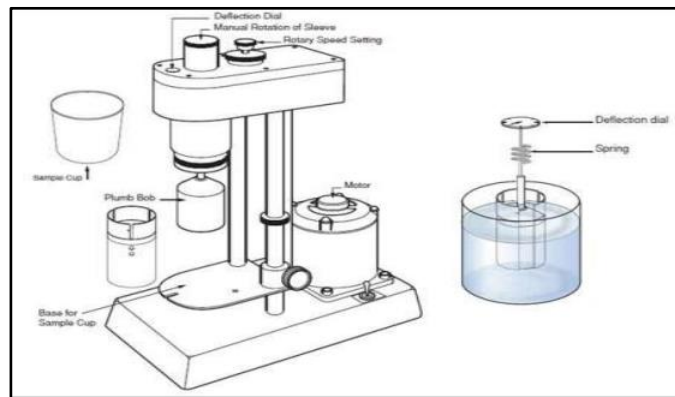
θ_{600} = Dial Reading pada saat 600 putaran.

2.4.4 Gel Strength (Daya Agar)

Pada saat sirkulasi lumpur dihentikan (statis), maka gaya gravitasi secara langsung akan membuat cutting yang sudah terbawa kembali jatuh ke dasar lubang pemboran. Agar menghindari terjadinya permasalahan pada operasi pemboran maka diberikan lah nilai daya agar ini dimana pada saat kondisi diam (tidak ada aliran yang terjadi) maka lumpur agakan menjadi gel. Hal ini disebabkan oleh adanya gaya tarik-menarik antara partikel-partikel padatan lumpur, gaya menjadi agar inilah yang disebut gel strength. Lumpur pemboran harus memiliki gel strength yang baik agar dapat menahan cutting dan material pemberat lumpur pada saat sirkulasi lumpur dihentikan.

Jika lumpur pemboran tidak memiliki kandungan gel strength yang baik, akan mengakibatkan terjadinya penumpukan serbuk pemboran. Akan tetapi jika kandungan gel strength terlalu tinggi akan mengakibatkan kerja pompa terlalu berat untuk memulai sirkulasi kembali. Sehingga daya torsi pada pompa yang dibutuhkan harus semakin besar. Walaupun pompa memiliki daya yang kuat, pompa tidak boleh memompakan lumpur dengan daya yang besar juga karena akan merusak formasi. Harga gel strength dalam 100 lb/ft² diperoleh secara langsung dari pengukuran dengan alat, Fann Vg Meter. Simpangan skala penunjuk akibat digerakannya rotor pada kecepatan 3 rpm, langsung menunjukkan harga gel strength 10 detik atau 10 menit dalam 100 lb/ft² (Zakhrifady, 2018).

Pada gambar 2.3 menunjukkan alat ukur fann vg meter yang digunakan untuk menghitung nilai gel strength.



Gambar 2. 3 Alat ukur Fann Vg Meter (Wastu et al., 2019)

Komponen-komponen pembentuk lumpur yang dapat menyebabkan gel strength antara lain: clay, shale dan, bentonite yang sudah memiliki gaya tarik menarik partikel antar platnya. Adapun fungsi gel strength dalam lumpur pemboran adalah untuk menahan cutting dan material solid dalam suspensi serta melepaskannya di permukaannya, sehingga gel strength merupakan faktor penting dalam mekanisme pengangkatan cutting. Masalah-masalah yang sering dihadapi, antara lain adalah:

Kecenderungan lumpur pemboran untuk loss circulation. Terganggunya pompa untuk memulai sirkulasi dikarenakan akan membutuhkan tenaga yang besar.

Filtration Loss, merupakan fasa cair lumpur yang masuk ke formasi permeable yang diukur dengan peralatan standard filter press yang menggunakan hasil pada kondisi statik (sirkulasi dihentikan).

Nilai gel strength perlu disesuaikan dengan nilai tekanan dan temperatur dari keadaan formasi. Nilai ini juga harus disesuaikan dengan besar cutting dari bit, karena jika nilai daya agar tidak dapat menahan cutting tersebut maka akan membuat stuck pipe. Gel strength atau daya agar akan di buat sedemikian rupa agar pada saat keadaan statis lumpur mengental menahan cutting agar tidak jatuh ke dasar lubang bor, tetapi pada saat ada putaran drill pipe lumpur menjadi cair kembali.

2.4.5 Fluid Loss (Laju Tapisan)

Pada lumpur pemboran terdiri menjadi dua bagian yaitu menjadi filtration (lumpur yang berfasa cairan) dan juga padatan-padatan yang terdapat pada lumpur. Pada dinding lubang bor khususnya pada saat keadaan open hole terdapat pori-pori batuan yang dapat menyebabkan lumpur bisa masuk ke dalam pori-pori batuan, yang nantinya akan membuat lapisan yang disebut sebagai mud cake. Pengertian dari fluid loss itu sendiri adalah jumlah cairan yang masuk ke dalam batuan yang dipengaruhi faktor tekanan, temperatur, dan lumpur itu sendiri.

Tujuan utama dari laju tapisan ini sendiri adalah untuk membuat mud cake yang tipis dan kuat, sehingga dinding bor permukaan nya menjadi halus sehingga memudahkan proses penyemenan berlangsung. Namun banyak nya fluid loss ini ke dalam formasi akan membuat formation damage juga. Formation damage yang dimaksud antara lain: caving, formasi menjadi lunak dan gampang runtuh, *water blocking*. Hal-hal ini tentunya akan membuat nilai produktivitas menurun dan drilling cost menjadi naik. Untuk itu perlu mengatur dan membatasi laju tapisan yang masuk ke formasi pemboran (Zakhrifady, 2018).

2.4.6 pH (Derajat Keasaman)

Pada lumpur bor biasanya pH yang dipakai adalah bersifat basa dimana nilainya berkisar antara 9-12. Nilai lumpur ini harus dijaga sedemikian rupa sehingga nilainya tetap basa, jika lumpur yang digunakan dalam suasana asam maka serbuk bor yang keluar dari lubang bor akan halus dan hancur, sehingga tidak dapat ditentukan batuan apa yang ditembus oleh mata bor. Selain itu peralatan yang dilalui oleh lumpur saat sedang sirkulasi maupun tidak, akan mudah berkarat sehingga membuat drilling tools menjadi semakin berjangka pendek. Jika lumpur bor memiliki pH diatas 12 juga tidak baik, karena dapat menaikkan kekentalan dan gel strength dari lumpur (Zakhrifady, 2018).

2.5 Lumpur Berbasis Air

Komposisi lumpur pemboran ini terdiri dari air tawar atau air asin, clay, dan chemical additives. Komposisi ini ditentukan oleh kondisi lubang bor dan biasanya water based mud digunakan pada pemboran low pressure low temperature. Water based mud merupakan tipe lumpur yang paling umum digunakan karena nilai keekonomiannya, selain mudah pembuatannya, mudah penggunaannya, mudah pembentukan mud cake, dan sifatnya yang eco friendly dibandingkan lumpur Oil based mud. Lumpur berbasis dasar air ini memiliki dua komponen penyusun (Transport of Drilled Cuttings, 2012) :

Fasa cair atau merupakan fase kontinyu, dimana fasa cair ini adalah air tawar yang mengandung garam kurang dari 1% berat garam. Fasa padatan inert, terdiri dari setiap padatan yang tidak bereaksi secara kimia maupun fisika dalam lumpur pemboran, seperti barite dan pasir. Fasa inert ini lah yang nantinya sebagai pembentuk mud cake. Fasa reactive solid, merupakan fase lumpur / padatan yang akan bereaksi dengan air dan membentuk koloid, contohnya bentonite

Fasa kimia merupakan fasa pada lumpur yang dapat mengontrol sifat-sifat fisik pada lumpur pemboran Contoh untuk menurunkan viskositas pada lumpur dapat menggunakan lignosulfonate, lignite, sedangkan untuk menaikkan viskositas pada lumpur dapat menggunakan CMC, Starch, Drispac, XCD Polymer dll.

Lumpur berbasis air ini sering ditemukan pada pengeboran on-shore atau yang terdapat di atas permukaan tanah. Sedangkan lumpur berbasis minyak biasa dijumpai pada pengeboran offshore atau di atas permukaan air (Satiyawira, 2019). Hal ini dikarenakan karakteristik lumpur berbasis minyak yang sifatnya stabil terhadap temperatur dan juga tekanan tinggi, maka dari itu cocok untuk digunakan pada pemboran di laut lepas.

2.5.1 Drispac

Drispac berstruktur sama dengan CMC, tetapi mempunyai derajat substitusi (D.S) yang lebih tinggi, karena drispac mempunyai ketahanan yang lebih tinggi terhadap kesadahan. Dibandingkan dengan CMC, Drispac juga mempunyai derajat polimerisasi yang lebih tinggi, sehingga efek pengentalannya lebih besar dari pada CMC. Drispac mempunyai kemampuan pengental yang tinggi didalam air asin dan drispac dikenal dengan kemampuannya mencegah pengembangan shale dengan melapisi dinding lubang ampas yang impermeable disamping itu drispac meningkatkan viskositas filtrat, sehingga mobilitasnya didalam zone formasi turun.

Pemakaian drispac sedikit sekali (0,5 – 2,0 ppb) sehingga banyak sekali menurunkan kadar padatan lumpur (mengurangi pemakaian bentonite), kemampuan drispac untuk membungkus partikel serpih serbuk bor (shale encapsulation) menyebabkan dapat dicegah disintegrasi serbuk bor dan diperolehnya daya pembersihan lubang yang tinggi.

2.5.2 Starch

Cadangan karbohidrat di dalam tumbuhan, umumnya terdiri dari struktur amylose dan amilopektin (terdiri dari rantai panjang glucose). Starch yang dipakai industri pemboran, diperoleh dari jagung, kentang biasanya dipeptisasi atau di pre-gelatinasikan (dimatangkan) sampai temperature 140

– 180 F. Starch bersifat tidak meng-ion, larut didalam cairan elektrolit tinggi. Pemakaian utama starch adalah untuk pengontrol tapisan didalam air asin (sea water, saturated salt system) juga berfungsi sebagai pengental dalam air asin.

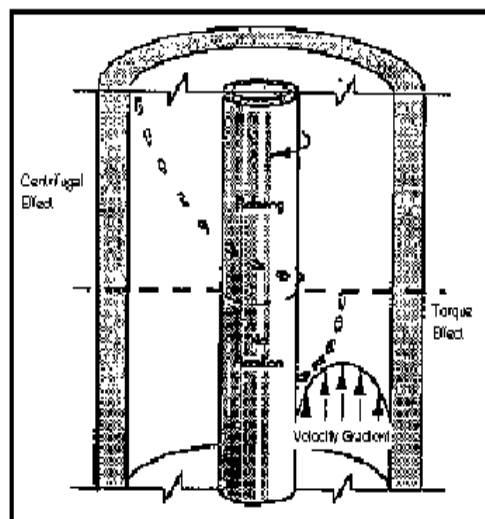
Kelemahan dari starch adalah tidak tahan panas (maksimum 250 °F) dan mudah rusak oleh bakteri, (kecuali jika pH lumpur mempunyai 12). Keuntungan starch antara lain harganya murah dan tidak menimbulkan efek samping pengencer (thinning) seperti pada CMC.

2.7 Pengertian Pengangkatan Serbuk Bor

Pada operasi pemboran berlangsung, mata bor yang dipakai akan menggerus batuan formasi dan menghasilkan cutting, seiring berjalannya operasi pemboran penambahan cutting maka akan semakin bertambah juga. Agar serbuk bor tidak menumpuk di bawah lubang dan tidak menimbulkan permasalahan pada laju pemboran maka cutting tersebut perlu diangkat ke permukaan dengan baik. Dimana pengangkatan cutting dipengaruhi juga pada aliran dari lumpur itu sendiri dan juga nilai SG sehingga cutting yang sudah terangkat tidak akan terjadi slip atau peristiwa jatuhnya serbuk bor ke dasar lubang bor. Jadi lumpur yang masuk ke dalam sumur yang dialiri dari pipa bor, akan keluar melalui nozzle dan naik ke atas melalui Annulus. Berikut merupakan gambar proses pengangkatan cutting di annulus dapat dilihat pada gambar II.3. Cutting dapat terangkat karena adanya bantuan lumpur pemboran yang mengalir secara laminar, dimana arah aliran lumpur beraturan dengan naik semua sehingga cutting dapat sampai ke atas permukaan (Walangitan et al., 2020).

Pada gambar di bawah menjelaskan mekanisme pengangkatan serbuk bor di lubang annulus, dimana terdapat media pengangkatan yang biasa di sebut lumpur bor. Cutting yang tidak dapat terangkat dengan baik akan mengendap kembali ke dasar sumur dan mengakibatkan beberapa masalah dalam pemboran, diantaranya (Transport of Drilled Cuttings, 2012):

1. Penggerusan serbuk bor berulang kali oleh pahat (regrinding).
2. Tersangkutnya serbuk bor pada sela-sela gigi pahat (bit balling).
3. Menyebabkan pipa terjepit (stuck pipe) yang memicu terjadinya semburan liar dan juga hidrolika pahat yang tidak optimum menjadi salah satu penyebab turunya laju penembusan (ROP).

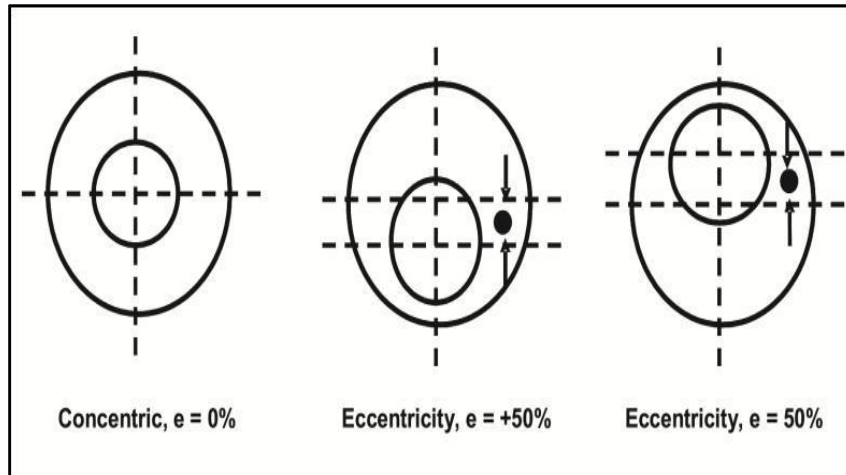


Gambar 2. 4 Proses Pengangkatan Cutting di Annulus (Zakhrifady, 2018)

Beberapa faktor yang mempengaruhi pengangkatan cutting ke permukaan diantaranya: (Pilehvari et al., 1999):

Kecepatan fluida di annulus sebagai fungsi dari luas area annulus dan rate pemompaan yang diberikan. Kapasitas untuk menahan fluida yang merupakan fungsi dari rheologi lumpur pemboran seperti; densitas lumpur, jenis aliran (laminar atau turbulen), viskositas, dst.

Laju penembusan yang dilakukan drill bit (rate of penetration). Kecepatan pemutaran pipa pemboran (RPM). Eksentrisitas drill pipe yang merupakan posisi relatif pipa pemboran terhadap lubang pemboran, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2. 5 Eksentrisitas pipa pemboran

Pada gambar diatas menunjukan eksentrisitas dari drill pipe, yaitu posisi relatif pipa pemboran terhadap lubang pemboran. Dimana posisi eksentrisitas ini akan mempengaruhi pengangkatan serbuk bor ke permukaan. Jika ukuran rata-rata partikel cutting besar dan nilai dari eksentrisitas relatif besar dapat membuat terjadinya stuck pipe pada operasi pemboran (Transport of Drilled Cuttings, 2012). Untuk proses mekanisme pengangkatan cutting dibagi menjadi beberapa bagian yang saling berhubungan, diantaranya adalah:

1. Vslip (kecepatan slip) yaitu kecepatan kritis dimana cutting mulai akan terangkat ke permukaan.

$$V_{slip} = V_{min} - V_{cut} \quad (II.9)$$

Terdapat dua rumus untuk penentuan kecepatan slip berdasarkan Nre partikel antara lain: (Moore, 1986; Prassl, 2014)

$$V_{slip} (Nre < 3) = 82,87 \times \frac{D_{cut}^2}{\mu_{annular}} \times (\rho - MW) \quad (II.10)$$

$$V_{slip} (Nre > 300) = 1,54 \times \sqrt{D_{cut} \times \frac{\rho - MW}{MW}} \quad (II.11)$$

Keterangan variable:

Dcut : Diameter Cutting, inch.
 $\mu_{annular}$: Annular Viscosity, cp.
 ρ : Cutting Density, ppg
 MW : Mud Weight, ppg.

Jika terdapat sudut inklinasi pada pemboran tersebut lebih besar 45 derajat atau lebih kecil 45 derajat terdapat pengkoreksian pada nilai Vslip tersebut : rumus tersebut berdasarkan Rudi Rubiandini dan Shindu.

Apabila nilai sudut inklinasi lebih besar dari 45 derajat maka Vslip koreksi:

$$V_{slip\ Koreksi} = x \left(\frac{3+MW}{15} \right) x \left(1 - \frac{RPM}{600} \right) x V_{slip} \quad (II.12)$$

Apabila nilai sudut inklinasi lebih kecil dari 45 derajat

$$V_{slip\ Koreksi} = \left(1 + \frac{2\Theta}{45} \right) x \left(\frac{3+MW}{15} \right) x \left(1 - \frac{RPM}{600} \right) x V_{slip} \quad (II.13)$$

Keterangan variable:

RPM : Rotation per Minute,

Θ : Sudut inklinasi, ($^{\circ}$)

2. Vcut (kecepatan cutting): yaitu kecepatan kritik cutting mulai terendapkan.
3. Vmin (kecepatan minimum): yaitu kecepatan slip ditambah dengan kecepatan cutting sehingga cutting dapat terangkat ke permukaan tanpa terjadi penggerusan kembali.

Untuk penentuan pada vmin dimasukan rumusnya Persamaan untuk mencari Vmin adalah sebagai berikut:

$$V_{min} = \frac{ROP}{36 x \left(1 - \left(\frac{OD}{HoleSize} \right)^2 \right) x C_{conc}} + V_{slip\ Koreksi} \quad (II.14)$$

Dimana nilai Cconc diperoleh dari persamaan

$$C_{conc} = 0,01778 x ROP + 0,505 \quad (II.15)$$

Keterangan variable:

V_{min} : Kecepatan Lumpur, ft/s

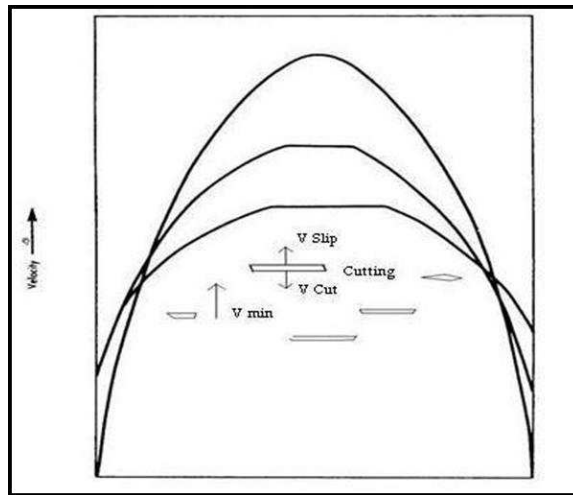
OD : Outside Diameter, inch

$V_{slip\ koreksi}$: Kecepatan Slip, ft/s

C_{conc} : Cutting Concentration, %

ROP : Rate of Penetration, ft

Pada gambar 2.6 menunjukkan proses mekanisme pengangkatan cutting yang dibagi menjadi beberapa bagian yang saling berhubungan.



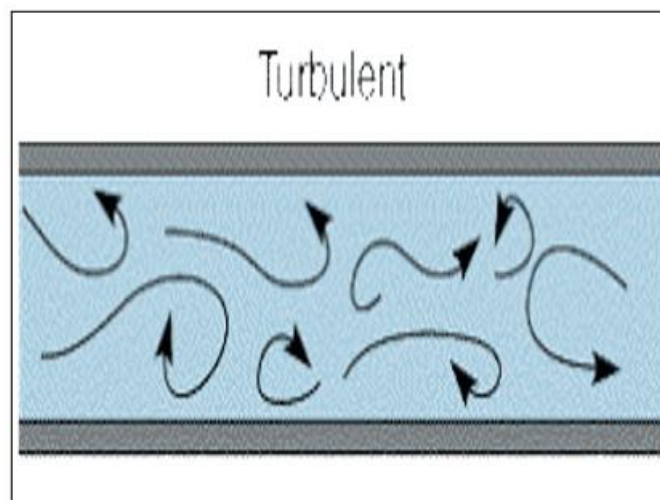
Gambar 2. 6 Pengangkatan cutting oleh lumpur pemboran.

2.8 Pola aliran Lumpur

Pada saat lumpur bor disirkulasikan secara tidak langsung terbagi menjadi dua dimana ada pola aliran laminar dan pola aliran turbulen, pola aliran ini tentunya akan mempengaruhi kinerja dari lumpur tersebut (Course, 1995).

2.8.1 Pola aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Peningkatan kecepatan tersebut membuat shear strength melebihi kemampuan dari suatu lumpur untuk tetap berada pada aliran laminar. Fluida pada aliran turbulen memiliki shear dan partikel-partikel yang bergerak secara tidak teratur sehingga terdapat aliran yang berputar. Aliran turbulen mempunyai bilangan reynold yang lebih besar dari 3000.



Gambar 2. 7 Pola Aliran Turbulent

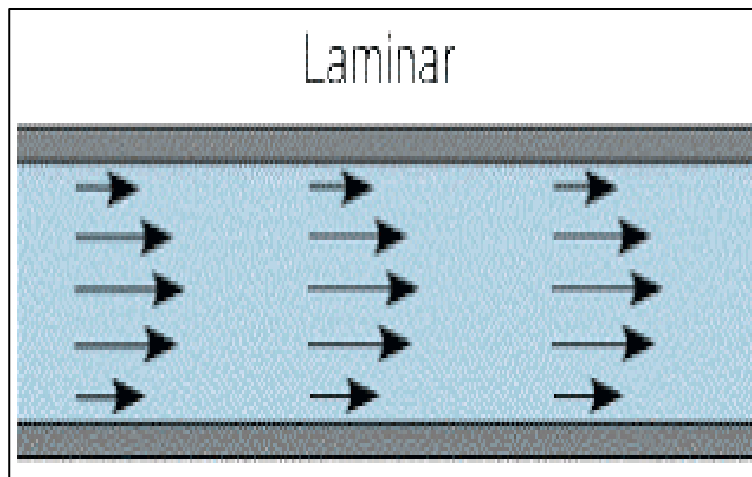
Pola aliran ini erat kaitannya dengan pengaturan debit pompa dan flowrate pada lumpur. Aliran turbulen ditunjukkan seperti gambar II.6. Aliran turbulen ini sangat dihindarkan di dalam annulus karena berpotensi untuk menggerus dinding lubang bor dan membuat runtuhnya dinding lubang bor. Pola aliran ini biasanya dijumpai pada mata pemboran sehingga jika terdapat serbuk bor yang menempel di mata bor diharapkan dapat terlepas karena pola aliran ini (Course, 1995).

2.8.2 Pola aliran Laminer

Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan membentuk garis-garis alir yang tidak berpotongan satu sama lain (sejajar). Aliran laminar terjadi ketika aliran fluida melewati dan bergeser melewati satu sama lain dari fluida paralel dengan pencampuran minimum.

Pola aliran ini biasanya dipakai di annulus lubang bor karena sifatnya alirannya yang searah membuat cutting dapat terangkat secara maksimal, dan tidak menyebabkan erosi di sekitar dinding lubang bor, serta hilang tekanan alirannya yang relatif kecil. Aliran ini mempunyai bilangan Reynold lebih kecil dari 2300 (Course, 1995).

Pola aliran ini dipengaruhi oleh beberapa faktor utama yaitu flowrate dari aliran lumpur dan juga luas area annulus. Dimana semakin besar luas area annulus maka besar kemungkinan pola aliran yang terjadi adalah laminar. Maka dari itu sering ditemukan pola aliran dari annulus drill collar sampai annulus drill pipe permukaan.



Gambar 2. 8 Pola Aliran Laminer

2.9 Bilangan Reynold

Berdasarkan dua pola aliran lumpur pemboran yaitu laminar dan turbulen, yang mana aliran laminar pergerakan partikel-partikel aliran fluida secara teratur dan gerakannya sejajar dengan aliran sepanjang sisi dinding formasi. Sedangkan pada aliran turbulen, fluida mempunyai kecepatan alir yang tidak sama dan tidak beraturan sehingga membuat arah aliran arus menyebar dan saling bertabrakan.

Untuk menentukan pola aliran maka digunakan Bilangan Reynold (N_{re}) dari percobaan fluida Osborne Reynold, diketahui $N_{re} > 3000$ adalah pola aliran turbulen dan $N_{re} < 2300$ adalah pola aliran transisi (Walangitan et al., 2020).

Untuk menentukan aliran tersebut turbulen atau laminar digunakan Reynold Number :

$$N_{re \text{ partikel}} = 927,6 \times \frac{MW \times V_{slip} \times D_{cut}}{\mu_{Annular}} \quad (II.16)$$

Keterangan

$Nre_{partikel}$	: Bilangan Reynold
MW	: Densitas Lumpur (<i>Mud Weight</i>), <i>ppg</i>
V_{slip}	: Kecepatan Slip, <i>ft/m</i>
D_{cut}	: Diameter <i>Cutting</i> , <i>inch</i>
$\mu_{Annular}$	: Viskositas Annular, <i>cp</i>

2.10 Kehilangan Tekanan di Annulus

Kehilangan tekanan atau *pressure loss* di annulus umumnya terjadi karena banyaknya gesekan yang terjadi antara rheology lumpur dengan pola aliran lumpur. Maka dari itu pada pemakaian lumpur *water base mud* (KCL-Polymer) dilakukan perhitungan tekanan annulus yaitu pada *drill pipe* ($P_{ann dp}$) dan *annulus drill collar* ($P_{ann dc}$). Perhitungan kehilangan tekanan di annulus dengan menggunakan model power law terdapat beberapa tahap, yaitu sebagai berikut:

1. Hitung *power law index* (n) dan *consistency index* (k) menggunakan persamaan yang sama dengan *pressure loss* di pipa

$$n = 2,32 \log \frac{\text{dial reading } 600}{\text{dial reading } 300} \quad (\text{II.17})$$

$$k = \frac{\text{dial reading } 300}{511^n} \quad (\text{II.18})$$

2. Tentukan masing-masing *average velocity* ($\bar{V}$) dan *critical velocity* (V_c) untuk mengetahui kehilangan tekanan pada aliran laminar atau aliran turbulen, dengan persamaan berikut.

- a. *Average velocity* ($\bar{V}$) tergantung pada *flow rate* pompa dan ukuran pipa, persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\bar{V} = \frac{24,5Q}{D_{h \text{ pipe}}^2 - OD_{\text{pipe}}^2} \quad (\text{II.19})$$

dimana,

$D_{h \text{ pipe}}$: diameter *hole*, in

OD_{pipe} : *outside* diameter pipa, in

- b. *Critical velocity* (V_c)

$$V_c = \left(\frac{3,878(10)^4 K}{\rho} \right)^{1/(2-n)} \left(\frac{2,4}{D_{h \text{ pipe}} - OD_{\text{pipe}}} \left(\frac{2n+1}{3n} \right) \right)^{n/(2-n)} \quad (\text{II.20})$$

3. Persamaan untuk mengetahui kehilangan tekanan di *annulus* mengikuti syarat berikut:

- a. Aliran adalah turbulen untuk $\bar{V} > V_c$

$$P_{p \text{ loss}} = \frac{8,91(10^{-5}) \rho^{0,8} Q^{1,8} (PV)^{0,2} L}{(D_h - OD_{\text{pipe}})^3 (D_h + OD_{\text{pipe}})^{1,8}} \quad (\text{II.21})$$

b. Aliran adalah laminar untuk $\bar{V} < V_c$

$$P_{p\ loss} = \left(\frac{2,4\bar{V}}{(D_h - OD_{pipe})} \frac{(2n+1)}{3n} \right)^n \frac{KL}{300 (D_h - OD_{pipe})} \quad (II.22)$$

Dimana,

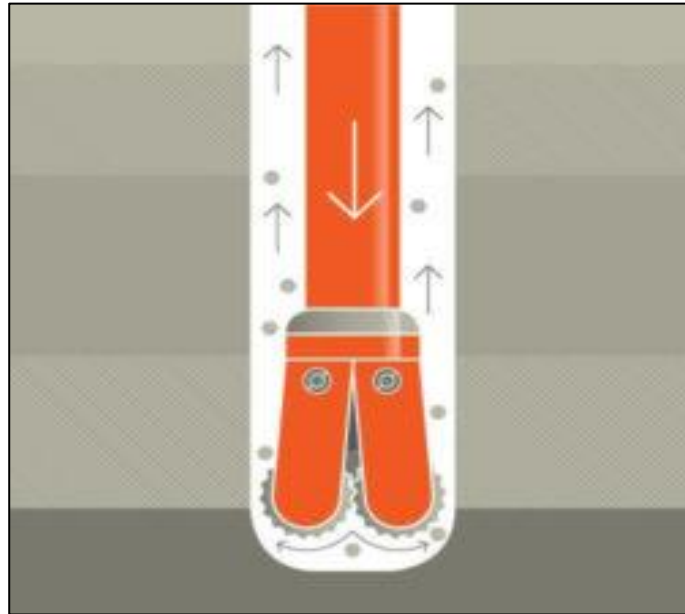
- $P_{p\ loss}$: pipe pressure loss, psi
- ρ : densitas lumpur, ppg
- Q : flow rate, gpm
- PV : plastic viscosity, cp
- L : panjang pipa, ft
- $\bar{V}$: critical velocity, ft/min
- n : power law index
- K : consistency index
- $D_{h\ pipe}$: diameter hole, in
- OD_{pipe} : outside diameter pipa, in

2.11 Equivalent Circulating Density

Nilai (*Equivalent Circulating Density*) ECD adalah kombinasi nilai density lumpur yang sesungguhnya (*real condition*) yang bekerja pada formasi pada keadaan proses sirkulasi lumpur pemboran dengan annulus *pressure drop*. Berat jenis ini biasanya akan lebih besar dari pada berat jenis yang diukur pada saat dimasukkan ke sumur pemboran, hal ini di karenakan adanya kontaminasi antara lumpur pemboran dengan cutting pada formasi tersebut. Nilai ECD (*Equivalent Circulating Density*) yang relatif lebih besar dari pada densitas awal juga menunjukkan bahwa *cutting* atau serbuk bor dapat tercampur dengan baik dengan lumpur pemboran, maka parameter ini dapat digunakan sebagai keberhasilan dalam pengangkatan *cutting*. Kontaminasi lumpur dengan cutting terjadi pada saat gesekan yang terjadi pada saat aliran lumpur keluar dari nozzle dan mata bor yang menggerus formasi.

Parameter ECD (*Equivalent Circulating Density*) ini sangat dibutuhkan agar dapat mengetahui densitas lumpur yang sebenarnya, sehingga dapat memprediksikan apakah tekanan dengan densitas yang di berikan sesuai atau tidak. Parameter ECD (*Equivalent Circulating Density*) di hitung untuk menghindari terjadinya *lost circulation* ataupun *kick*. Biasanya pada sumur yang memiliki gradient rekah yang tinggi nilai ECD (*Equivalent Circulating Density*) harus sangat di perhatikan agar tidak terjadinya *loss circulation*.

Pada gambar 2.9 merupakan gambaran keadaan Ketika terbentuknya nilai *Equivalent Circulating Density*.



Gambar 2. 9 Momen Pembentukan Nilai ECD (Wastu et al., 2019)

ECD (*Equivalent Circulating Density*) dapat dihitung dengan rumus:

$$ECD = \frac{\rho + \sum PL}{\text{Depth} \times 0.052} \quad (\text{II.23})$$

Keterangan :

$\sum PL$ = Total Pressure Loss di Annulus (psi)

ρ = Densitas (ppg)

Depth = Kedalaman (ft)

2.12 Sirkulasi Hole Cleaning

Sirkulasi *Hole Cleaning* adalah sirkulasi lumpur pemboran yang mempunyai fungsi untuk mengangkat serbuk bor ke permukaan dan melakukan pembersihan di dasar lubang bor selama proses pemboran berlangsung. Apabila sirkulasi pembersihan dasar lubang bor tidak berjalan dengan baik maka proses pengangkatan serbuk bor juga tidak dapat terangkat semuanya dengan baik dan sempurna. Kejadian ini dapat terjadi dikarenakan spesifikasi lumpur pemboran tersebut yang terlalu rendah (nilai *Yield Point* dan *Plastic Viscosity* dari lumpur rendah). Seharusnya lumpur pemboran yang dibuat dan digunakan juga harus sudah sesuai dengan kondisi formasi yang akan di bor. Apabila proses pembersihan dasar lubang bor tidak berjalan baik, maka dapat menimbulkan masalah-masalah seperti terjadinya pengendapan serbuk bor di dalam dasar lubang bor yang kemudian dapat menyebabkan terjepitnya rangkaian bor yang berada di dalam lubang bor (Su & Wang, 2019).

Maka dari itu, diperlukan melakukan analisis lebih lanjut dan rinci tentang keberhasilan kemampuan lumpur pemboran untuk dapat mengangkat secara keseluruhan serbuk bor agar tidak tersisa atau tertinggal dan mengendap di dasar lubang bor. Terdapat tiga metode untuk melakukan analisis pengangkatan serbuk bor yang akan dibahas yaitu *Cutting Carry Index*, *Cutting Transport Ratio*, dan *Cutting Concentration in Annulus*. Dari ketiga metode yang disebutkan tadi, maka dapat

meperkirakan efisiensi kinerja dari pengangkatan serbuk bor pada lumpur pemboran yang digunakan (Okon et al., 2015).

2.12.1 Cutting Concentration in Annulus (CCA)

Cutting Concentration in Annulus (CCA) merupakan salah satu metode pengangkatan *cutting*, dimana untuk menghitung nilai kadar dari padatan yang terdapat di *annulus*. Besarnya nilai konsentrasi *cutting* (serbuk bor) wajib lebih kecil dari 5% dikarenakan hal itu dapat menimbulkan masalah-masalah seperti penurunan laju penetrasi (ROP), meningkatnya drag dan torsi, dan tejepitnya pipa. Dalam melakukan penganalisaan kemampuan pengangkatan serbuk bor pada metode ini sangat tepat digunakan karena memperhitungkan parameter nilai laju penetrasi (ROP) dan nilai *Cutting Transport Ratio*. Berikut perhitungan *Cutting Concentration in Annulus (CCA)*. (Bridges & Robinson, 2020b; R. F. Mitchell & Miska, 2011; Moore, 1986; Prassl, 2014; Ramsey, 2019b)

$$AAP = \frac{\text{Hole Size}^2 - OD^2}{1029,4} \quad (II.24)$$

$$Q_{min} = V_{min} \times AAP \times 60 \times 42 \quad (II.25)$$

$$CCA = \frac{ROP \times \text{Hole Size}^2}{14,7 \times CTR \times Q_{min}} \times 100\% \quad (II.26)$$

Keterangan:

AAP = Annular Area Point

Hole Size = Ukuran lubang bor, inch

V_{min} = kecepatan minimum *Cutting*, ft/s

CTR = *Cutting Transport Ratio*, %

Q_{min} = Laju minimum pompa, gpm

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

Mulai Desain metode penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pengambungan antara penelitian eskperimental sekala laboratorium dan penelitian analitik untuk menguji hasil data lab tersebut untuk dianalisis apakah hasil pada pembuatan sample penilitian tersebut dapat diaplikasi pada suatu lapangan. Penggunan kedua metode penelitian berguna untuk mengetahui perbandingan antara dua jenis variable yang berbeda, serta dapat memiliki hubungan dan interverensi pada peneilitian didalamnya. Penelitian ini akan mengintervensi dua data vairabel yaitu berupa lumpur polymer starch dan drispac yang merupakan natural polymer. Dua natural polymer tersebut akan diberikan pengaruh temperatur (150 °F, 200 °F dan 225 °F) untuk diuji sifat fisik (Densitas, Viskositas, Plastik viskositas, Yield Point , Gel strength, Filtration loss dan pH) pada kandungan komposisi lumpur tersebut. Setelah itu akan di uji karateristik lumpur tersebut terdapat pengangkatan cutting dengan menggunakan metode Cutting Concentration In Annulus (CCA)

3.3. Metode Analisis

Metode analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah mengguakan metode kualitatif. Analisis yang akan dilakukan pada penelitian ini ada menguji komposisi pada lumpur natural polymer untuk di uji sifat fisik terhadap temperatur tertentu sehingga dapat diketahui komposisi yang baik dalam, proses pengangkatan cutting. Setelah mendapatkan sifat fisik, sampel tersebut akan dilakukan pengujian proses pengangkatan cuttingan dengan menggunakan data lapangan. Pengujian cutting yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode pengangkatan cutting CCA (Cutting Concentration In Annulus). Pada penelitian ini akan dilihat persentasi pengangkatan cutting pada bagian annulus hingga kepermukaan

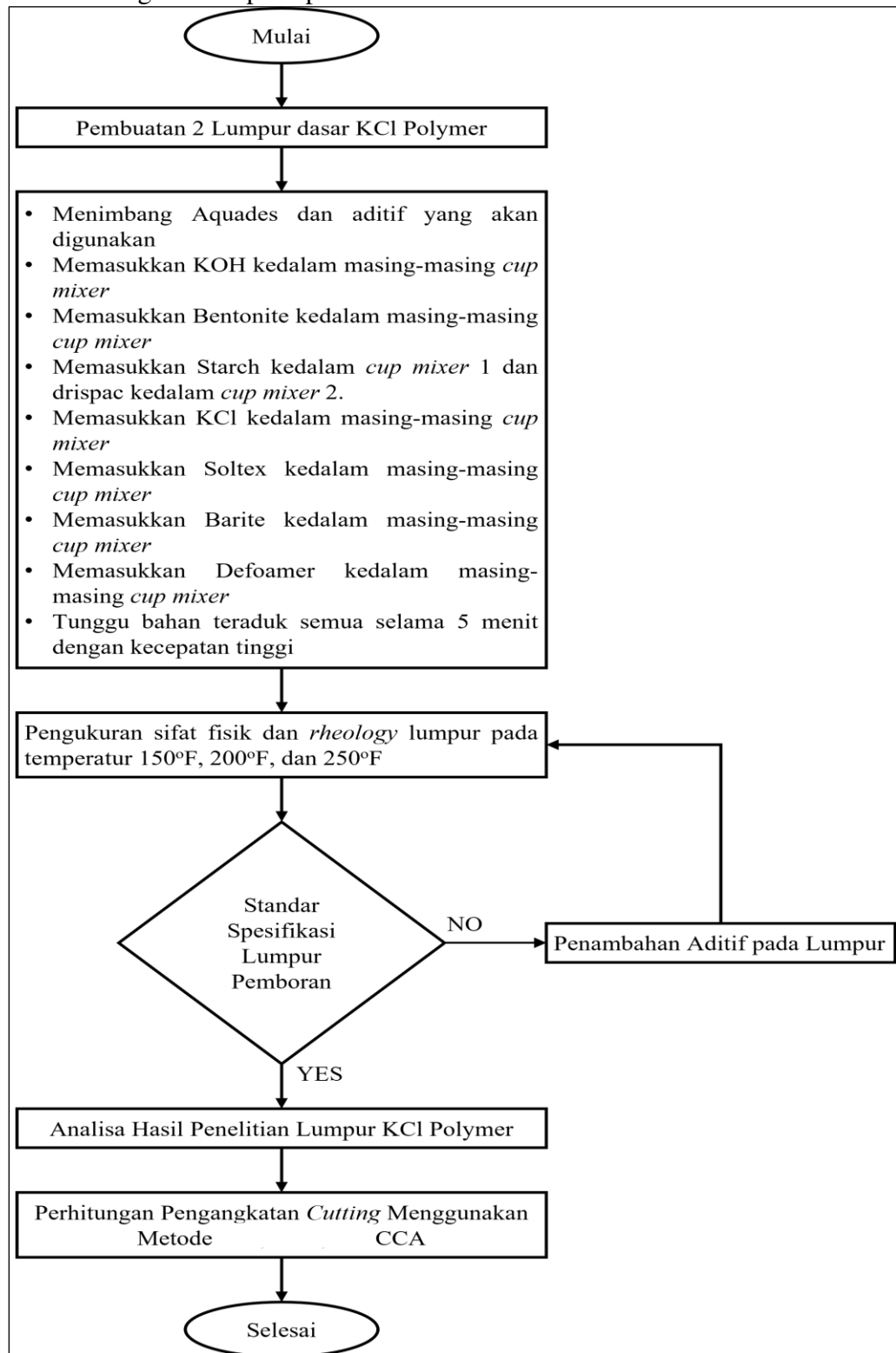
3.4. Indikator Capaian Penelitian

Indikator capaian yang akan dilakukan pada penelitian analisa cutting concentration in annulus pada lumpur pemboran menggunakan natural polymer starch dan drispac dengan berbagai temperatur adalah sebagai berikut ...

1. Mengetahui penggunaan komposisi pada sample lumpur polymer Drispac dan Starch dapat mempengaruhi proses pengangkatan cutting.
2. Mengetahui perubahan densitas lumpur polymer Drispac dan Starch terhadap perubahan temperatur.
3. Mengetahui perubahan viskositas lumpur polymer Drispac dan Starch terhadap perubahan temperatur.
4. Mengetahui perubahan rheology lumpur polymer Drispac dan Starch terhadap perubahan temperatur.
5. Mengetahui faktor apa saja yang yang mempengaruhi proses pengangkatan cutting ke permukaan, pada proses sirkulasi lumpur pemboran.
6. Mengetahui pengaruh arah aliran pada proses sirkulasi pemboran dapat menentukan keberhasilan pengangkatan cutting ke permukaan.
7. Mengetahui pengaruh pressure loss diannulus dan equivalent circulating density dapat menjadi salah satu penentu keberhasilann pengangkatan cutting ?

8. Mengetahui tingkat keberhasilan pengangkatan cutting dengan adanya perubahan nilai densitas pada metode pengangkatan cutting CCA (Cutting Concentration In Annulus) ?
9. Mengetahui tingkat keberhasilan pengangkatan cutting dengan adanya perubahan nilai rheology pada metode pengangkatan cutting CCA (Cutting Concentration In Annulus)?

Berikut adalah diagram alir pada penelitian ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lumpur yang akan dibuat dan diteliti merupakan berbahan dasar air yaitu lumpur dengan menggunakan polymer starch dan polymer drispac, namun diperlukan beberapa komposisi tambahan seperti air yang berfungsi mencampurkan semua bahan yang akan digunakan pada sample lumpur tersebut, kemudian ada KOH yang berfungsi sebagai *ph control* dalam kedua sample lumpur tersebut, sehingga kedua sample lumpur tersebut dapat dalam kondisi basa. Terdapat bentonite yang berfungsi sebagai viscosifier pada lumpur tersebut sehingga kedua sample lumpur tersebut memiliki hasil lumpur yang visous. Kemudian terdapat KCl yang berfungsi sebagai mencegah terjadinya *swelling*. Kemudian ada K soltex untuk memperkuat ion K sehingga peran KCl memiliki fungsi yang lebih kuat pada saat akan mengikat ion Na sehingga jika terjadi masalah seperti *swelling shale* dapat cepat teratasi. Kemudian ada Barite yang berfungsi sebagai pemberat dalam kedua sample lumpur tersebut, sehingga akan mendapatkan nilai densitas yang optimal yang dapat mengimbangi antara tekanan hidrostatik dan tekanan formasi. Terakhir terdapat penambahan Defoamer yang berfungsi sebagai penghilang busa , pada sample ini diberitakan tambahan defoamer karena pada saat pembuatan lumpur tersebut terdapat busa setelah dilakukan mixing, sehingga diperlukan bahan tersebut.

Pada penelitian ini, memiliki kedua sample yang digunakan adalah sample Lumpur Starch dan sample lumpur drispac masing masing akan diuji dengan tiga temperatur yaitu 150 °F, 200 °F, 250 °F. Langkah awal yang diperlukan pengujian dua sample tersebut skala laboratorium untuk mengetahui nilai sifat fisik lumpur seperti densitas, viskositas, rheology, filtration loss, mud cake dan pH. Setelah dilakukan percobaan pembuatan lumpur dan mengetahui sifat fisik lumpur pada kedua sample lumpur tersebut, maka akan dilanjutkan analisis data sifat fisik dengan menggunakan data lapangan yang bertujuan untuk mengetahui hasil sifat fisik pada kedua sample tersebut apakah dapat digunakan atau tidak. Analisis yang digunakan yaitu dengan menguji nilai sifat fisik seperti densitas dan rheology terhadap pengangkatan cutting pada sample tersebut dengan menggunakan metode Cutting Transport Ratio. Dibawah ini merupakan komposisi lumpur awal yang akan di uji pada laboratorium tersebut

Tabel 4. 1 Komposisi Lumpur Starch

Bahan	S.G	% Vol (350 ml)	lb/bbl	350 ml	Weight gram
Aquades (ml)	1	89.37	311.1	312.80	312.80
KOH (gr)	2.13	0.10	0.7	0.35	0.75
Bentonite (gr)	2.6	0.77	7	2.69	7
Starch (gr)	1.10	3.51	13.4	12.27	13.5
KCL (gr)	1.72	2.82	16.9	9.88	17
Soltex (gr)	1.40	0.82	4	2.86	4
Barite (gr)	4.20	2.04	29.8	7.14	30
Defoamer (ml)	1	0.57	2	2	2
Total		100	385	350	387

Dibawah ini merupakan Tabel 4.2 Komposisi Lumpur Drispac

Tabel 4. 2 Komposisi Lumpur Drispac

Bahan	S.G	% Vol (350 ml)	lb/bbl	350 ml	Weight gram
Aquades (ml)	1	92.23	321.1	323.81	322.81
KOH (gr)	2.13	0.10	0.7	0.35	0.75
Bentonite (gr)	2.6	0.77	7	2.69	7
Drispac (gr)	1.55	0.65	3.5	2.26	3.5
KCL (gr)	1.72	2.82	16.9	9.88	17
Soltex (gr)	1.40	0.82	4	2.86	4
Barite (gr)	4.20	2.04	29.8	7.14	30
Defoamer (ml)	1	0.57	2	2	2
Total		100	385.01	350	387

Dibawah ini ini merupakan tabel spesifikasi laboratorium yang akan digunakan pada kedua sample tersebut

Tabel 4. 3 Spesifikasi Lumpur yang Digunakan

No	Properties	Suhu (°F)			Unit
		150	200	250	
1	Densitas	9.0 – 9.5	9.5 – 10.0	10.0 – 11.0	ppg
2	<i>Funnel Viscosity</i>	15 - 25	25 - 35	35 - 45	sec/quartz
3	<i>Plastic Viscosity</i>	15 - 25	25 - 35	35 - 45	centipoise
4	<i>Yield Point</i>	15 - 20	20 - 25	25 - 30	lb/100sqft
5	<i>Gels Strength</i>	4 – 8 / 8-16	4 – 8 / 8-16	4 – 8 / 8-16	lb/100sqft
6	<i>Filtration Loss</i>	<=6	<=6	<=6	ml

IV.1 Hasil Pengamatan Laboratorium

Pengamatan yang dilakukan di Laboratorium Teknik Pemboran dan Produksi Universitas Trisakti terdiri dari dua yaitu pengamatan sifat fisik lumpur seperti densitas dan *funnel viscosity* dan pengamatan *rheology* lumpur seperti *plastic viscosity*, *yield point*, *gels strength*, dan *filtration loss*.

IV.1.1 Densitas Lumpur

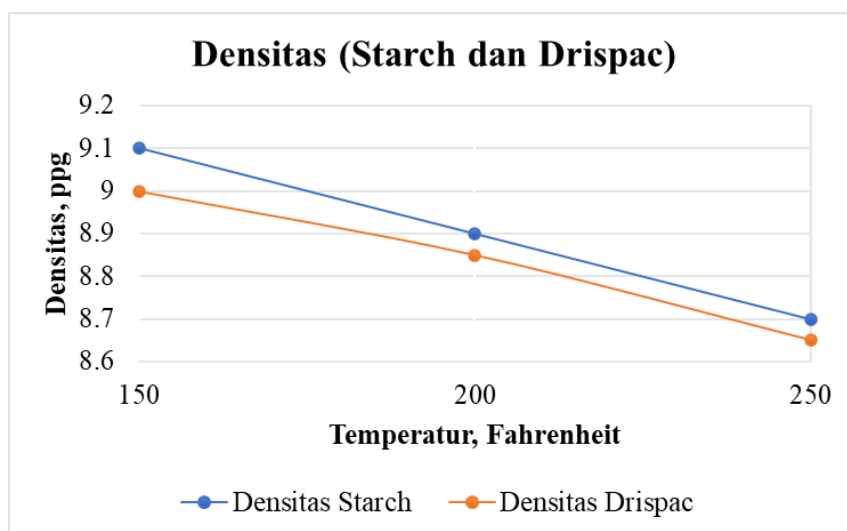
Densitas Berat jenis adalah berat persatuan volume dari lumpur yang memiliki pengaruh terhadap daya apung (*buoyancy effect*) terhadap partikel padatan, semakin besar berat jenis lumpur maka semakin tinggi kemampuan pengangkatanya karena pengaruh daya angkat pada lumpur tersebut

Penggunaan densitas yang tinggi juga harus dipelajari apakah memerlukan berat jenis yang tinggi dari berat jenis yang biasa digunakan. Ada beberapa sumur yang memerlukan berat jenis lumpur yang tinggi bertujuan untuk menjaga kestabilan lubang bor. Berikut ini merupakan Tabel 4.4 hasil pengukuran densitas terhadap berbagai suhu

Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Densitas Terhadap Berbagai Suhu

Lumpur Polymer	Temperatur (°F)			Satuan
	150	200	250	
Starch	9.1	8.9	8.7	ppg
Drispac	9	8.85	8.65	ppg

Dibawah ini merupakan Gambar 4.1 hasil pengukuran densitas untuk kedua sample lumpur polymer starch dan drispac



Gambar 4. 1 Grafik Hasil Pengukuran Densitas Terhadap Berbagai Suhu

Pada gambar 4.1 terlihat penurunan nilai densitas pada setiap kenaikan suhu, penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya fasa cair pada setiap sample tersebut dan terjadi pengendapan padatan sehingga massa dan volume dari lumpur berkurang. Pada gambar tersebut terlihat yang memiliki nilai sesuai dengan spesifikasi hanya pada sample lumpur starch dan drispac yang diberi pengaruh 150 F , namun pada temperatur 200 F dan 250 F mengalami penurunan, sehingga diperlukan penambahan barite pada kedua sample pada temperatur 200 F dan 250 F. Penambahan barite dilakukan sebesar 60 gram pada masing masing sample lumpur 200 F didapatkan hasil berupa untuk sampel lumpur starch mendapatkan nilai 10 ppg dari sebelumnya 8,9 ppg, sedangkan untuk lumpur drispac mendapatkan nilai 9,9 ppg dari sebelumnya 8,85 ppg. Pada kedua sample tersebut mendapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.

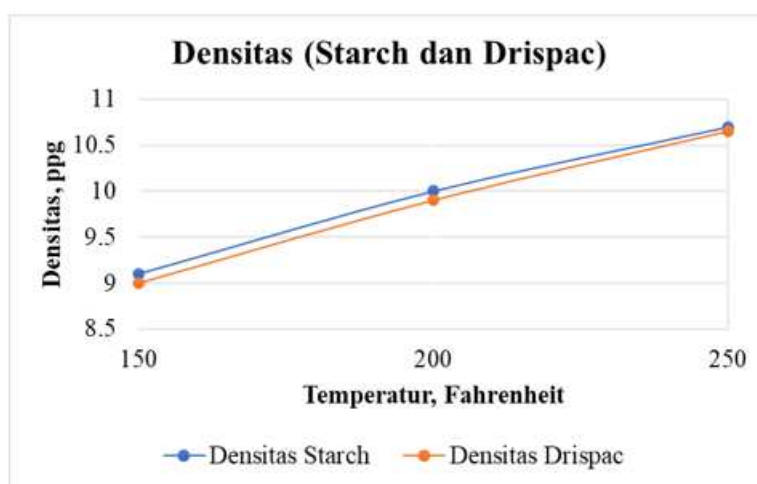
Pada kedua sample lumpur 250 F mendapatkan penambahan 120gram pada masing-masing sample tersebut, untuk sample lumpur starch mendapatkan hasil 10,7 ppg dari sebelumnya 8,7 ppg. Pada sample lumpur drispac mendapatkan hasil 10,65 ppg dari hasil sebelumnya 8,65 ppg, sehingga

didapatkan hasil pada kedua sample tersebut sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dibawah ini merupakan tabel 4.5 Hasil Pengukuran Densitas setelah dilakukan penambahan barite

Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Densitas Setelah Penambahan Barite

Lumpur Polimer	Temperatur (°F)			Satuan
	150	200	250	
Starch	9.1	10	10.7	ppg
Drispac	9	9.9	10.65	ppg

Dibawah ini merupakan gambar 4.2 Hasil Pengukuran Densitas Setelah Penambahan Barite



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengukuran Densitas Setelah Penambahan Barite

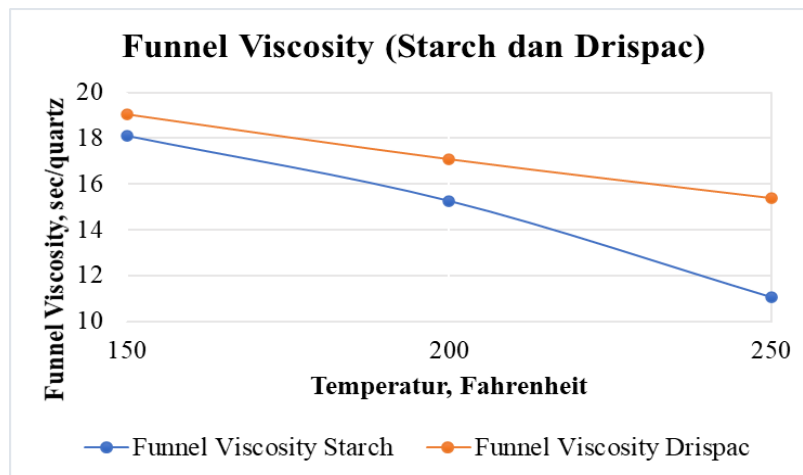
IV.1.2 Viskositas Lumpur

Viskositas lumpur merupakan tahanan aliran yang ada pada lumpur. Alat untuk mengukur viskositas lumpur yaitu *marsh funnel* dalam satuan sec/quartz. Semakin lama lumpur keluar dari lubang yang ada pada *marsh funnel* maka lumpur tersebut kental atau memiliki viskositas yang besar. Sedangkan semakin cepat lumpur keluar dari lubang yang ada pada *marsh funnel* maka lumpur tersebut encer atau memiliki viskositas yang kecil. Nilai viskositas lumpur harus disesuaikan dengan standar spesifikasi yang sudah ditetapkan agar pengangkatan *cutting* dapat optimal. Viskositas lumpur sangat berpengaruh dalam proses pengangkatan *cutting* dikarenakan kekentalan dari lumpur dapat menambah daya angkat pada *cutting* keatas permukaan. Nilai viskositas akan berubah setiap kenaikan temperatur. Perubahan nilai viskositas terhadap berbagai temperatur dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Viskositas Terhadap Suhu

Jenis Polymer	Temperatur (°F)			Satuan
	150	200	250	
Starch	18,11	15,27	11,07	sec/quartz
Drispac	19,03	17,08	15,39	sec/quartz

Gambar 4.3 merupakan hasil dari grafik pengukuran viskositas terhadap perubahan suhu pada sample lumpur starch dan drispac



Gambar 4. 3 Grafik Hasil Pengukuran Viskositas Terhadap Berbagai Suhu

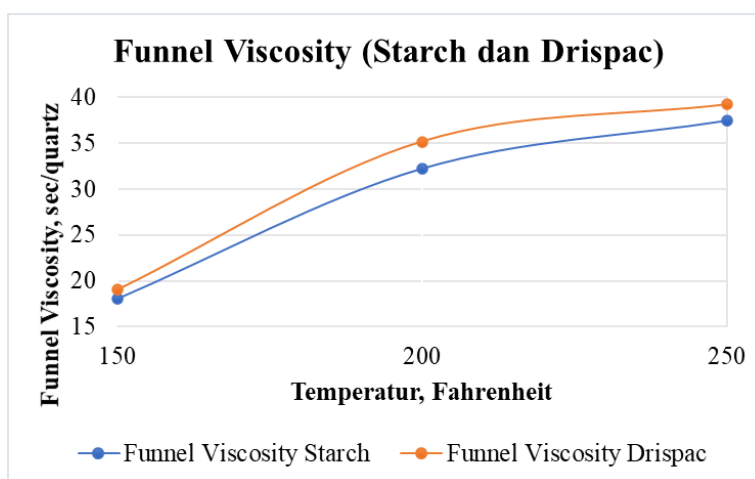
Hasil sample lumpur pada suhu 150°F untuk sample lumpur starch mendapatkan nilai viskositas sebesar 18,11 sec/quartz. Pada sample lumpur yang mengandung drispac mendapatkan hasil sebesar 19,03 sec/quartz. Pada kedua hasil lumpur tersebut memiliki hasil yang telah memenuhi standar spesifikasi sehingga tidak perlu dilakukan treatment penambahan pada uji sample lumpur tersebut. Pada suhu 200°F untuk sample lumpur starch mendapatkan hasil viskositas sebesar 15,27 sec/quartz, sedangkan pada sample lumpur drispac mendapatkan hasil viskositas sebesar 17,08 sec/quartz. Kedua sample lumpur pada suhu mendapatkan hasil yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Penurunan nilai viskositas pada kedua sample ini karena ada kenaikan suhu sehingga padatan dalam lumpur tersebut berkurang. Apabila kandungan pada padatan lumpur tersebut berkurang maka akan memperkecil nilai ketahanan atau gesekan pada lumpur tersebut. Pada sample 200°F diperlukan treatment atau tambahan bahan komposisi yaitu bentonite sebesar 12gram untuk sample lumpur starch dan 15gram starch pada sample lumpur starch, sedangkan pada sampel lumpur drispac ditambahkan komposisi bentonite sebesar 8gram dan drispac 1 gram. Setelah ditambahkan komposisi pada kedua sample tersebut maka didapatkan hasil viskositas untuk sample lumpur polymer 32,27 sec/quartz sedangkan untuk sample lumpur drispac mendapatkan hasil 35,19 sec/quartz. Pada suhu 250°F mendapatkan hasil viskositas untuk sample lumpur starch 11,07 sec/quartz, sedangkan pada sample lumpur drispac mendapatkan hasil 15,39 sec/quartz. Kedua sample lumpur tersebut mendapatkan hasil yang tidak memenuhi spesifikasi yang diinginkan, maka perlu dilakukan penambahan komposisi pada kedua sample tersebut. Penurunan hasil yang didapatkan pada kedua sample tersebut disebabkan oleh pengaruh suhu, sehingga padatan dalam lumpur tersebut berkurang. Penambahan bahan yang diberikan pada sampel lumpur 250°F untuk lumpur polymer starch berupa 18 gram, bentonite dan 20 gram starch sedangkan pada sampel lumpur drispac menambahkan 12 gram

bentonite dan 1,5 drispac . Hasil yang didapatkan pada sample lumpur tersebut adalah untuk sample lumpur starch mendapatkan hasil 37,48 sec/quartz sedangkan drispac 39,22 sec/quartz. Tabel 4.7 merupakan tabel dari hasil pengukuran viskositas setelah dilakukan penambahan bahan pada sampel 200°F dan 250°F

Tabel 4. 7 Hasil Pengukuran Viskositas Setelah Penambahan Bahan

Jenis <i>Polymer</i>	Temperatur (°F)			Satuan
	150	200	250	
Starch	18,11	32,27	37,48	sec/quartz
Drispac	19,03	35,19	39,22	sec/quartz

Gambar 4.4 merupakan grafik hasil pengukuran viskositas setelah dilakukan penambahan bahan pada sampel 200°F dan 250°F



Gambar 4. 4 Grafik Hasil Pengukuran Viskositas Setelah Penambahan Bahan

Dari hasil tabel 4.7 dan gambar 4.4 menunjukkan kenaikan nilai viskositas lumpur setelah diberikan penambahan bentonite , starch dan drispac. Nilai viskositas drispac mendapatkan hasil lebih tinggi sedikit daripada starch. Sehingga untuk viskositas lebih baik menggunakan driapac mendapatkan hasil yang meningkatkan namun penmabahan bahannya tidak telalu banyak seperti sample lumpur starch.

IV.1.3 Plastik Viskositas

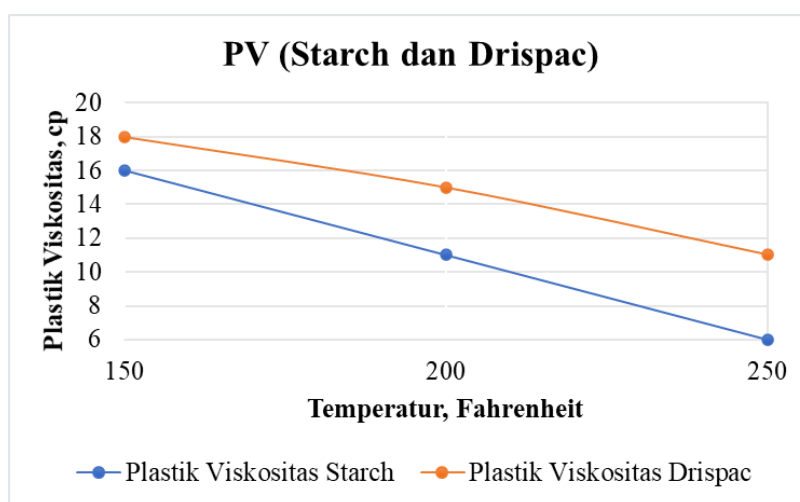
Plastik viskositas merupakan tahanan alir yang disebabkan oleh gaya gesek partikel. Kandungan padatan dan polymer dalam lumpur dapat mempengaruhi nilai plastik viskositas. Semakin banyak kandungan padatan dan kandungan polymer dalam lumpur maka nilai plastik viskositas semakin tinggi. Penurunan nilai plastik viskositas dapat diartikan dengan berkurangnya kandungan padatan dan polymer dalam lumpur. Plastik viskositas dapatkan ditingkatkan dengan cara menambahkan kandungan padatan dan polymer pada lumpur tersebut. Kandungan padatan dan polymer dalam lumpur harus diperhatikan ukuran partikel dan luas permukaan partikel. Semakin besar luas permukaan partikel akan mengakibatkan peningkatan pada nilai plastik viskositas, hal tesebut dapat menimbulkan

semakin besar pula partikel bergesek dengan partikel lainnya. Setiap perubahan temperatur mengakibatkan perubahan pada nilai plastik viskositas. Pada tabel 4.8 menunjukkan perubahan nilai plastik viskositas terhadap berbagai suhu.

Tabel 4. 8 Hasil Pengukuran Plastik Viskositas Terhadap Berbagai Suhu

Jenis <i>Polymer</i>	Temperatur (°F)			Satuan
	150	200	250	
Starch	16	11	6	cp
Drispac	18	15	11	cp

Grafik perubahan nilai plastik viskositas terhadap berbagai temperatur pada kedua *natural polymer* tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pengukuran Plastik Viskositas Terhadap Berbagai Suhu

Pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.5 menunjukan penurunan hasil pada nilai plastik viskositas, ini disebabkan oleh adanya perubahan suhu dari 150 °F sampai 250 °F, dikarena semakin tinggi suhu yang diberikan maka volume pada lumpur tersebut akan memuai. Kandungan pada padatan dalam lumpur tersebut mengendapa dibagian dasar permukaan aging cell sehingga gaya gesek antar partikel padaran lumpur tersebut mengecil . Pada sample lumpur 150 °F kedua sample tersebut mendapatkan hasil sesuai standar spesifikasi yang diinginkan yaitu untuk lumpur starch 16 cp dan lumpur drispac 18 cp maka tidak perlu dilakukan treatment penambahan bahan.

Pada suhu 200 °F mendapatkan hasil plastic viskositas untuk sample lumpur starch 11 cp sedangkan drispac 15 cp. Hasil yang didapatkan pada kedua sample tersebut menunjukan nilai dibawah stadar spesifikasi yang diinginkan, maka diperlukan penambahan bahan pada kedua sample tersebut. Penurunan tersebut disebabkan memuaikan volume pada lumpur tersebut sehingga lumpur mengendap kebagian bawah permukaan aging cell setelah dilakukan hot rolling oven selama 16jam. Keefektifan pada kedua sample lumpur polymer tersebut turun sehingga diperlukan penambahan komposisi pada kedua sample lumpur tersebut. Pada sample lumpur polymer starch ditambahkan 12 gram bentonite dan 15 gram starch, sedangkan untuk sample lumpur drispac ditambahkan 8 gram bentonite dan 1 gram

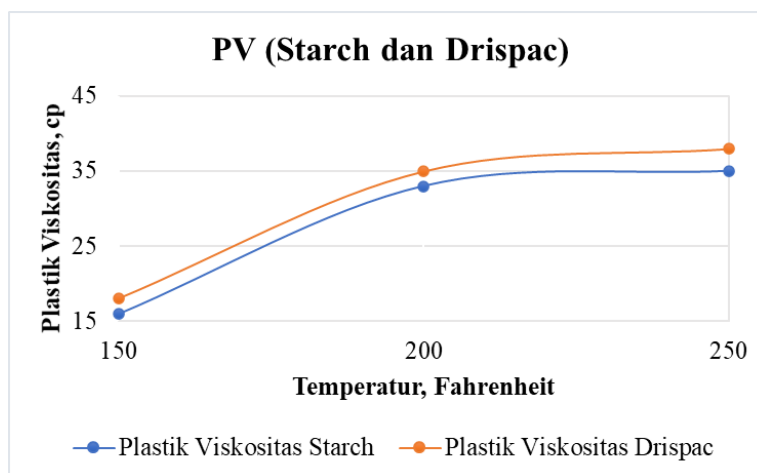
drispac untuk menaikkan nilai plastic viskositas dari hasil sebelumnya . Hasil yang didapat adalah untuk sample lumpur polymer starch sebesar 33 cp sedangkan untuk sample lumpur drispac 35 cp. Hasil yang didapatkan menunjukkan nilai yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Pada suhu 250 °F mendapatkan hasil plastic viskositas untuk sample lumpur starch 6 cp sedangkan drispac 11 cp. Hasil yang didapatkan pada kedua sample tersebut menunjukkan nilai dibawah standar spesifikasi yang diinginkan, maka diperlukan penambahan bahan pada kedua sample tersebut. Penurunan tersebut disebabkan pemuatan volume pada lumpur tersebut sehingga lumpur mengendap ke bagian bawah permukaan *aging cell* setelah dilakukan *hot rolling oven* selama 16 jam. Keefektifan pada kedua sample lumpur polymer tersebut turun sehingga diperlukan penambahan komposisi pada kedua sample lumpur tersebut. Pada sample lumpur polymer starch ditambahkan 18 gram bentonite dan 20 gram starch, sedangkan untuk sample lumpur drispac ditambahkan 12 gram bentonite dan 1,5 gram drispac untuk menaikkan nilai plastic viskositas dari hasil sebelumnya. Hasil yang didapat adalah untuk sample lumpur polymer starch sebesar 35 cp sedangkan untuk sample lumpur drispac 38 cp. Hasil yang didapatkan menunjukkan nilai yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Tabel 4.9 merupakan tabel dari hasil pengukuran plastik viskositas setelah dilakukan penambahan bahan pada sampel 200°F dan 250°F

Tabel 4. 9 Hasil Pengukuran Plastik Viskositas Setelah Penambahan Bahan

Jenis <i>Polymer</i>	Temperatur (°F)			Satuan
	150	200	250	
Starch	16	33	35	cp
Drispac	18	35	38	cp

Grafik perubahan nilai plastik viskositas terhadap berbagai temperatur pada kedua *natural polymer* tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengukuran Plastik Viskositas Setelah Penambahan Bahan

Dari hasil tabel 4.9 dan gambar 4.6 menunjukkan kenaikan nilai viskositas lumpur setelah diberikan penambahan bentonite, starch dan drispac. Nilai plastic viskositas drispac mendapatkan hasil lebih tinggi sedikit daripada starch. Sehingga untuk plastic viskositas lebih baik menggunakan drispac

mendapatkan hasil yang meningkatkan namun penambahan bahannya tidak terlalu banyak seperti pada sample lumpur starch.

IV.1.4 Yield Point

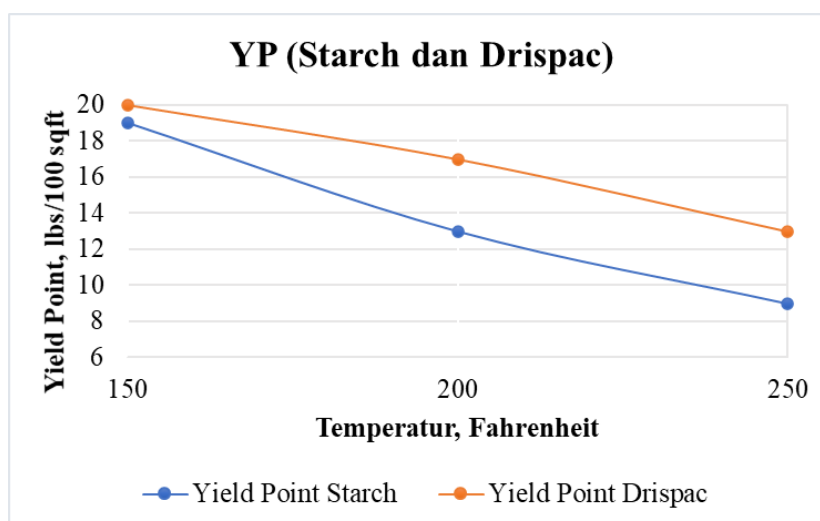
Yield point adalah tahanan aliran yang dipengaruhi oleh gaya tarik menarik antar partikel dalam keadaan dinamis. Gaya tarik menarik antar partikel disebabkan oleh adanya muatan dari partikel tersebut. Faktor yang mempengaruhi nilai *yield point* dari lumpur seperti konsentrasi volume

kandungan padatan dalam lumpur dan jumlah muatan partikel yang terkandung dalam lumpur. Perubahan *yield point* dapat dipengaruhi oleh temperatur. Nilai *yield point* pada lumpur harus sesuai dengan standar spesifikasi lumpur yang ditunjukkan pada tabel 4.3 dikarenakan hal tersebut dapat mengangkat *cutting* keatas permukaan dengan optimal. Perubahan *yield point* terhadap berbagai temperatur pada kedua *natural polymer* dapat ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil Pengukuran *Yield point* Terhadap Berbagai Suhu

Jenis <i>Polymer</i>	Temperatur (°F)			Satuan
	150	200	250	
Starch	19	13	9	lbs/100 sqft
Drispac	20	17	13	lbs/100 sqft

Grafik perubahan nilai *yield point* terhadap berbagai temperature pada kedua *natural polymer* tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengukuran *Yield point* Terhadap Temperatur

Pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.7 untuk suhu 150°F untuk sampel lumpur starch dan drispac mendapatkan hasil sesuai dengan standar spesifikasi yang diinginkan yaitu berkisar 19 lbs/100 sqft dan 20 lbs/100 sqft, maka hasil tersebut tidak perlu dilakukan penambahan bahan atau komposisi. Pada sample lumpur suhu 200°F mendapatkan hasil untuk sampel lumpur starch sebesar 13 lbs/100 sqft dan untuk sample lumpur drispac sebesar 17 lbs/100 sqft. Pada sample ini mengalami penurunan hasil dari sample sebelumnya. Ini disebabkan ada perubahan suhu yang diberikan pada kedua sample ini

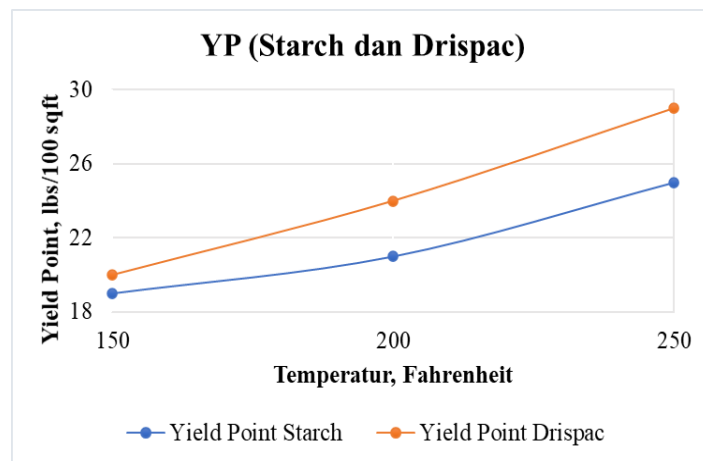
sehingga volume pada lumpur tersebut memuai dan membuat jumlah partikel yang saling menarik atau bergesekan menjadi berkurang. Pada sample dibutuhkan penambahan komposisi yaitu untuk sample lumpur starch menambahkan 12gram bentonite dan 15gram starch sedangkan untuk sample lumpur drispac menambahkan 8gram bentonite dan 1 gram drispac. Hasil yang di peroleh adalah sebesar 21 lbs/100sqft untuk sample lumpur starch dan lumpur yang mengandung drispac mendapatkan nilai *yield point* sebesar 24 lbs/100sqft.

Pada sample lumpur suhu 250°F mendapatkan hasil untuk sampel lumpur starch sebesar 9 lbs/100 sqft dan untuk sample lumpur drispac sebesar 13 lbs/100 sqft. Pada sample ini mengalami penurunan hasil dari sample sebelumnya. Ini disebabkan ada perubahan suhu yang diberikan pada kedua sample ini sehingga volume pada lumpur tersebut memuai dan membuat jumlah partikel yang saling menarik atau bergesekan menjadi berkurang. Pada sample dibutuhkan penambahan komposisi yaitu untuk sample lumpur starch menambahkan 18gram bentonite dan 20gram starch sedangkan untuk sample lumpur drispac menambahkan 12gram bentonite dan 1gram drispac. Hasil yang di peroleh adalah sebesar 25 lbs/100sqft untuk sample lumpur starch dan lumpur yang mengandung drispac mendapatkan nilai *yield point* sebesar 29 lbs/100sqft. Tabel 4.11 merupakan tabel dari hasil pengukuran *yield point* setelah dilakukan penambahan bahan pada sampel 200°F dan 250°F

Tabel 4. 11 Hasil Pengukuran *Yield point* Setelah Penambahan Bahan

Jenis Polymer	Temperatur (°F)			Satuan
	150	200	250	
Starch	19	21	25	lbs/100 sqft
Drispac	20	24	29	lbs/100 sqft

Grafik perubahan nilai *yield point* terhadap berbagai temperatur setelah penambahan bahan dapat ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengukuran *Yield point* Setelah Penambahan Bahan

Dari hasil tabel 4.11 dan gambar 4.8 menunjukkan kenaikan nilai *yield point* lumpur setelah diberikan penambahan bentonite starch dan drispac. Nilai plastic *yield point* drispac mendapatkan hasil lebih tinggi sedikit daripada starch. Sehingga untuk *yield point* lebih baik menggunakan drispac mendapatkan hasil yang meningkatkan namun penmbahan bahannya tidak telalu banyak seperti sample lumpur starch.

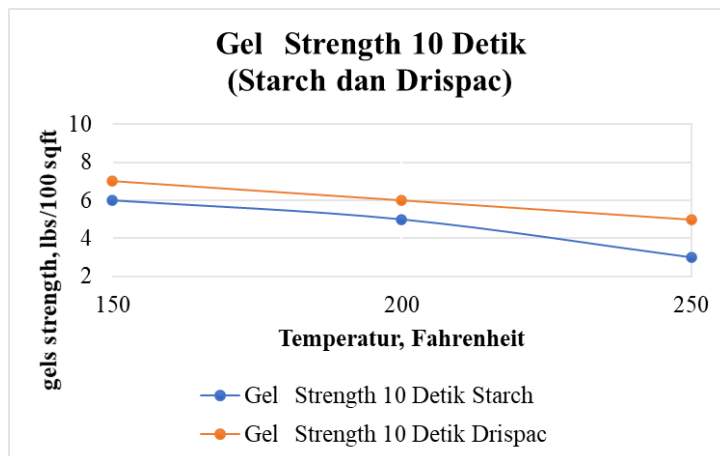
IV.1.5 Gel Strength

Gel strength dalam lumpur merupakan ukuran gaya tarik menarik antar partikel yang ada dalam lumpur. Gaya tarik tersebut dalam lumpur bersifat statik atau dalam kondisi diam. Salah satu fungsi *gels strength* pada lumpur untuk menahan *cutting* tidak jatuh kedalam bawah lubang pemboran pada saat sirkulasi dihentikan. Pengukuran *gel strength* dalam lumpur terdiri dari dua yaitu pengukuran *gel strength* selama 10 detik dan selama 10 menit. Perubahan *gel strength* dalam lumpur dapat dipengaruhi oleh perubahan pada temperatur dalam sistem lumpur. Tabel 4.12 menunjukkan perubahan nilai *gel strength* lumpur terhadap berbagai temperatur.

Tabel 4. 12 Hasil Pengukuran *Gels Strength* Terhadap Berbagai Suhu

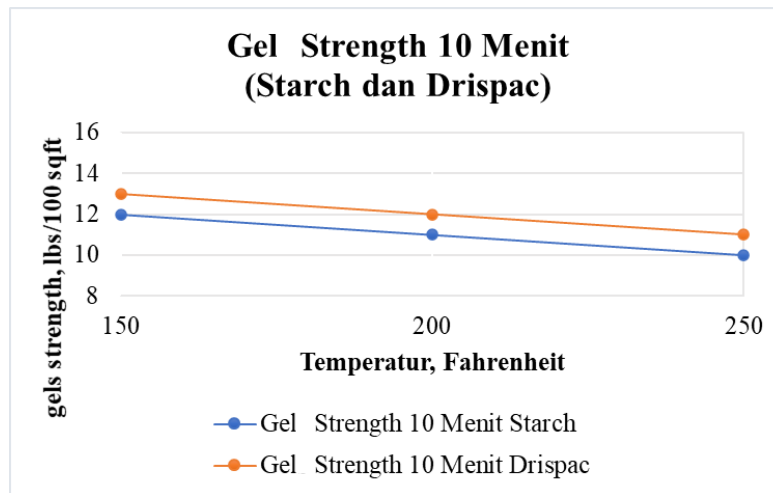
Jenis Polymer	Temperatur (°F)			Satuan
	150	200	250	
Starch	6/12	5/11	3/10	lbs/100 sqft
Drispac	7/13	6/12	5/11	lbs/100 sqft

Grafik perubahan nilai *gel strength* 10 detik terhadap berbagai temperatur dapat ditunjukkan pada gambar 4.9 dibawah ini.



Gambar 4. 9 Grafik Hasil Pengukuran *Gels Strength* 10 Detik Terhadap Berbagai Suhu

Grafik perubahan nilai *gels strength* 10 menit terhadap berbagai temperatur dapat ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengukuran *Gel Strength* 10 Detik Terhadap Berbagai Suhu

Pada gambar 4.9 dan gambar 4.10 pengukuran *gel strength* 10 detik dan 10 menit mengalami penurunan. Penurunan *gel strength* tersebut dikarenakan kandungan padatan dalam lumpur mengendap setelah hot rolling oven selama 16 jam sehingga gaya tarik menarik antar partikel dalam kondisi statik pada lumpur menjadi berkurang serta keefektifan penggunaan *natural polymer* berkurang setiap kenaikan temperatur. Pada temperatur 150°F lumpur yang mengandung *natural polymer* starch nilai *gel strength* 10 detik sebesar 6 lbs/100sqft dan nilai *gel strength* 10 menit sebesar 12 lbs/100sqft. Pada temperatur 150°F lumpur yang mengandung drispac nilai *gel strength* 10 detik sebesar 7 lbs/100sqft dan nilai *gels strength* 10 menit sebesar 13 lbs/100sqft. Pada temperatur 200°F lumpur yang mengandung starch nilai *gel strength* 10 detik sebesar 5 lbs/100sqft dan nilai *gel strength* 10 menit sebesar 11 lbs/100sqft. Pada temperatur 200°F lumpur yang mengandung drispac nilai *gels strength* 10 detik sebesar 6 lbs/100sqft dan nilai *gel strength* 10 menit sebesar 12 lbs/100sqft. Pada temperatur 250°F lumpur yang mengandung *natural polymer* starch nilai *gels strength* 10 detik sebesar 3 lbs/100sqft dan nilai *gel strength* 10 menit sebesar 10 lbs/100sqft. Pada temperatur 250°F lumpur yang mengandung drispac nilai *gel strength* 10 detik sebesar 5 lbs/100sqft dan nilai *gel strength* 10 menit sebesar 11 lbs/100sqft.

Dari hasil pengukuran *gel strength* tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi standar lumpur yang ditunjukkan pada tabel 4.3 namun untuk *gel strength* 10 detik lumpur yang mengandung starch tidak sesuai dengan standar spesifikasi lumpur yang ditunjukkan pada tabel 4.3. Pada kedua lumpur tersebut ditambahkan beberapa bahan dikarenakan untuk mencapai nilai densitas, viskositas, plastik viskositas, dan *yield point* sesuai dengan standar spesifikasi lumpur yang ditunjukkan pada tabel 4.3. Penambahan bahan tersebut berpengaruh terhadap perubahan nilai *gel strength* lumpur. perubahan nilai *gel strength* setelah penambahan bahan dapat ditunjukkan pada tabel 4.13.

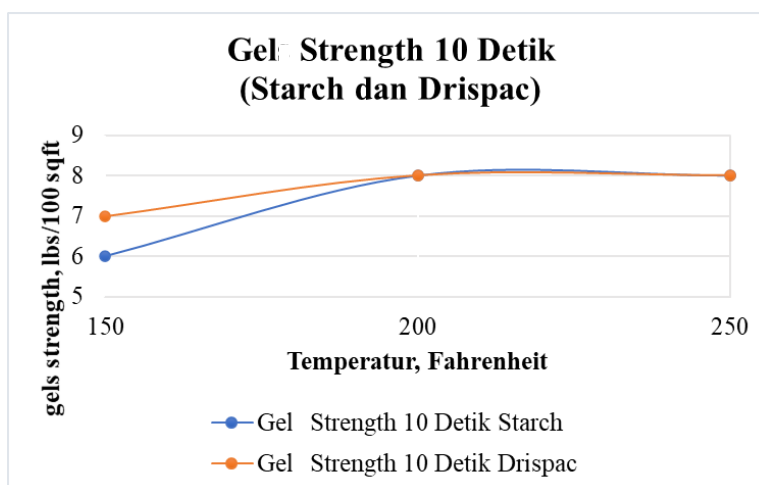
Tabel 4. 13 Hasil Pengukuran *Gels Strength* Setelah Penambahan Bahan

Jenis <i>Polymer</i>	Temperatur (°F)			Satuan
	150	200	250	
Starch	6/12	8/16	8/16	lbs/100 sqft
Drispac	7/13	8/16	8/16	lbs/100 sqft

Pada tabel 4.13 kedua lumpur yang ditambahkan bahan seperti bentonite, starch, drispac, dan barite mengalami peningkatan nilai *gel strength* dikarenakan lumpur diberikan kandungan padatan dan polymer sehingga gaya tarik menarik dalam kondisi static antar partikel dalam lumpur menjadi meningkat. Pada temperatur 150 °F kedua lumpur tidak diberikan penambahan bahan sehingga nilai *gel strength* tetap yaitu pada sampel lumpur starch nilai *gel strength* 10 detik sebesar 6 lbs/100sqft dan *gel strength* 10 menit sebesar 12 lbs/100sqft sedangkan pada sampel lumpur drispac nilai *gel strength* 10 detik sebesar 7 lbs/100sqft dan *ge strength* 10 menit sebesar 13 lbs/100sqft.

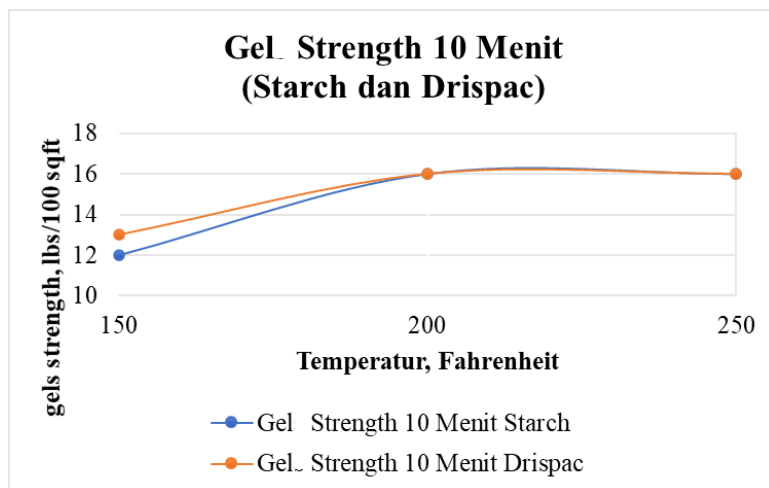
Pada temperatur 200°F lumpur diberikan *treatment* tambahan seperti bentonite sebanyak 12gram dan starch sebanyak 15 gram kedalam lumpur yang mengandung *natural polymer* starch sehingga nilai *gel strength* 10 detik sebesar 8 lbs/100sqft dan nilai *gel strength* 10 menit sebesar 16 lbs/100sqft. Pada temperatur 200°F lumpur diberikan *treatment* tambahan seperti bentonite sebanyak 8gram dan drispac sebanyak 1gram kedalam lumpur yang mengandung drispac sehingga nilai *gel strength* 10 detik sebesar 8 lbs/100 sqft dan nilai *gels strength* 10 menit sebesar 16 lbs/100sqft.

Lumpur yang mengandung starch pada temperatur 250°F diberikan penambahan seperti bentonite sebanyak 18gram dan starch sebanyak 20 gram sehingga nilai *gel strength* 10 detik sebesar 8 lbs/100sqft dan nilai *gel strength* 10 menit sebesar 16 lbs/100sqft. Lumpur yang mengandung drispac pada temperatur 250°F diberikan *treatment* tambahan seperti penambahan bentonite sebanyak 12 gram dan drispac sebanyak 1,5 gram sehingga nilai *gel strength* 10 detik sebesar 8 lbs/100sqft dan nilai *gel strength* 10 menit sebesar 16 lbs/100sqft. Barite juga ditambahkan kedalam kedua lumpur tersebut sebanyak 60 gram pada temperatur 200°F dan 120 gram pada temperatur 250°F. Grafik perubahan nilai *gel strength* 10 detik setelah penambahan bahan dapat ditunjukkan pada gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Grafik Hasil Pengukuran *Gel Strength* 10 Detik Setelah Penambahan Bahan

Grafik perubahan nilai *gel strength* 10 menit setelah penambahan bahan dapat ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengukuran *Gel Strength* 10 Menit Setelah Penambahan Bahan

IV.1.6 Filtration Loss

Pada lumpur pemboran terdapat 3 fasa yaitu fasa cair, kimia, dan padatan. *Filtration loss* merupakan fasa cair yang terdapat dalam lumpur yang hilang kedalam formasi batuan. Fasa cair yang hilang kedalam formasi batuan dinamakan filtrat. Fasa cair yang hilang kedalam formasi batuan akan menimbulkan sebuah partikel padatan-padatan yang menempel pada dinding lubang bor yang dinamakan mud cake atau filtrat cake. Kenaikan temperatur dapat menyebabkan nilai *filtration loss* menjadi besar dan membuat mud cake yang cukup tebal. Perubahan *filtration* terhadap berbagai temperatur dapat dilihat pada tabel 4.14 dibawah ini.

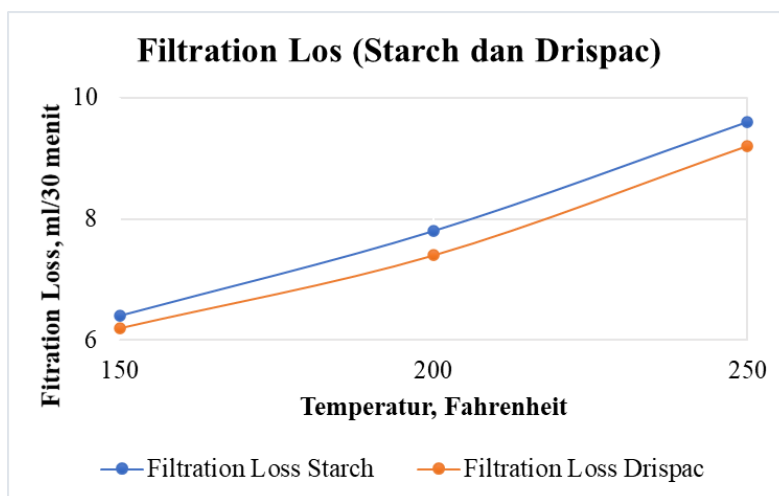
Tabel 4. 14 Hasil Pengukuran *Filtration Loss* Terhadap Temperatur

Jenis Polymer	Temperatur (°F)			Satuan
	150	200	250	
Starch	6,4	7,8	9,6	ml
Drispac	6,2	7,4	9,2	ml

Tabel 4.14 menunjukkan setiap kenaikan temperatur maka nilai *filtration loss* pada lumpur meningkat dikarenakan lumpur menjadi encer sehingga fasa cair dalam lumpur lebih mudah masuk kedalam pori-pori formasi batuan. Pada temperatur 150°F sampel lumpur yang mengandung starch nilai *filtration loss* sebesar 6,4 ml dan lumpur yang mengandung drispac nilai *filtration loss* sebesar 6,2 ml. Pada temperatur 200°F sampel lumpur yang mengandung starch nilai *filtration loss* sebesar 7,8 ml dan lumpur yang mengandung drispac nilai *filtration loss* sebesar 7,4 ml. Pada temperatur 250°F sampel lumpur yang mengandung starch nilai *filtration loss* sebesar 9,6 ml dan lumpur yang mengandung drispac nilai *filtration loss* sebesar 9,2 ml.

Pada temperatur 150°F, 200°F, dan 250°F sampel lumpur yang mengandung starch dan drispac nilai *filtration loss* sesuai dari standar spesifikasi lumpur yang ditunjukkan pada tabel 4.3. Pada temperatur 200°F dan 250°F Lumpur yang mengandung starch dan drispac dilakukan *treatment* tambahan untuk menjaga nilai dari densitas, plastik viskositas, dan *yield point*. *Treatment* tambahan yang dilakukan pada kedua sampel lumpur dengan cara penambahan bentonite, starch, drispac, dan barite. Penambahan bahan tersebut dapat menyebabkan perubahan nilai *filtration loss* pada kedua sampel lumpur. Perubahan nilai *filtration loss* terjadi setelah penambahan bahan dikarenakan sampel

lumpur ditambahkan bentonite yang merupakan padatan yang berfungsi untuk membuat viskositas lumpur dan dapat membantu mengurangi fasa air pada lumpur masuk kedalam pori-pori formasi batuan dan penambahan *polymer starch* dan *polymer drispac* untuk meningkatkan viskositas lumpur serta mengurangi fasa air dalam lumpur masuk kedalam pori-pori formasi batuan. Grafik perubahan filtration terhadap berbagai temperatur dapat dilihat pada gambar 4.13.



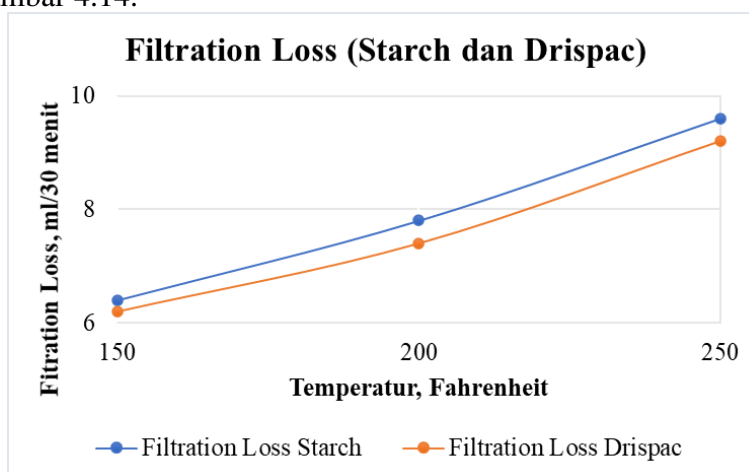
Gambar 4. 13 Grafik Perubahan *Filtration Loss* Terhadap Temperatur

Perubahan *filtration loss* ditunjukkan pada tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Hasil Pengukuran *Filtration Loss* Setelah Penambahan Bahan

Jenis Polymer	Temperatur (°F)			Satuan
	150	200	250	
Starch	6,4	5,8	2,4	ml
Drispac	6,2	5,6	2,2	ml

Grafik perubahan nilai *filtration loss* pada kedua sampel lumpur setelah penambahan bahan dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Grafik Hasil Pengukuran *Filtration Loss* Setelah Penambahan Bahan

Pada gambar 4.14 menunjukkan hasil *filtration loss* pada kedua sampel lumpur mengalami penurunan dikarenakan ditambahkan kandungan padatan dan polymer kedalam masing-masing lumpur sehingga lumpur menjadi kental dan fraksi air dalam lumpur menjadi berkurang. Kedua tersebut selain membentuk viskositas juga memiliki kemampuan untuk mengontrol *filtration loss*. Lumpur yang kental membuat fasa air yang ada dalam lumpur masuk kedalam pori-pori formasi batuan menjadi sulit serta dipengaruhi juga penambahan polymer seperti starch dan drispac yang kedua *polymer* tersebut memiliki fungsi untuk mengontrol filtrat lumpur agar tidak masuk kedalam pori-pori batuan secara berlebihan. Penambahan starch dan drispac juga berpengaruh terhadap kekentalan dari lumpur. Peningkatan penurunan nilai *filtration loss* dapat dilakukan dengan menambah konsentrasi dari starch dan drispac. Pada temperatur 150°F sampel lumpur yang mengandung starch dan *natural polymer* drispac tidak mengalami perubahan nilai *filtration loss* dikarenakan tidak ditambahkan bahan kedalam lumpur. Pada temperatur 200°F sampel lumpur yang mengandung starch nilai *filtration loss* sebesar 5,8 ml dan lumpur yang mengandung drispac nilai *filtration loss* sebesar 5,6 ml. Pada temperatur 250°F sampel lumpur yang mengandung starch nilai *filtration loss* sebesar 2,4 ml dan lumpur yang mengandung drispac nilai *filtration loss* sebesar 2,2 ml.

IV.2.1 Pengangkatan *Cutting* Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 150°F

Setelah melakukan percobaan di laboratoroum sampel lumpur KCL Polymer (starch dan drispac) akan dilakukan pengujian perhitungan pengangkatan *cutting*. Pengujian disini dilakukan untuk mengetahui seberapa optimalkan sample lumpur tersebut jika diuji pada saat proses pengangkatan *cutting* di sumur pemboran. Data yang dibutuhkan dalam perhitungan *cutting* trayek 12-1/4" untuk lumpur yang mengandung sample lumpur starch pada temperatur 150°F dapat ditunjukkan pada tabel IV.16 dibawah ini.

Tabel 4. 16 Data Perhitungan Pengangkatan *Cutting* Lumpur KCL Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 150°F

Nama Data	Nilai	Satuan
Kedalaman Sumur (MD/TVD)	1500/1424	ft
Lubang Sumur	12,25	inch
Inklinasi Sumur	37,19	derajat
Densitas Lumpur	9,10	ppg
Plastik Viskositas Lumpur	16	cp
<i>Yield point</i> Lumpur	19	lbs/100sqft
n (Flow Behaviour Index)	0,54	fraksi
K (<i>Power law</i> Constant)	1,18	fraksi
Kcci	605,74	cp
Densitas <i>Cutting</i>	21,6	ppg
Diameter <i>Cutting</i>	0,5	inch
Cconc	4,98	%
RPM	75	rpm
ROP (<i>Rate of Penetration</i>)	280	ft/hr
Laju Alir Pompa	835	gpm

Tabel 4.17 merupakan data perhitungan *cutting* pada sample lumpur KCl Polymer (Drispac) pada Trayek 17 ½ Inchi pada Temperatur 150°F

Tabel 4. 17 Data Perhitungan Pengangkatan *Cutting* Lumpur KCL Polymer (Drispac) Trayek 17-1/2
Pada Temperatur 150°F

Nama Data	Nilai	Satuan
Kedalaman Sumur (MD/TVD)	1500/1424	ft
Lubang Sumur	12,25	inch
Inklinasi Sumur	37,19	derajat
Densitas Lumpur	9	ppg
Plastik Viskositas Lumpur	18	cp
<i>Yield point</i> Lumpur	20	lbs/100sqft
n (Flow Behaviour Index)	0,56	fraksi
K (<i>Power law</i> Constant)	1,16	fraksi
Kcci	594,18	cp
Densitas <i>Cutting</i>	18,4093	ppg
Diameter <i>Cutting</i>	0,1	inch
Cconc	1,076650	%
RPM	36	rpm
ROP (<i>Rate of Penetration</i>)	60,27	ft/hr
Laju Alir Pompa	835	gpm

Dari tabel 4.16 dan 4.17 selanjutnya akan dilakukan perhitungan Vann, annular viskositas, Vcrit, dan jenis alirannya pada masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) untuk menentukan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*). Perhitungan Vann, annular viskositas, Vcrit, dan jenis alirannya terhadap masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) trayek 17-1/2” dengan temperatur 150°F menggunakan sampel lumpur yang sudah dilakukan *treatment* tambahan dengan cara menambahkan komposisi seperti bentonite, starch atau drispac, dan barite. Hasil perhitungan Vann, annular viskositas, Vcrit, dan jenis alirannya terhadap masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) pada sampel lumpur KCl starch trayek 17-1/2” dengan temperatur 150 °F dapat ditunjukkan pada tabel 4.18 dan 4.19.

Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan Vann, Annular Viskositas, Vcrit, dan Jenis Aliran Sampel Lumpur
KCl Polymer (Starch) Trayek 17-1/2” Pada Temperatur 150 °F

BHA	OD, inchi	Vann, ft/s	Vcrit, ft/s	Annular Viskositas, cp	Jenis Aliran
SperryDrill Lobe + Stabilizer	8	3,962	3,839	525,810	Laminar
Float Sub	8	3,962	3,839	525,810	Laminar
X-Over Sub	8	3,962	3,839	525,810	Laminar
NMDC	6 1/2	3,163	3,559	721,621	Laminar
EM Repeater Sub + EMT DTU Insert	6 3/4	3,263	3,599	689,596	Laminar
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	6 3/4	3,263	3,599	689,596	Laminar
HWDP	5	2,726	3,359	906,538	Laminar

Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan Vann, Annular Viskositas, Vcrit, dan Jenis Aliran Sampel Lumpur KCl Polymer (Driscac) Trayek 17-1/2” Pada Temperatur 150°F (lanjutan)

BHA	OD, inchi	Vann, ft/s	Vcrit, ft/s	Annular Viskositas, cp	Jenis Aliran
Sperry Sledgehammer					
Jar	6 1/2	3,163	3,559	721,621	Laminar
HWDP	5	2,726	3,359	906,538	Laminar
X-Over Sub	6 3/4	3,263	3,599	689,596	Laminar
DP* (OH)	4 1/2	2,627	3,303	964,891	Laminar
DP* (CH) (Casing DP)	4 1/2	2,614	3,301	969,494	Laminar
SperryDrill Lobe +					
Stabilizer	8	3,962	3,865	525,810	Laminar
Float Sub	8	3,962	3,865	525,810	Laminar
X-Over Sub	8	3,962	3,865	525,810	Laminar
NMDC	6 1/2	3,163	3,584	721,621	Laminar
EM Repeater Sub +					
EMT DTU Insert	6 3/4	3,263	3,624	689,596	Laminar
EM Antena Sub +					
EMT-DTU Insert	6 3/4	3,263	3,624	689,596	Laminar
HWDP	5	2,726	3,382	906,538	Laminar

Pada tabel 4.18 dan tabel 4.19 terlihat bahwa nilai Vann pada sampel lumpur yang mengandung starch dan sampel lumpur drispac bernilai sama yaitu berkisar 2,614 ft/s sampai dengan 3,962 ft/s. Pada nilai Vann kedua sampel lumpur sama dikarenakan parameter yang digunakan untuk perhitungan Vann bernilai sama. Parameter yang mempengaruhi nilai Vann adalah laju alir pompa, diameter luar BHA (*Bottom Hole Assembly*), dan diameter lubang sumur. Pada masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) nilai Vann berbeda-beda dikarenakan ukuran diameter luar pipa berbeda, semakin besar ukuran diameter luar pipa maka Vann semakin besar dan sebaliknya. Peningkatan diameter luar pipa BHA (*Bottom Hole Assembly*) akan menyebabkan diameter annulus semakin mengecil dan laju aliran didalam annulus semakin membesar. Perhitungan Vann dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada bab 2.

Pada tabel 4.18 dan tabel 4.19 terlihat bahwa nilai Vcrit pada sampel lumpur starch dan sampel lumpur drispac bernilai berbeda yaitu pada sampel lumpur starch nilai Vcrit berkisar 4,104 ft/s sampai dengan 5,140 ft/s sedangkan pada sampel lumpur drispac nilai Vcrit berkisar 4,274 ft/s sampai dengan 5,403 ft/s. perbedaan nilai Vcrit tersebut dari kedua sampel lumpur dikarenakan nilai indeks kelakuan aliran, densitas lumpur, dan nilai konstanta *power law* berbeda. Nilai yang mempengaruhi indeks kelakuan aliran dan nilai konstanta *power law* adalah plastik viskositas dan *yield point*.

Pada tabel 4.18 dan tabel 4.19 terlihat bahwa nilai annular viskositas pada sampel lumpur starch dan sampel lumpur drispac bernilai berbeda yaitu pada sampel lumpur yang starch nilai annular viskositas berkisar 450,36 cp sampai dengan 717,83 cp sedangkan pada sampel lumpur drispac nilai annular viskositas berkisar 445,88 cp sampai dengan 699 cp. Nilai yang mempengaruhi annular viskositas adalah Vann, indeks kelakuan aliran, konstanta *power law* dan diameter lubang annulus. Perhitungan annular viskositas dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan pada bab 2.

Pada tabel 4.18 dan tabel 4.19 terlihat bahwa pola aliran dari masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) adalah laminar, hal tersebut terjadi karena nilai pada Vann masih lebih rendah dengan nilai

Vcrit dari masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*). Jenis aliran bergantung dengan nilai Vann dan Vcrit. Meningkatnya nilai Vann dipengaruhi oleh peningkatan laju alir pompa dan kecilnya diameter lubang annulus. Faktor yang mempengaruhi nilai Vcrit adalah densitas lumpur, plastik viskositas, dan *yield point*. Pola aliran turbulen sangat dihindarkan pada saat pemboran dikarenakan dapat menyebabkan erosi pada lubang dinding bor.

Dari tabel 4.18 dan 4.19 selanjutnya akan dilakukan perhitungan Nre partikel, Vslip, dan Vslip koreksi terhadap masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) untuk menentukan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*). Hasil perhitungan tersebut dari sampel lumpur yang mengandung starch dapat dilihat pada tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan Nre Partikel, Vslip, dan Vslip koreksi Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 17-1/2” Pada Temperatur 150 °F

BHA	Nre partikel	Vslip, ft/s	Vslip koreksi, ft/s
SperryDrill Lobe + Stabilizer	5,389	0,490	0,827
Float Sub	5,389	0,490	0,828
X-Over Sub	5,389	0,490	0,830
NMDC	3,327	0,452	0,766
EM Repeater Sub + EMT DTU Insert	3,565	0,457	0,791
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	3,565	0,457	0,792
HWDP	2,350	0,380	0,682
Sperry Sledgehammer Jar	3,327	0,452	0,822
HWDP	2,350	0,380	0,702
X-Over Sub	3,565	0,457	0,855
DP* (OH)	2,137	0,362	0,695
DP* (CH)	2,121	0,361	0,685

Hasil perhitungan Nre partikel, Vslip, dan Vslip koreksi terhadap masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) dari sampel lumpur drispac dapat dilihat pada tabel 4.21.

Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan Nre Partikel, Vslip, dan Vslip koreksi Sampel Lumpur KCL Polymer (Drispac) Trayek 17-1/2" Pada Temperatur 150 °F

BHA	Nre partikel	Vslip, ft/s	Vslip koreksi, ft/s
SperryDrill Lobe			
+ Stabilizer	5,481	0,496	0,830
Float Sub	5,481	0,496	0,831
X-Over Sub	5,481	0,496	0,833
NMDC	3,442	0,459	0,771
EM Repeater Sub			
+ EMT DTU			
Insert	3,679	0,464	0,796
EM Antena Sub +			
EMT-DTU Insert	3,679	0,464	0,797
HWDP	2,461	0,392	0,698
Sperry			
Sledgehammer Jar	3,442	0,459	0,828
HWDP	2,461	0,392	0,719
X-Over Sub	3,679	0,464	0,861
DP* (OH)	2,246	0,375	0,714
DP* (CH)	2,230	0,373	0,703

Pada tabel 4.20 dan tabel 4.21 terlihat bahwa nilai Nre partikel terdapat beberapa variasi sehingga pada setiap rangkaian memiliki nilai yang berbeda, maka dari itu jenis aliran berdasarkan pada NRE memiliki pola aliran yang berbeda pada setiap rangkainnya yaitu terdapat dua yaitu pola transisi dan pola laminar. Nilai Nre partikel dari sampel lumpur starch berkisar 2,121 sampai dengan 5,389. Nilai Nre partikel dari sampel lumpur drispac berkisar 2,230 sampai dengan 5,481. Faktor yang mempengaruhi nilai Nre partikel adalah densitas lumpur, Vslip, diameter *cutting* dan viskositas annular. Peningkatan nilai annular viskositas dapat menurunkan nilai Nre partikel, hal tersebut dikarenakan semakin kental lumpur didalam annulus maka *cutting* yang ada didalam annulus bergerak sejajar. Pergerakan *cutting* tersebut menandakan pola aliran laminar. Penurunan nilai Nre partikel dapat membuat pola aliran menjadi laminar. Perhitungan Nre partikel pada penelitian ini menggunakan Vslip laminar dikarenakan pola aliran kedua sampel lumpur adalah laminar, perhitungan tersebut dapat dilihat pada persamaan pada bab 2 Pada penelitian ini nilai diameter *cutting* sama dari kedua sampel lumpur sehingga tidak berpengaruh dalam perhitungan Nre partikel.

Nilai Vslip pada sampel lumpur starch berkisar 0,361 ft/s sampai dengan 0,49 ft/s. Nilai Vslip pada sampel lumpur drispac berkisar 0,373 ft/s sampai dengan 0,496 ft/s. Perhitungan tersebut menggunakan perhitungan slip velocity berdasarkan jenis aliran pada NRE pada masing masing rangkaian, pada sample ini terdapat dua pola aliran yaitu aliran transisi dan laminar, ini dipengaruhi oleh adanya diameter *cutting*, densitas *cutting*, densitas lumpur, dan nilai annular viskositas. Pada perhitungan Vslip peningkatan nilai annular viskositas berpengaruh terhadap nilai kecepatan slip (Vslip) dikarenakan kekentalan lumpur didalam annulus (annular viskositas) dapat menurunkan nilai kecepatan kritik lumpur untuk mengangkat *cutting* keatas permukaan (Vslip). Nilai annular viskositas berbanding terbalik dengan Vslip hal tersebut dapat dilihat pada persamaan pada bab 2, semakin besar nilai viskositas annular maka semakin kecil nilai Vslip dan sebaliknya. Penurunan nilai Vslip menandakan bahwa perbedaan antara kecepatan minimum fluida didalam annulus agar *cutting* dapat terangkat keatas permukaan (V_{min}) dengan kecepatan *cutting* didalam annulus (V_{cut}) semakin

mengecil dan sebaliknya. Nilai V_{slip} yang kecil hal yang diharapkan dikarenakan V_{cut} mendekati dengan kecepatan V_{min} , *cutting* sudah terangkat keatas permukaan dengan mendekati kecepatan lumpur di annulus yang menandakan lumpur tersebut kental dan kecepatan *transport cutting* meningkat.

Pada trayek ini sudut inklinasi sumur kurang dari 45° oleh sebab itu harus dilakukan perhitungan pengkoreksian V_{slip} , perhitungan V_{slip} koreksi kurang dari 45° dapat dilihat pada persamaan pada bab 2. Nilai V_{slip} koreksi dari sampel lumpur starch berkisar 0,068 ft/s sampai dengan 0,252 ft/s. Nilai V_{slip} koreksi dari lumpur drispac berkisar 0,682 ft/s sampai dengan 0,855 ft/s. Perbedaan nilai V_{slip} koreksi dipengaruhi oleh V_{slip} , RPM, sudut inklinasi sumur, dan densitas lumpur. Pada sampel lumpur drispac nilai V_{slip} koreksi lebih besar dibandingkan sampel lumpur starch, hal ini dikarenakan nilai V_{slip} pada sampel lumpur drispac memiliki komposisi lebih besar dibandingkan nilai V_{slip} pada sampel lumpur starch.

Pada tabel 4.20 dan tabel 4.21 selanjutnya akan dilakukan perhitungan nilai *annular area point*, Q_{min} , dan V_{min} . Nilai tersebut akan dibutuhkan dalam perhitungan nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*). Perhitungan nilai *annular area point* dapat digunakan pada persamaan 2.21, perhitungan nilai Q_{min} dapat digunakan persamaan 2.22, dan perhitungan nilai V_{min} dapat digunakan pada persamaan 2.24. Hasil perhitungan nilai *annular area point*, Q_{min} (laju alir minimum), dan V_{min} (kecepatan minimum) dari sampel lumpur KCl Polymer yang mengandung natural polymer starch pada trayek 17-1/2" dengan temperatur 150°F dapat ditunjukkan pada tabel 4.22 dibawah ini.

Tabel 4. 22 Hasil Perhitungan Annular Area Point, V_{min} , dan Q_{min} Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 17-1/2" Pada Temperatur 150°F

BHA	<i>Annular Area Point</i> , bbl/ft	V_{min} , ft/s	Q_{min} , gpm
SperryDrill Lobe + Stabilizer	0,084	3,548171	747,5407
Float Sub	0,084	3,549454	747,811
X-Over Sub	0,084	3,551236	748,1865
NMDC	0,105	2,938204	775,4744
EM Repeater Sub + EMT DTU Insert	0,102	3,031707	775,5681
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	0,102	3,033238	775,9596
HWDP	0,121	2,554314	782,0199
Sperry Sledgehammer Jar	0,105	2,994474	790,3256
HWDP	0,121	2,574718	788,2668
X-Over Sub	0,102	3,096267	792,0836
DP* (OH)	0,126	2,499597	794,3336
DP* (CH)	0,127	2,488005	794,3842

Hasil perhitungan nilai *annular area point*, Q_{min} , dan V_{min} dari sampel lumpur yang mengandung *natural polymer* drispac dapat ditunjukkan pada tabel 4.23.

Tabel 4. 23 Hasil Perhitungan Annular Area Point, Vmin, dan Qmin Sampel Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 17-1/2" Pada Temperatur 150°F

BHA	Annular Area Point, bbl/ft	Vmin, ft/s	Qmin, gpm
SperryDrill Lobe + Stabilizer	0,084	3,551503	748,2427
Float Sub	0,084	3,552791	748,5141
X-Over Sub	0,084	3,55458	748,8911
NMDC	0,105	2,943493	776,8701
EM Repeater Sub + EMT DTU Insert	0,102	3,036839	776,881
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	0,102	3,03838	777,275
HWDP	0,121	2,571173	787,1814
Sperry Sledgehammer Jar	0,105	3,000151	791,8238
HWDP	0,121	2,592082	793,5828
X-Over Sub	0,102	3,101818	793,5037
DP* (OH)	0,126	2,518005	800,1832
DP* (CH)	0,127	2,506227	800,2021

Pada tabel 4.22 dan tabel 4.23 menunjukkan nilai *annular area point* dari kedua sampel lumpur bernilai sama yaitu berkisar 0,084bbl/ft sampai dengan 0,127 bbl/ft. Faktor penyebab *annular area point* bernilai sama dikarenakan kedua sampel lumpur yang diteliti menggunakan BHA (*Bottom Hole Assembly*) yang sama. Nilai *annular area point* berpengaruh terhadap diameter lubang annulus, semakin besar diameter annulus maka semakin besar nilai annular point dan sebaliknya. Diameter annulus dipengaruhi oleh *outer* diameter masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*), semakin besar *outer* diameter dari BHA (*Bottom Hole Assembly*) maka semakin kecil diameter annulus dan sebaliknya. Perhitungan *annular area point* dapat digunakan pada persamaan pada bab 2

Pada tabel 4.22 dan tabel 4.23 menunjukkan nilai Vmin dari kedua sampel lumpur bernilai berbeda dikarenakan nilai Vslip koreksi dari kedua sampel lumpur memiliki hasil yang berbeda. Faktor yang mempengaruhi nilai Vmin terletak pada nilai Vslip koreksi, semakin besar nilai Vslip koreksi maka semakin besar nilai Vmin. Nilai Vmin dari sampel lumpur yang mengandung starch berkisar 2,488 ft/s sampai dengan 3,5512 ft/s. Nilai Vmin dari sampel lumpur yang mengandung drispac berkisar 2,506 ft/s sampai dengan 3,554 ft/s. Nilai Vmin dari kedua sampel lumpur tersebut memiliki perbedaan yang cukup kecil ini dapat disebabkan dengan kondisi sample lumpur yang digunakan, untuk sample drispac memiliki kondisi lebih sedikit viscous dengan sample lumpur starch sehingga menghasilkan nilai yang berbeda pada kedua sample tersebut.

Pada tabel 4.22 dan tabel 4.23 menunjukkan nilai Qmin yang berbeda. Nilai Qmin bergantung pada *annular area point* dan Vmin, semakin kecil Vmin dan *annular area point* maka semakin kecil juga nilai Qmin dan sebaliknya. Perhitungan Qmin dapat digunakan pada persamaan yang terdapat pada bab . Nilai Qmin dari sampel lumpur starch berkisar 747,54 gpm sampai dengan 794,34 gpm. Nilai Qmin dari sampel lumpur drispac berkisar 748,24 gpm sampai dengan 800,20 gpm. Nilai Qmin dari sampel lumpur starch lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur drispac dikarenakan pada trayek ini sampel lumpur drispac lebih kental dibandingkan dengan sampel lumpur starch sehingga laju alir pompa minimum pada sampel lumpur starch harus lebih tinggi agar pengangkatan *cutting* optimal dan kandungan konsentrasi *cutting* didalam annulus menjadi berkurang.

Hubungan perhitungan *annular area point*, V_{min} , dan Q_{min} terdapat pada metode CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) adalah untuk mengurangi konsentrasi kandungan *cutting* didalam annulus, dalam mencapai tersebut harus diperlukan kecepatan minimum lumpur (V_{min}) dan diperlukan laju alir pompa minimum (Q_{min}) agar *cutting* tersebut terangkat keatas permukaan dengan optimal. *Annular area point* berpengaruh terhadap Q_{min} , semakin besar *annular area point* maka nilai Q_{min} semakin besar. Dari tabel 4.16 dan tabel 4.17 terhadap tabel 4.22 dan tabel 4.23 menunjukkan bahwa dengan menggunakan laju alir pompa sebesar 835 GPM pada trayek ini sudah melewati batas minimum laju alir pompa yang ditunjukkan pada tabel 4.22 dan tabel 4.23 sehingga dengan laju alir pompa 835 GPM pada trayek ini sudah mampu mengangkat *cutting* keatas permukaan dengan optimal.

Dari hasil perhitungan V_{ann} dan V_{slip} koreksi, n , *annular area point*, V_{min} dan Q_{min} dapat menentukan perhitungan metode pengangkatan *cutting* yaitu CTR (*Cutting Transport Ratio*) dan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) , dan Hasil perhitungan pengangkatan CTR (*Cutting Transport Ratio*) dan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) pada trayek 12-1/4" dengan temperatur 150°F dari sampel lumpur starch dapat ditunjukkan pada tabel 4.24.

Tabel 4. 24 Hasil Perhitunagan Cutting Sample Lumpur KCl Polymer (Starch) Pada Trayek 12-1/4 " Pada Temperatur 150 °F

BHA	CTR	CCA
SperryDrill Lobe + Stabilizer	79,130	4,832
Float Sub	79,097	4,832
X-Over Sub	79,052	4,833
NMDC	75,783	4,864

Tabel IV.24 Hasil Perhitunagan Cutting Sample Lumpur KCl Polymer (Starch) Pada Trayek 12-1/4 " Pada Temperatur 150 °F (Lanjutan)

BHA	CTR	CCA
EM Repeater Sub + EMT DTU Insert	75,772	4,864
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	75,725	4,864
HWDP	74,999	4,873
Sperry Sledgehammer Jar	74,004	4,887
HWDP	74,251	4,884
X-Over Sub	73,793	4,890
DP* (OH)	73,524	4,894
DP* (CH)	73,798	4,896

Hasil perhitungan pengangkatan *cutting* CTR (*Cutting Transport Ratio*) dan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) pada trayek 12-1/4" dengan temperatur 150°F dari sampel lumpur yang mengandung *natural polymer* drispac dapat ditunjukkan pada tabel 4.25.

Tabel 4. 25 Hasil Perhitungan Cutting Sample Lumpur KCl Polymer (Drispac) Pada Trayek 12-1/4”
Pada Temperatur 150 °F

BHA	CTR	CCA
SperryDrill Lobe + Stabilizer	79,046	4,833
Float Sub	79,013	4,833
X-Over Sub	78,968	4,833
NMDC	75,616	4,866
EM Repeater Sub + EMT DTU Insert	75,615	4,866
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	75,567	4,866
HWDP	74,381	4,882
Sperry Sledgehammer Jar	73,824	4,890
HWDP	73,614	4,893
X-Over Sub	73,623	4,893
DP* (OH)	72,823	4,905
DP* (CH)	73,101	4,906

Pada tabel 4.24 dan tabel 4.25 menunjukkan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) pada sampel lumpur yang mengandung starch berkisar 73,524 % sampai dengan 79,130 %. Nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) pada sampel lumpur yang mengandung drispac berkisar 72,823 % sampai dengan 79,046 %. Faktor yang menyebabkan peningkatan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) adalah Vslip koreksi yang bernilai kecil dan nilai Vann. Vslip koreksi yang bernilai kecil didapatkan dari nilai annular viskositas yang bernilai besar, hal tersebut dikarenakan apabila lumpur yang didalam annulus semakin kental maka dapat meningkatkan kecepatan pengangkatan *cutting*. Faktor yang mempengaruhi nilai annular viskositas adalah nilai indeks kelakuan aliran, konstanta *power law*, ukuran lubang annulus, dan Vann. Nilai indeks kelakuan aliran yang kecil dan besarnya konstanta *power law* dapat menyebabkan meningkatnya nilai annular viskositas sehingga dapat meningkat nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*). Sampel lumpur starch nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur yang mengandung drispac, hal tersebut dikarenakan nilai konstanta *power law* sampel lumpur yang mengandung *natural polymer* starch lebih besar yaitu 1,18 dan sampel lumpur yang mengandung drispac lebih kecil yaitu 1,16. Nilai konstanta *power law* dipengaruhi dari nilai plastikviskositas, *yield point*, dan indeks kelakuan aliran dari sampel lumpur. Pada kedua lumpur tersebut sudah mampu mengangkat *cutting* keatas permukaan dengan optimal dikarenakan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) lebih dari 90 %.

Pada hasil perhitungan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) dipengaruhi dari faktor perhitungan CTR (*Cutting Transport Ratio*), Q (laju alir pompa), dan ROP (*Rate of Penetration*). Nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) dari sampel lumpur starch berkisar 4,832 % sampai dengan 4,896 %. Nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) dari sampel lumpur drispac berkisar 4,833 % sampai dengan 4,906 %. Dari hasil nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) pada sampel lumpur starch memiliki hasil lebih besar dibandingkan sampel lumpur drispac sehingga penggunaan drispac pada trayek 12-1/4” dengan temperatur 150°F lebih unggul jika di bandingkan dengan sample lumpur starch. Peningkatan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) dapat mengurangi nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*), dengan meningkatnya kecepatan transport *cutting* maka akan membersihkan lubang sumur dari *cutting* sehingga konsentrasi kandungan *cutting* dalam lubang sumur

menjadi berkurang dan pembersihan sudah optimal. Faktor ROP (*Rate of Penetration*) dan Q (laju alir pompa) tidak berpengaruh dalam proses pengangkatan *cutting* pada penelitian ini dikarenakan penggunaan ROP (*Rate of Penetration*) dan Q (laju alir pompa) kedua sampel lumpur yang diteliti adalah sama. Nilai PV (Plastik Viskositas), YP (*Yield Point*), dan densitas dari lumpur sangat berpengaruh terhadap perhitungan CCA, hal tersebut dikarenakan apabila nilai PV (Plastik Viskositas), YP (*Yield Point*), dan densitas lumpur semakin besar akan mempengaruhi penurunan nilai Vslip dan peningkatan annular viskositas yang menyebabkan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) semakin besar dan nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) semakin menurun. Dalam trayek ini lumpur yang memiliki nilai Vslip yang lebih besar adalah sampel lumpur starch dibandingkan dengan sampel lumpur drispac sehingga nilai CCA yang lebih kecil adalah sampel lumpur drispac. Pada kedua lumpur tersebut sudah mampu mengangkat *cutting* keatas permukaan dengan optimal dikarenakan nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) kurang dari 5 %.

IV.2.2 Pengangkatan *Cutting* Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 200°F

Kedua sampel akan dilakukan perhitungan pengangkatan *cutting* dengan menggunakan metode CTR (*Cutting Transport Ratio*), dan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*). Perhitungan tersebut dilakukan pada trayek 12-1/4" dengan temperatur 200°F. Data yang dibutuhkan untuk perhitungan pengangkatan *cutting* dapat dilihat pada tabel 4.26 dan 4.27.

Tabel 4. 26 Data Perhitungan Pengangkatan *Cutting* Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" pada Temperatur 200°F

Nama Data	Nilai	Satuan
Kedalaman Sumur (MD/TVD)	1821/1667	ft
Lubang Sumur	12,25	inch
Inklinasi Sumur	43,48	derajat
Densitas Lumpur	10	ppg
Plastik Viskositas Lumpur	33	cp
<i>Yield Point</i> Lumpur	21	lbs/100sqft
n (Flow Behaviour Index)	0,688	fraksi
K (<i>Power law Constant</i>)	0,741	fraksi
Kcci	378,749	cp
Densitas <i>Cutting</i>	21,6	ppg
Diameter <i>Cutting</i>	0,5	inch
Cconc	4,983	%
RPM	80	rpm
ROP (<i>Rate of Penetration</i>)	280	ft/hr
Laju Alir Pompa	910	gpm
Kedalaman Sumur (MD/TVD)	1821/1667	ft
Lubang Sumur	12,25	inch
Inklinasi Sumur	43,48	derajat
Densitas Lumpur	9.9	ppg
Plastik Viskositas Lumpur	35	cp
<i>Yield Point</i> Lumpur	24	lbs/100sqft
n (Flow Behaviour Index)	0,672	fraksi

Tabel 4. 27 Data Perhitungan Pengangkatan *Cutting* Lumpur KCl Polymer
(Driscap) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 200°F (lanjutan)

Nama Data	Nilai	Satuan
K (<i>Power law Constant</i>)	0,89	fraksi
Kcci	457,527	cp
Densitas <i>Cutting</i>	21,6	ppg
Diameter <i>Cutting</i>	0,5	inch
Cconc	4,983	%
RPM	80	rpm
ROP (<i>Rate of Penetration</i>)	280	ft/hr
Laju Alir Pompa	910	gpm

Dari tabel 4.26 dan tabel 4.27 selanjutnya dilakukan perhitungan Vann, Vcrit, dan Annular Viskositas untuk menentukan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*). Hasil perhitungan tersebut dari sampel lumpur starch dapat ditunjukkan pada tabel 4.28.

Tabel 4. 28 Hasil Perhitungan Vann, Annular Viskositas, Vcrit, dan Jenis Aliran Sampel Lumpur KCL Polymer (Starch) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 200 °F

BHA	OD, inchi	Vann, ft/s	Vcrit, ft/s	Annular Viskositas, cp	Jenis Aliran
SperryDrill Lobe + Stabilizer	8	4,318	11,071	296,741	Laminar
Float Sub	8	4,318	11,071	296,741	Laminar
X-Over Sub	8	4,318	11,071	296,741	Laminar
NMDC	6 1/2	3,447	14,979	349,902	Laminar
EM Repeater Sub + EMT DTU					Laminar
Insert	6 3/4	3,556	14,327	341,730	
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	6 3/4	3,556	14,327	341,730	Laminar
HWDP	5	2,971	18,886	394,025	Laminar
Sperry Sledgehammer Jar	6 1/2	3,447	14,979	349,902	Laminar
HWDP	5	2,971	18,886	394,025	Laminar
X-Over Sub	6 3/4	3,556	14,327	341,730	Laminar
DP* (OH)	4 1/2	2,862	20,188	407,030	Laminar
DP* (CH) (Casing DP)	4 1/2	2,849	20,254	408,040	Laminar

Hasil perhitungan Vann, Vcrit, Annular viskositas dan jenis aliran dari sampel lumpur driscap dapat ditunjukkan pada tabel 4.29.

Tabel 4. 29 Hasil Perhitungan Vann, Annular Viskositas, Vcrit, dan Jenis Aliran Sampel Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 200 °F

BHA	OD, inchi	Vann, ft/s	Vcrit, ft/s	Annular Viskositas, cp	Jenis Aliran
SperryDrill Lobe + Stabilizer	8	4,318	11,829	354,940	Laminar
Float Sub	8	4,318	11,829	354,940	Laminar
X-Over Sub	6 1/2	4,318	11,829	354,940	Laminar
NMDC	6 3/4	3,447	16,004	422,098	Laminar
EM Repeater Sub + EMT DTU Insert	6 3/4	3,556	15,308	411,738	Laminar
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	5	3,556	15,308	411,738	Laminar
HWDP	6 1/2	2,971	20,179	478,243	Laminar
Sperry Sledgehammer Jar	5	3,447	16,004	422,098	Laminar
HWDP	6 3/4	2,971	20,179	478,243	Laminar
X-Over Sub	8	3,556	15,308	411,738	Laminar
DP* (OH)	4 1/2	2,862	21,571	494,856	Laminar
DP* (CH) (Casing DP)	4 1/2	2,849	21,640	496,147	Laminar

Pada tabel 4.28 dan tabel 4.29 menunjukkan nilai Vann dari sampel lumpur starch dan dari sampel lumpur drispac bernilai sama. Persamaan nilai Vann dari kedua sampel lumpur dikarenakan laju alir pompa dan ukuran diameter annulus dari masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) yang digunakan pada penelitian ini adalah sama. Nilai Vann dari kedua sampel lumpur berkisar 2,849 ft/s sampai dengan 4,318 ft/s. Laju alir pompa berbanding lurus dengan nilai Vann sehingga semakin besar nilai laju alir pompa maka nilai Vann semakin besar. Diameter annulus pada masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) berbanding terbalik dengan nilai Vann sehingga semakin kecil diameter tersebut maka nilai Vann semakin besar.

Pada tabel 4.28 dan tabel 4.29 menunjukkan nilai Vcrit dari kedua sampel lumpur bernilai berbeda dikarenakan nilai dari konstanta *power law*, indeks kelakuan aliran dan densitas lumpur berbeda, nilai tersebut merupakan faktor yang dapat mempengaruhi nilai Vcrit. Dari sampel lumpur starch nilai Vcrit berkisar 11,071 ft/s sampai dengan 20,254 ft/s sedangkan dari sampel lumpur drispac nilai Vcrit berkisar 11,829 ft/s sampai dengan 21,640 ft/s. Nilai Vcrit pada sampel lumpur drispac lebih besar dibandingkan sampel lumpur starch dikarenakan nilai konstanta *power law* yang dihasilkan dari sampel lumpur drispac lebih besar yaitu 0,89 sedangkan pada sampel lumpur starch sebesar 0,74. Nilai konstanta *power law* dipengaruhi oleh plastik viskositas, *yield point*, dan indeks kelakuan aliran. Nilai plastik viskositas dan *yield* berbanding lurus dengan nilai konstanta *power law* sedangkan indeks kelakuan aliran berbanding terbalik dengan nilai konstanta *power law* sehingga dengan meningkatnya nilai plastik viskositas dan *yield point* serta dengan menurunnya indeks kelakuan aliran maka nilai konstanta *power law* semakin besar dan sebaliknya. Pernyataan tersebut dapat dilihat dari sampel lumpur starch nilai indeks kelakuan aliran lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur drispac yaitu sebesar 0,688 dan sampel lumpur drispac nilai indeks kelakuan aliran sebesar 0,672. Pernyataan

mengenai nilai plastik viskositas dan *yield point* terhadap nilai konstanta *power law* dapat dilihat bahwa nilai sampel lumpur drispac lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur starch yaitu pada plastik viskositas sebesar 35 cp dan *yield point* sebesar 24 lbs/100 sqft sedangkan sampel lumpur *natural polymer starch* nilai yaitu pada plastik viskositas sebesar 33 cp dan *yield point* sebesar 21 lbs/100sqft.

Pada tabel 4.28 dan tabel 4.29 menunjukkan nilai annular viskositas dari kedua sampel lumpur bernilai berbeda dikarenakan nilai dari konstanta *power law* dan indeks kelakuan aliran berbeda, nilai tersebut merupakan faktor yang dapat mempengaruhi nilai annular viscosity. Nilai annular viskositas dari sampel lumpur starch berkisar 296,741 cp sampai dengan 408,040 cp sedangkan nilai annular viskositas dari sampel lumpur drispac berkisar 354,940 cp sampai dengan 496,147 cp. Nilai annular viskositas dari sampel lumpur starch lebih kecil dibandingkan sampel lumpur drispac dikarenakan nilai sampel lumpur starch nilai konstanta *power law* dan indeks kelakuan aliran lebih kecil dibandingkan sampel lumpur drispac. Faktor yang mempengaruhi viskositas annular adalah plastik viskositas dan *yield point*, semakin besar nilai plastik viskositas dan *yield point* maka nilai viskositas annular semakin tinggi.

Dari nilai Vann dan Vcrit yang ditunjukkan pada tabel 4.28 dan tabel 4.29 pola aliran yang dihasilkan dari masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) adalah pola aliran laminar. Pola aliran laminar terbentuk dikarenakan nilai Vann yang rendah dibandingkan dengan nilai Vcrit. Nilai plastik viskositas, *yield point*, dan densitas berpengaruh terhadap perhitungan Vcrit sedangkan nilai laju alir pompa dan diameter annulus berpengaruh terhadap perhitungan Vann.

Dari tabel 4.28 dan tabel 4.29 selanjutnya akan dilakukan perhitungan Nre partikel, Vslip, dan Vslip koreksi terhadap masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) untuk menentukan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*). Hasil perhitungan tersebut dari sampel lumpur starch dapat dilihat pada tabel 4.30.

Tabel 4. 30 Hasil Perhitungan Nre Partikel, Vslip, dan Vslip koreksi Sampel Lumpur KCL Polymer (Starch) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 200 °F

BHA	Nre Partikel	Vslip, ft/s	Vslip koreksi, ft/s
SperryDrill Lobe			
+ Stabilizer	12,658	0,519	1,034
Float Sub	12,658	0,519	1,045
X-Over Sub	12,658	0,519	1,060
NMDC	9,104	0,491	1,012
EM Repeater Sub			
+ EMT DTU			
Insert	9,545	0,495	1,031
EM Antena Sub +			
EMT-DTU Insert	9,545	0,495	1,033
HWDP	7,179	0,472	0,995
Sperry			
Sledgehammer Jar	9,104	0,491	1,054
HWDP	7,179	0,472	1,029
X-Over Sub	9,545	0,495	1,091
DP* (OH)	6,728	0,467	1,045
DP* (CH) (Casing			
DP)	6,695	0,467	1,044

Hasil perhitungan Nre partikel, Vslip, dan Vslip koreksi terhadap masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) dari sampel lumpur yang mengandung *natural polymer* drispac dapat dilihat pada tabel 4.31 dibawah ini

Tabel 4. 31 Hasil Perhitungan Nre Partikel, Vslip, dan Vslip koreksi Sampel Lumpur KCL Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 200 °F

BHA	Nre Partikel	Vslip, ft/s	Vslip koreksi, ft/s
SperryDrill Lobe			
+ Stabilizer	8,834	0,493	0,975
Float Sub	8,834	0,493	0,986
X-Over Sub	8,834	0,493	1,000
NMDC	6,247	0,466	0,952
EM Repeater Sub			
+ EMT DTU			
Insert	6,565	0,469	0,970
EM Antena Sub +			
EMT-DTU Insert	6,565	0,469	0,972
HWDP	4,866	0,447	0,934
Sperry			
Sledgehammer Jar	6,247	0,466	0,992
HWDP	4,866	0,447	0,966
X-Over Sub	6,565	0,469	1,027
DP* (OH)	4,545	0,442	0,980
DP* (CH) (Casing			
DP)	4,521	0,441	0,979

Pada tabel 4.30 dan tabel 4.31 menunjukkan bahwa nilai Nre partikel sampel lumpur starch berkisar 6,695 sampai dengan 12,658 sedangkan nilai Nre partikel sampel lumpur drispac berkisar 4,521 sampai dengan 8,834. Nilai Nre partikel sampel lumpur starch lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur drispac dikarenakan nilai annular viskositas sampel lumpur starch lebih rendah dibandingkan sampel lumpur drispac. Annular viskositas, Vslip, densitas lumpur, dan diameter *cutting* merupakan faktor yang berpengaruh dalam perhitungan Nre partikel. Faktor yang mempengaruhi nilai annular viskositas adalah nilai indeks kelakuan aliran, konstanta *power law*, diameter annulus, dan Vann. Diameter annulus dan Vann tidak berpengaruh karena kedua sampel menggunakan data yang sama. Nilai indeks kelakuan aliran dan konstanta *power law* kedua sampel lumpur berbeda karena nilai plastik viskositas dan *yield point* kedua sampel lumpur berbeda. Annular viskositas berbanding terbalik dengan nilai Nre partikel sehingga semakin tinggi nilai annular viskositas akan menyebabkan nilai Nre partikel semakin rendah. Densitas lumpur, Vslip, dan diameter *cutting* berbanding lurus terhadap nilai Nre partikel.

Pada tabel 4.30 dan tabel 4.31 nilai Vslip sampel lumpur starch berkisar 0,467 ft/s sampai dengan 0,519 ft/s sedangkan sampel lumpur drispac nilai Vslip berkisar 0,441 ft/s sampai dengan 0,493 ft/s. nilai Vslip lumpur starch lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur drispac dikarenakan annular viskositas sampel lumpur starch lebih kecil dibandingkan dengan sampel lumpur drispac serta nilai densitas lumpur starch lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur drispac. Faktor yang mempengaruhi nilai Vslip adalah diameter *cutting*, densitas *cutting*, densitas lumpur, dan annular viskositas. Diameter *cutting* dan densitas *cutting* tidak berpengaruh dalam perhitungan pada penelitian

ini dikarenakan kedua sampel lumpur menggunakan data yang sama. Nilai densitas lumpur berbanding lurus dengan nilai Vslip sedangkan nilai annular viskositas berbanding terbalik dengan nilai Vslip. Meningkatnya nilai annular viskositas dapat mengurangi Vslip dikarenakan semakin kental lumpur di annulus dapat mengurangi kecepatan antara lumpur dan *cutting* didalam annulus sehingga nilai Vslip yang dihasilkan kecil. Pada trayek ini sumur berinklinasi kurang dari 45 derajat sehingga harus dilakukan pengkoreksian Vslip terhadap sudut inklinasi sumur tersebut. Nilai sampel lumpur starch Vslip koreksi berkisar 0,995 ft/s sampai dengan 1,091 ft/s sedangkan sampel lumpur drispac Vslip koreksi berkisar 0,934 ft/s sampai dengan 1,027 ft/s. Nilai Vslip koreksi sampel lumpur starch lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur drispac dikarenakan nilai densitas lumpur dan nilai Vslip sampel lumpur starch lebih besar dibandingkan sampel lumpur drispac. Nilai Vslip dan densitas lumpur berbanding lurus dengan nilai Vslip koreksi. Faktor lainnya peningkatan nilai Vslip koreksi adalah sudut inklinasi dan RPM namun pada penelitian ini tidak berpengaruh terhadap perhitungan karena kedua sampel lumpur menggunakan data yang sama. Sudut inklinasi dan RPM berbanding lurus dengan nilai Vslip koreksi.

Dari tabel 4.30 dan tabel 4.31 selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *annular area point*, Vmin (kecepatan minimum), dan Qmin (laju alir minimum) untuk menentukan nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) dari kedua sampel lumpur starch dan sampel lumpur drispac pada trayek 12-1/4" dengan temperatur 200°F. Hasil perhitungan nilai *annular area point*, Vmin (kecepatan minimum), dan Qmin (laju alir minimum) pada trayek 12-1/4" dengan temperatur 200°F dari sampel lumpur KCl Polymer yang mengandung *natural polymer* starch dapat ditunjukkan pada tabel 4.32 dibawah ini.

Tabel 4. 32 Hasil Perhitungan Annular Area Point, Vmin, dan Qmin Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 200°F

BHA	<i>Annular area point</i> , bbl/ft	Vmin, ft/s	Qmin, gpm
SperryDrill Lobe			
+ Stabilizer	0,084	3,755	791,170
Float Sub	0,084	3,766	793,469
X-Over Sub	0,084	3,782	796,717
NMDC	0,105	3,184	840,477
EM Repeater Sub			
+ EMT DTU			
Insert	0,102	3,272	837,021
EM Antena Sub +			
EMT-DTU Insert	0,102	3,274	837,613
HWDP	0,121	2,868	877,910
Sperry			
Sledgehammer Jar	0,105	3,227	851,599
HWDP	0,121	2,901	888,236
X-Over Sub	0,102	3,332	852,452
DP* (OH)	0,126	2,849	905,358
DP* (CH) (Casing			
DP)	0,127	2,847	908,993

Hasil perhitungan *annular area point*, V_{min} dan Q_{min} dari sampel lumpur drispac dapat ditunjukkan pada tabel 4.33 dibawah ini.

Tabel 4. 33 Hasil Perhitungan Annular Area Point, V_{min} , dan Q_{min} Sampel Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 200°F

BHA	<i>Annular area point</i> , bbl/ft	V_{min} , ft/s	Q_{min} , gpm
SperryDrill Lobe			
+ Stabilizer	0,084	3,697	778,837
Float Sub	0,084	3,707	781,005
X-Over Sub	0,084	3,722	784,069
NMDC	0,105	3,124	824,640
EM Repeater Sub			
+ EMT DTU			
Insert	0,102	3,211	821,489
EM Antena Sub +			
EMT-DTU Insert	0,102	3,213	822,046
HWDP	0,121	2,807	859,270
Sperry			
Sledgehammer Jar	0,105	3,164	835,102
HWDP	0,121	2,838	868,964
X-Over Sub	0,102	3,268	836,011
DP* (OH)	0,126	2,784	884,864
DP* (CH) (Casing			
DP)	0,127	2,782	888,407

Pada tabel 4.32 dan tabel 4.33 menunjukkan nilai *annular area point* dari kedua sampel lumpur bernilai sama yaitu berkisar 0,084 bbl/ft sampai dengan 0,127 bbl/ft. Faktor penyebab *annular area point* bernilai sama dikarenakan kedua sampel lumpur yang diteliti menggunakan BHA (*Bottom Hole Assembly*) yang sama. Nilai *annular area point* berpengaruh terhadap diameter lubang annulus, semakin besar diameter annulus maka semakin besar nilai annular point dan sebaliknya. diameter annulus dipengaruhi oleh ukuran dari outer diameter masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*), semakin besar outer diameter dari BHA (*Bottom Hole Assembly*) maka semakin kecil ukuran ruang annulus dan sebaliknya. Perhitungan *annular area point* dapat digunakan pada persamaan pada bab 2.

Pada tabel 4.32 dan tabel 4.33 menunjukkan nilai V_{min} dari kedua sampel lumpur bernilai berbeda dikarenakan nilai V_{slip} koreksi dari kedua sampel lumpur tersebut berbeda. Faktor yang mempengaruhi nilai V_{min} yaitu V_{slip} koreksi, OD BHA (*Bottom Hole Assembly*), diameter lubang sumur, ROP (*Rate of Penetration*), dan Cconc namun OD BHA (*Bottom Hole Assembly*), diameter lubang sumur, ROP (*Rate of Penetration*), dan Cconc tidak berpengaruh dalam perhitungan penelitian ini dikarenakan faktor tersebut menggunakan data yang sama pada kedua sampel lumpur. nilai V_{min} sampel lumpur starch berkisar 2,847 ft/s sampai dengan 3,782 ft/s sedangkan sampel lumpur drispac nilai V_{min} berkisar 2,782 ft/s sampai dengan 3,722 ft/s. nilai V_{slip} koreksi berbanding lurus dengan nilai V_{min} , semakin besar nilai V_{slip} koreksi maka nilai V_{min} semakin besar dan sebaliknya. Perhitungan nilai V_{min} dapat digunakan pada persamaan bab 2.

Pada tabel 4.32 dan tabel 4.33 menunjukkan nilai Q_{min} yang berbeda. Nilai Q_{min} bergantung pada *annular area point* dan V_{min} , semakin kecil V_{min} dan *annular area point* maka semakin kecil juga nilai Q_{min} dan sebaliknya. Perhitungan Q_{min} dapat digunakan pada persamaan II.22. Nilai Q_{min}

dari sampel lumpur starch berkisar 791,170 gpm sampai dengan 908,993 gpm. Nilai Qmin dari sampel lumpur drispac berkisar 778,837 gpm sampai dengan 888,407 gpm. Nilai Qmin dari sampel lumpur starch lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur drispac dikarenakan pada trayek ini sampel lumpur drispac lebih kental dibandingkan dengan sampel lumpur starch sehingga laju alir pompa minimum pada sampel lumpur starch harus lebih tinggi agar pengangkatan *cutting* optimal dan kandungan konsentrasi *cutting* didalam annulus menjadi berkurang.

Hubungan perhitungan *annular area point*, Vmin, dan Qmin pada metode CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) adalah untuk mengurangi konsentrasi kandungan *cutting* didalam annulus, dalam mencapai tersebut harus diperlukan kecepatan minimum lumpur (Vmin) dan diperlukan laju alir pompa minimum (Qmin) agar *cutting* tersebut terangkat keatas permukaan dengan optimal. *Annular area point* berpengaruh terhadap Qmin, semakin besar *annular area point* maka nilai Qmin semakin besar. Dari tabel 4.26 dan tabel 4.27 terhadap tabel 4.32 dan tabel 4.33 menunjukkan bahwa dengan menggunakan laju alir pompa sebesar 577,36 GPM pada trayek ini sudah melewati batas minimum laju alir pompa yang ditunjukkan pada tabel IV.33 dan tabel IV.34 sehingga dengan laju alir pompa 577,36 GPM pada trayek ini sudah mampu mengangkat *cutting* keatas permukaan dengan optimal.

Dari hasil perhitungan Vann dan Vslip koreksi, n, annular area point, Vmin dan Qmin dapat menentukan perhitungan metode pengangkatan *cutting* yaitu CTR (*Cutting Transport Ratio*) dan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*), dan Hasil perhitungan pengangkatan CTR (*Cutting Transport Ratio*) dan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) pada trayek 12-1/4" dengan temperatur 200°F dari sampel lumpur starch dapat ditunjukkan pada tabel 4.34.

Tabel 4. 34 Hasil Perhitungan Pengangkatan *Cutting* Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 200 °F

BHA	CTR, %	CCA, %
SperryDrill Lobe + Stabilizer	76,054	4,750
Float Sub	75,801	4,752
X-Over Sub	75,444	4,755
NMDC	70,633	4,815
EM Repeater Sub + EMT DTU		
Insert	71,013	4,809
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	70,948	4,810
HWDP	66,518	4,895
Sperry Sledgehammer Jar	69,410	4,836
HWDP	65,383	4,922
X-Over Sub	69,317	4,837
DP* (OH)	63,501	4,972
DP* (CH) (Casing DP)	63,358	4,983

Hasil perhitungan pengangkatan *cutting* CTR (*Cutting Transport Ratio*), dan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) pada trayek 12-1/4" dengan temperatur 200°F dari sampel lumpur drispac dapat ditunjukkan pada tabel 4.35.

Tabel 4. 35 Hasil Perhitungan Pengangkatan *Cutting* Sampel Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 200 °F

BHA	CTR, %	CCA, %
SperryDrill Lobe + Stabilizer	77,409	4,741
Float Sub	77,171	4,742
X-Over Sub	76,834	4,745
NMDC	72,374	4,789
EM Repeater Sub + EMT DTU Insert	72,720	4,785
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	72,659	4,785
HWDP	68,567	4,851
Sperry Sledgehammer Jar	71,224	4,806
HWDP	67,501	4,873
X-Over Sub	71,124	4,807
DP* (OH)	65,754	4,913
DP* (CH) (Casing DP)	65,622	4,923

Pada perhitungan CTR (*Cutting Transport Ratio*) pada trayek 8,5” dengan temperatur 200°F kedua sampel lumpur menggunakan sampel yang setelah di *treatment* tambahan dengan penambahan bahan aditif seperti bentonite, starch, drispac, dan barite. Pada tabel 4.34 dan tabel 4.35 menunjukkan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) pada sampel lumpur starch berkisar 63,358 % sampai dengan 76,054 %. Nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) pada sampel lumpur drispac berkisar 65,622 % sampai dengan 77,409 %. Faktor yang menyebabkan peningkatan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) adalah Vslip koreksi yang bernilai kecil dan nilai Vann. Vslip koreksi yang bernilai kecil didapatkan dari nilai annular viskositas yang bernilai besar, hal tersebut dikarenakan apabila lumpur yang didalam annulus semakin kental maka dapat meningkatkan kecepatan pengangkatan *cutting*. Faktor yang mempengaruhi nilai annular viskositas adalah nilai indeks kelakuan aliran, konstanta *power law*, ukuran lubang annulus, dan Vann. Nilai indeks kelakuan aliran yang kecil dan besarnya konstanta *power law* dapat menyebabkan meningkatnya nilai annular viskositas sehingga dapat meningkat nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*). Sampel lumpur drispac nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur starch, hal tersebut dikarenakan nilai konstanta *power law* sampel lumpur drispac lebih besar yaitu 0,89 dan sampel lumpur starch lebih kecil yaitu 0,74. Nilai konstanta *power law* dipengaruhi dari nilai plastik viskositas, *yield point*, dan indeks kelakuan aliran dari sampel lumpur. Pada kedua lumpur tersebut sudah mampu mengangkat *cutting* keatas permukaan dengan optimal dikarenakan nilai *Cutting Transport Ratio* lebih dari 90 %.

Untuk perhitungan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) dipengaruhi dari faktor perhitungan CTR (*Cutting Transport Ratio*), Q (laju alir pompa), dan ROP (*Rate of Penetration*). Nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) untuk sampel lumpur starch berkisar 4,750 % sampai dengan 4,983 %. Nilai CCA untuk sampel lumpur drispac berkisar 4,741 % sampai dengan 4,923 %. Dari hasil nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) tersebut sampel lumpur drispac lebih kecil dibandingkan sampel lumpur sehingga penggunaan sample lumpur drispac pada trayek 12-1/4” dengan temperatur 200°F lebih unggul. Peningkatan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) dapat mengurangi nilai CCA

(*Cutting Concentration in Annulus*), maksudnya adalah dengan meningkatnya kecepatan *transport cutting* maka akan membersihkan lubang sumur dari *cutting* sehingga konsentrasi kandungan *cutting* dalam lubang sumur menjadi berkurang dan pembersihan sudah optimal. Faktor ROP (*Rate of Penetration*) dan Q (laju alir pompa) tidak berpengaruh dalam proses pengangkatan *cutting* pada penelitian ini dikarenakan penggunaan ROP (*Rate of Penetration*) dan Q (laju alir pompa) dari kedua sampel lumpur yang diteliti adalah sama. Nilai PV (Plastik Viskositas), YP (*Yield Point*), dan densitas dari lumpur sangat berpengaruh terhadap perhitungan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*), hal tersebut dikarenakan apabila nilai PV (Plastik Viskositas), YP (*Yield Point*), dan densitas lumpur semakin besar akan mempengaruhi penurunan nilai *Vslip* dan peningkatan annular viskositas yang menyebabkan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) semakin besar dan nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) semakin menurun. Dalam trayek ini lumpur yang memiliki nilai PV (Plastik Viskositas) dan YP (*Yield Point*) yang lebih besar adalah sampel lumpur yang menggunakan *natural polymer drispac* dibandingkan dengan sampel lumpur yang menggunakan *natural polymer starch*. Meskipun sampel lumpur starch densitas lumpur lebih besar dibandingkan sampel lumpur drispac hasil nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) tidak terlalu berpengaruh dikarenakan perbedaan densitas dari kedua sampel lumpur sebesar 0,1 ppg. Pada kedua lumpur tersebut sudah mampu mengangkat *cutting* keatas permukaan dengan optimal dikarenakan nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) kurang dari 5 %.

IV.2.3 Pengangkatan *Cutting* Trayek 8,5” Pada Temperatur 250°F

Pengangkatan *cutting* trayek 8,5” pada temperatur 250°F akan dilakukan perhitungan metode pengangkatan *cutting* yang terdiri dari CTR (*Cutting Transport Ratio*) Data yang dibutuhkan untuk perhitungan kmetode pengangkatan *cutting* lumpur starch tersebut dapat dilihat pada tabel 4.36.

Tabel 4. 36 Data Perhitungan Pengangkatan *Cutting* Lumpur KCL Polymer (Starch) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 250°F

Nama Data	Nilai	Satuan
Kedalaman Sumur (MD/TVD)	1821/1667	ft
Lubang Sumur	8,5	inch
Inklinasi Sumur	43,79	derajat
Densitas Lumpur	10,7	ppg
Plastik Viskositas Lumpur	35	cp
<i>Yield Point</i> Lumpur	25	lbs/100sqft
n (Flow Behaviour Index)	0,66	fraksi
K (<i>Power law</i> Constant)	0,96	fraksi
Kcci	490,846	cp
Densitas <i>Cutting</i>	21,6	ppg
Diameter <i>Cutting</i>	0,4	inch
Cconc	5,16	%
RPM	85	rpm
ROP (<i>Rate of Penetration</i>)	290	ft/hr
Laju Alir Pompa	575	gpm

Data yang dibutuhkan untuk perhitungan ketiga metode pengangkatan *cutting* lumpur yang drispac tersebut dapat dilihat pada tabel 4.37

Tabel 4. 37 Data Perhitungan Pengangkatan *Cutting* Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 250°F

Nama Data	Nilai	Satuan
Kedalaman Sumur (MD/TVD)	1821/1667	ft
Lubang Sumur	8,5	inch
Inklinasi Sumur	43,79	derajat
Densitas Lumpur	10,65	ppg
Plastik Viskositas Lumpur	38	cp
<i>Yield Point</i> Lumpur	29	lbs/100 sqft
n (Flow Behaviour Index)	0,65	fraksi
K (<i>Power law</i> Constant)	1,18	fraksi
Kcci	601,143	cp
Densitas <i>Cutting</i>	21,6	ppg
Diameter <i>Cutting</i>	0,4	inch
Cconc	5,16	%
RPM	85	rpm
ROP (<i>Rate of Penetration</i>)	290	ft/hr
Laju Alir Pompa	575	gpm

Selanjutnya dilakukan perhitungan Vann, Vcrit, dan Annular Viskositas untuk menentukan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*). Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada tabel 4.38.

Tabel 4. 38 Hasil Perhitungan Vann, Annular Viskositas, Vcrit, dan Jenis Aliran Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 250 °F

BHA	OD, inchi	Vann, ft/s	Vcrit, ft/s	Annular Viskositas, cp	Jenis Aliran
SperryDrill Lobe + Stabilizer	8	28,460	17,472	97,530	Turbulen
Float Sub	8	28,460	17,472	97,530	Turbulen
X-Over Sub	8	28,460	17,472	97,530	Turbulen
NMDC	6 1/2	7,826	8,786	240,437	Laminar
EM Repeater Sub + EMT					
DTU Insert	6 3/4	8,798	9,388	220,969	Laminar
EM Antena Sub + EMT-DTU					
Insert	6 3/4	8,798	9,388	220,969	Laminar
HWDP	5	4,969	6,657	338,374	Laminar
Sperry Sledgehammer					
Jar	6 1/2	7,826	8,786	240,437	Laminar
X-Over Sub	6 3/4	8,798	9,388	220,969	Laminar
DP	5	4,969	6,657	338,37421	Laminar

Hasil perhitungan Vann, Vcrit, annular viskositas dan jenis aliran dari sampel lumpur yang

drispac dapat ditunjukkan pada tabel 4.39

Tabel 4. 39 Hasil Perhitungan Vann, Annular Viskositas, Vcrit, dan Jenis Aliran Sampel Lumpur KCL Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 250 °F

BHA	OD, inchi	Vann, ft/s	Vcrit, ft/s	Annular Viskositas, cp	Jenis Aliran
SperryDrill Lobe + Stabilizer	8	28,460	18,608	111,504	Turbulen
Float Sub	8	28,460	18,608	111,504	Turbulen
X-Over Sub	8	28,460	18,608	111,504	Turbulen
NMDC	6 1/2	7,826	9,573	286,005	Laminar
EM Repeater Sub + EMT DTU Insert	6 3/4	8,798	10,206	261,874	Laminar
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	6 3/4	8,798	10,206	261,874	Laminar
HWDP	5	4,969	7,320	408,592	Laminar
Sperry Sledgehammer Jar	6 1/2	7,826	9,573	286,005	Laminar
HWDP	5	4,969	7,320	408,592	Laminar
X-Over Sub	6 3/4	8,798	10,206	261,874	Laminar
DP	5	4,969	7,320	408,5921528	Laminar

Pada tabel 4.38 dan tabel 4.39 menunjukkan nilai Vann dari sampel lumpur starch dan dari sampel lumpur drispac bernilai sama. Persamaan nilai Vann dari kedua sampel lumpur dikarenakan laju alir pompa dan ukuran diameter annulus dari masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) yang digunakan pada penelitian ini adalah sama. Nilai Vann dari kedua sampel lumpur berkisar 4,969 ft/s sampai dengan 28,460 ft/s. Laju alir pompa berbanding lurus dengan nilai Vann sehingga semakin besar nilai laju alir pompa maka nilai Vann semakin besar. Diameter annulus pada masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) berbanding terbalik dengan nilai Vann sehingga semakin kecil diameter tersebut maka nilai Vann semakin besar.

Pada tabel 4.38 dan tabel 4.39 menunjukkan nilai Vcrit dari kedua sampel lumpur bernilai berbeda dikarenakan nilai dari konstanta *power law*, indeks kelakuan aliran dan densitas lumpur berbeda, nilai tersebut merupakan faktor yang dapat mempengaruhi nilai Vcrit. Dari sampel lumpur yang starch nilai Vcrit berkisar 6,657 ft/s sampai dengan 17,472 ft/s sedangkan dari sampel lumpur drispac nilai Vcrit berkisar 7,320 ft/s sampai dengan 18,608 ft/s. Nilai Vcrit pada sampel lumpur drispac lebih besar dibandingkan sampel lumpur starch dikarenakan nilai konstanta *power law* yang dihasilkan dari sampel lumpur drispac lebih besar yaitu 1,18 sedangkan pada sampel lumpur starch sebesar 0,96. Nilai konstanta *power law* dipengaruhi oleh plastik viskositas, *yield point*, dan indeks kelakuan aliran. Nilai plastik viskositas dan *yield point* berbanding lurus dengan nilai konstanta *power law* sedangkan indeks kelakuan aliran berbanding terbalik dengan nilai konstanta *power law* sehingga dengan meningkatnya nilai plastik viskositas dan *yield point* serta dengan menurunnya indeks kelakuan aliran maka nilai konstanta *power law* semakin besar dan sebaliknya. Pernyataan tersebut dapat dilihat

dari sampel lumpur starch nilai indeks kelakuan aliran lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur drispac yaitu sebesar 0,66 dan sampel lumpur drispac nilai indeks kelakuan aliran sebesar 0,65. Pernyataan mengenai nilai plastik viskositas dan *yield point* terhadap nilai konstanta *power law* dapat dilihat bahwa nilai sampel lumpur drispac lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur starch yaitu pada plastik viskositas sebesar 38 cp dan *yield point* sebesar 29 lbs/100 sqft sedangkan sampel lumpur starch nilai yaitu pada plastik viskositas sebesar 35 cp dan *yield point* sebesar 25 lbs/100sqft.

Pada tabel 4.38 dan tabel 4.39 menunjukkan nilai annular viskositas dari kedua sampel lumpur bernilai berbeda dikarenakan nilai dari konstanta *power law* dan indeks kelakuan aliran berbeda, nilai tersebut merupakan faktor yang dapat mempengaruhi nilai annular viscosity. Nilai annular viskositas dari sampel lumpur starch berkisar 97,530 cp sampai dengan 338,374 cp sedangkan nilai annular viskositas dari sampel lumpur yang drispac berkisar 111,504 cp sampai dengan 408,592 cp. Peningkatan viskositas annular menunjukan sampel lumpur tersebut viscous. Faktor yang mempengaruhi viskositas annular adalah plastik viskositas dan *yield point*, semakin besar nilai plastik viskositas dan *yield point* maka nilai viskositas annular semakin tinggi.

Dari nilai Vann dan Vcrit yang ditunjukkan tabel 4.38 dan tabel 4.39 pola aliran yang dihasilkan dari masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) adalah pola aliran laminar namun pada BHA (*Bottom Hole Assembly*) on track MWD pola aliran turbulen. Pola aliran laminar terbentuk dikarenakan nilai Vann yang rendah dibandingkan dengan nilai Vcrit dan sebaliknya. Nilai plastik viskositas, *yield point*, dan densitas berpengaruh terhadap perhitungan Vcrit sedangkan nilai laju alir pompa dan diameter annulus berpengaruh terhadap perhitungan Vann.

Dari tabel 4.38 dan tabel 4.39 selanjutnya akan dilakukan perhitungan Nre partikel, Vslip, dan Vslip koreksi terhadap masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) untuk menentukan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*). Hasil perhitungan tersebut dari sampel lumpur yang mengandung starch dapat dilihat pada tabel 4.40.

Tabel 4. 40 Hasil Perhitungan Nre Partikel, Vslip, dan Vslip koreksi Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250 °F

BHA	Nre Partikel	Vslip, ft/s	Vslip koreksi, ft/s
SperryDrill Lobe			
+ Stabilizer	12,260	0,564	1,303
Float Sub	12,260	0,564	1,303
X-Over Sub	12,260	0,564	1,303
NMDC	9,925	0,418	0,965
EM Repeater Sub			
+ EMT DTU			
Insert	5,411	0,430	0,992
EM Antena Sub +			
EMT-DTU Insert	5,411	0,430	0,992
HWDP	5,011	0,373	0,861
Sperry			
Sledgehammer Jar	9,925	0,418	0,965
HWDP	5,011	0,373	0,861
X-Over Sub	5,411	0,430	0,992
DP	5,011	0,373	0,861

Hasil perhitungan Nre partikel, Vslip, dan Vslip koreksi terhadap masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*) dari sampel lumpur drispac dapat dilihat pada tabel 4.41

Tabel 4. 41 Hasil Perhitungan Nre Partikel, Vslip, dan Vslip koreksi Sampel Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250 °F

BHA	Nre Partikel	Vslip, ft/s	Vslip koreksi, ft/s
SperryDrill Lobe			
+ Stabilizer	10,748	0,542	1,247
Float Sub	10,748	0,542	1,247
X-Over Sub	10,748	0,542	1,247
NMDC	7,014	0,396	0,911
EM Repeater Sub			
+ EMT DTU			
Insert	4,576	0,408	0,938
EM Antena Sub +			
EMT-DTU Insert	4,576	0,408	0,938
HWDP	3,437	0,352	0,809
Sperry			
Sledgehammer Jar	7,014	0,396	0,911
HWDP	3,437	0,352	0,809
X-Over Sub	4,576	0,408	0,938
DP	3,437	0,352	0,809

Pada tabel 4.40 dan tabel 4.41 menunjukkan bahwa nilai Nre partikel sampel lumpur starch berkisar 5,011 sampai dengan 12,260 sedangkan nilai Nre partikel sampel lumpur drispac berkisar 3,437 sampai dengan 10,748. Nilai Nre partikel sampel lumpur starch lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur drispac dikarenakan nilai annular viskositas sampel lumpur starch lebih rendah dibandingkan sampel lumpur drispac. Annular viskositas, Vslip, densitas lumpur, dan diameter *cutting* merupakan faktor yang berpengaruh dalam perhitungan Nre partikel. Faktor yang mempengaruhi nilai annular viskositas adalah nilai indeks kelakuan aliran, konstanta *power law*, diameter annulus, dan Vann. Diameter annulus dan Vann tidak berpengaruh karena kedua sampel menggunakan data yang sama. Nilai indeks kelakuan aliran dan konstanta *power law* kedua sampel lumpur berbeda karena nilai plastik viskositas dan *yield point* kedua sampel lumpur berbeda. Annular viskositas berbanding terbalik dengan nilai Nre partikel sehingga semakin tinggi nilai annular viskositas akan menyebabkan nilai Nre partikel semakin rendah. Densitas lumpur, Vslip, dan diameter *cutting* berbanding lurus terhadap nilai Nre partikel.

Pada tabel 4.40 dan tabel 4.41 nilai Vslip sampel lumpur starch berkisar 0,373 ft/s sampai dengan 0,564 ft/s sedangkan sampel lumpur drispac nilai Vslip berkisar 0,352 ft/s sampai dengan 0,542 ft/s. nilai Vslip lumpur starch lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur drispac dikarenakan annular viskositas sampel lumpur starch lebih kecil dibandingkan dengan sampel lumpur drispac serta nilai densitas lumpur starch lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur drispac. Faktor yang mempengaruhi nilai Vslip adalah diameter *cutting*, densitas *cutting*, densitas lumpur, dan annular viskositas. Diameter *cutting* dan densitas *cutting* tidak berpengaruh dalam perhitungan pada penelitian ini dikarenakan kedua sampel lumpur menggunakan data yang sama. Nilai densitas lumpur berbanding lurus dengan nilai Vslip sedangkan nilai annular viskositas berbanding terbalik dengan nilai Vslip. Meningkatnya nilai annular viskositas dapat mengurangi Vslip dikarenakan semakin kental lumpur di annulus dapat mengurangi kecepatan antara lumpur dan *cutting* didalam annulus sehingga nilai Vslip

yang dihasilkan kecil.

Pada trayek ini sumur berinklinasi kurang dari 45 derajat sehingga harus dilakukan pengkoreksian Vslip terhadap sudut inklinasi sumur tersebut. Nilai sampel lumpur starch Vslip koreksi berkisar 0,861 ft/s sampai dengan 1,303 ft/s sedangkan sampel lumpur drispac Vslip koreksi berkisar 0,809 ft/s sampai dengan 1,247 ft/s. Nilai Vslip koreksi sampel lumpur starch lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur drispac dikarenakan nilai densitas lumpur dan nilai Vslip sampel lumpur starch lebih besar dibandingkan sampel lumpur drispac. Nilai Vslip dan densitas lumpur berbanding lurus dengan nilai Vslip koreksi. Faktor lainnya peningkatan nilai Vslip koreksi adalah sudut inklinasi dan RPM namun pada penelitian ini tidak berpengaruh terhadap perhitungan karena kedua sampel lumpur menggunakan data yang sama. Sudut inklinasi dan RPM berbanding lurus dengan nilai Vslip koreksi.

Selanjutnya akan dilakukan perhitungan nilai *annular area point*, Vmin (kecepatan minimum), dan Qmin (laju alir minimum) untuk menentukan nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) dari kedua sampel lumpur KCl *Polymer* yang mengandung *natural polymer* starch dan sampel lumpur KCl *Polymer* yang mengandung *natural polymer* drispac. Hasil perhitungan *annular area point*, Vmin (kecepatan minimum), dan Qmin (laju alir minimum) dari sampel lumpur KCl *Polymer* starch pada trayek 12-1/4" pada temperatur 250°F dapat ditunjukkan pada tabel 4.42.

Tabel 4. 42 Hasil Perhitungan Annular Area Point, Vmin, dan Qmin Sampel Lumpur KCl Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250°F

BHA	<i>Annular area point</i> , bbl/ft	Vmin, ft/s	Qmin, gpm
SperryDrill Lobe + Stabilizer	0,008	14,97	302,3617
Float Sub	0,008	14,97	302,3617
X-Over Sub	0,008	14,97	302,3617
NMDC	0,029	4,72	346,8901
EM Repeater Sub + EMT DTU Insert	0,026	5,22	340,8656
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	0,026	5,22	340,8656
HWDP	0,046	3,25	375,6217
Sperry Sledgehammer Jar	0,029	4,72	346,8901
HWDP	0,046	3,25	375,6217
X-Over Sub	0,026	5,22	340,8656
DP	0,046	3,25	375,6217

Hasil perhitungan *annular area point*, Vmin, dan Qmin dari sampel lumpur yang mengandung *natural polymer* drispac pada trayek 12-1/4" dengan temperatur 250 °F dapat ditunjukkan pada tabel 4.43.

Tabel 4. 43 Hasil Perhitungan Annular Area Point, Vmin, dan Qmin Sampel Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250°F

BHA	Annular area point, bbl/ft	Vmin, ft/s	Qmin, gpm
SperryDrill Lobe			
+ Stabilizer	0,008	14,92	301,2385
Float Sub	0,008	14,92	301,2385
X-Over Sub	0,008	14,92	301,2385
NMDC	0,029	4,67	342,9764
EM Repeater Sub			
+ EMT DTU			
Insert	0,026	5,16	337,3604
EM Antena Sub +			
EMT-DTU Insert	0,026	5,16	337,3604
HWDP	0,046	3,20	369,6514
Sperry			
Sledgehammer Jar	0,029	4,67	342,9764
HWDP	0,046	3,20	369,6514
X-Over Sub	0,026	5,16	337,3604
DP	0,046	3,20	369,6514

Pada tabel 4.42 dan tabel 4.43 menunjukkan nilai *annular area point* dari kedua sampel lumpur bernilai sama yaitu berkisar 0,008 bbl/ft sampai dengan 0,046 bbl/ft. Faktor penyebab *annular area point* bernilai sama dikarenakan kedua sampel lumpur yang diteliti menggunakan BHA (*Bottom Hole Assembly*) yang sama. Nilai *annular area point* berpengaruh terhadap diameter lubang annulus, semakin besar diameter annulus maka semakin besar nilai annular point dan sebaliknya. diameter annulus dipengaruhi oleh ukuran dari outer diameter masing-masing BHA (*Bottom Hole Assembly*), semakin besar outer diameter dari BHA (*Bottom Hole Assembly*) maka semakin kecil diameter annulus dan sebaliknya. Perhitungan *annular area point* dapat digunakan pada persamaan II.21.

Pada tabel 4.42 dan tabel 4.43 menunjukkan nilai Vmin dari kedua sampel lumpur bernilai berbeda dikarenakan nilai Vslip koreksi dari kedua sampel lumpur tersebut berbeda. Faktor yang mempengaruhi nilai Vmin yaitu Vslip koreksi, OD BHA (*Bottom Hole Assembly*), diameter lubang sumur, ROP (*Rate of Penetration*), dan Cconc namun OD BHA (*Bottom Hole Assembly*), diameter lubang sumur, ROP (*Rate of Penetration*), dan Cconc tidak berpengaruh dalam perhitungan penelitian ini dikarenakan faktor tersebut menggunakan data yang sama pada kedua sampel lumpur. nilai Vmin sampel lumpur starch berkisar 3,247 ft/s sampai dengan 14,971 ft/s sedangkan sampel lumpur drispac nilai Vmin berkisar 3,196 ft/s sampai dengan 14,916 ft/s. nilai Vslip koreksi berbanding lurus dengan nilai Vmin, semakin besar nilai Vslip koreksi maka nilai Vmin semakin besar dan sebaliknya. Perhitungan nilai Vmin dapat digunakan pada persamaan pada bab 2.

Pada tabel 4.42 dan tabel 4.43 menunjukkan nilai Qmin yang berbeda. Nilai Qmin bergantung pada *annular area point* dan Vmin, semakin kecil Vmin dan *annular area point* maka semakin kecil juga nilai Qmin dan sebaliknya. Perhitungan Qmin dapat digunakan pada persamaan pada bab 2. Nilai Qmin dari sampel lumpur yang starch berkisar 302,362 gpm sampai dengan 375,622 gpm. Nilai Qmin dari sampel lumpur drispac berkisar 301,239 gpm sampai dengan 369,651 gpm. Nilai Qmin dari sampel lumpur starch lebih besar dibandingkan dengan sampel drispac dikarenakan pada trayek ini sampel lumpur drispac lebih kental dibandingkan dengan sampel lumpur starch sehingga laju alir pompa minimum pada sampel starch harus lebih tinggi agar pengangkatan *cutting* optimal dan

kandungan konsentrasi *cutting* didalam annulus menjadi berkurang.

Hubungan perhitungan *annular area point*, V_{min} , dan Q_{min} pada metode CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) adalah untuk mengurangi konsentrasi kandungan *cutting* didalam annulus, dalam mencapai tersebut harus diperlukan kecepatan minimum lumpur (V_{min}) dan diperlukan laju alir pompa minimum (Q_{min}) agar *cutting* tersebut terangkat keatas permukaan dengan optimal. *Annular area point* berpengaruh terhadap Q_{min} , semakin besar *annular area point* maka nilai Q_{min} semakin besar. Dari tabel IV.37 dan tabel IV.38 terhadap tabel IV.43 dan tabel IV.44 menunjukkan bahwa dengan menggunakan laju alir pompa sebesar 815 GPM pada trayek ini sudah melewati batas minimum laju alir pompa yang ditunjukkan pada tabel IV.43 dan tabel IV.44 sehingga dengan laju alir pompa 815 GPM pada trayek ini sudah mampu mengangkat *cutting* keatas permukaan dengan optimal.

Dari hasil perhitungan V_{ann} dan V_{slip} koreksi, n , *annular area point*, V_{min} dan Q_{min} dapat menentukan perhitungan metode pengangkatan *cutting* yaitu CTR (*Cutting Transport Ratio*) dan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*), dan Hasil perhitungan pengangkatan CTR (*Cutting Transport Ratio*) dan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) pada trayek 12-1/4" dengan temperatur 250°F dari sampel lumpur starch dapat ditunjukkan pada tabel 4.44.

Tabel 4. 44 Hasil Perhitungan Pengangkatan *Cutting* Sampel Lumpur KCl
Polymer (Starch) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250 °F

BHA	CTR, %	CCA %
SperryDrill Lobe + Stabilizer	95,423	4,940
Float Sub	95,423	4,940
X-Over Sub	95,423	4,940
NMDC	87,676	4,686
EM Repeater Sub + EMT DTU Insert	88,724	4,713
EM Antena Sub + EMT-DTU Insert	88,724	4,713
HWDP	82,677	4,590
Sperry Sledgehammer Jar	87,676	4,686
HWDP	82,677	4,590
X-Over Sub	88,724	4,713
DP	82,677	4,590

Hasil perhitungan (*Cutting Transport Ratio*) pada trayek 12-1/4" dengan temperatur 250°F dari sampel lumpur drispac dapat ditunjukkan pada tabel 4.45.

Tabel 4. 45 Hasil Perhitungan Pengangkatan *Cutting* Sampel Lumpur KCl
Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4" Pada Temperatur 250 °F

BHA	CTR, %	CCA %
SperryDrill Lobe + Stabilizer	95,618	4,948
Float Sub	95,618	4,948
X-Over Sub	95,618	4,948
NMDC	88,357	4,703

Tabel 4. 46 Hasil Perhitungan Pengangkatan *Cutting* Sampel Lumpur KCl Polymer (Drispac) Trayek 12-1/4” Pada Temperatur 250 °F (Lanjutan)

BHA	CTR, %	CCA %
EM Repeater Sub + EMT DTU Insert	89,334	4,729
EM Antena Sub + EMT- DTU Insert	89,334	4,729
HWDP	83,716	4,606
Sperry Sledgehammer Jar	88,357	4,703
HWDP	83,716	4,606
X-Over Sub	89,334	4,729
DP	83,716	4,606

Pada perhitungan CTR (*Cutting Transport Ratio*) pada trayek 8,5” dengan temperatur 250°F kedua sampel lumpur menggunakan sampel yang setelah di *treatment* tambahan dengan penambahan bahan aditif seperti bentonite, starch, drispac, dan barite. Pada tabel 4.44 sampai tabel 4.46 menunjukkan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) pada sampel lumpur starch berkisar 82,677 % sampai dengan 95,423 %. Nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) pada sampel lumpur drispac berkisar 83,716 % sampai dengan 95,618 %. Faktor yang menyebabkan peningkatan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) adalah Vslip koreksi yang bernilai kecil dan nilai Vann. Vslip koreksi yang bernilai kecil didapatkan dari nilai annular viskositas yang bernilai besar, hal tersebut dikarenakan apabila lumpur yang didalam annulus semakin kental maka dapat meningkatkan kecepatan pengangkatan *cutting*. Faktor yang mempengaruhi nilai annular viskositas adalah nilai indeks kelakuan aliran, konstanta *power law*, ukuran lubang annulus, dan Vann. Nilai indeks kelakuan aliran yang kecil dan besarnya konstanta *power law* dapat menyebabkan meningkatnya nilai annular viskositas sehingga dapat meningkat nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*). Sampel lumpur drispac nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) lebih besar dibandingkan dengan sampel lumpur starch, hal tersebut dikarenakan nilai konstanta *power law* sampel lumpur drispac lebih besar yaitu 1,18 dan sampel lumpur yang mengandung *natural polymer* starch lebih kecil yaitu 0,96. Nilai konstanta *power law* dipengaruhi dari nilai plastik viskositas, *yield point*, dan indeks kelakuan aliran dari sampel lumpur. Pada kedua lumpur tersebut sudah mampu mengangkat *cutting* keatas permukaan dengan optimal dikarenakan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) lebih dari 90 %.

Pada analisa perhitungan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) dipengaruhi dari faktor perhitungan CTR (*Cutting Transport Ratio*), Q (laju alir pompa), dan ROP (*Rate of Penetration*). Nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) dari sampel lumpur starch berkisar 4,590 % sampai dengan 4,940 %. Nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) dari sampel lumpur drispac berkisar 4,606 % sampai dengan 4,948 %. Dari hasil nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) tersebut sampel lumpur drispac lebih kecil dibandingkan sampel lumpur starch sehingga lebih bagus penggunaan drispac pada trayek 8,5” dengan temperatur 250°F. Peningkatan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) dapat mengurangi nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*), dengan meningkatnya kecepatan transport *cutting* maka akan membersihkan lubang sumur dari *cutting* sehingga konsentrasi kandungan *cutting* dalam lubang sumur menjadi berkurang dan pembersihan sudah optimal. Faktor ROP (*Rate of Penetration*) dan Q (laju alir pompa) tidak berpengaruh dalam proses pengangkatan *cutting* pada penelitian ini dikarenakan penggunaan ROP (*Rate of Penetration*) dan Q (laju alir pompa) dari kedua sampel lumpur yang diteliti adalah sama. Nilai PV (Plastik Viskositas), YP (*Yield Point*), dan densitas dari lumpur sangat berpengaruh terhadap perhitungan CCA (*Cutting Concentration in Annulus*), hal

tersebut dikarenakan apabila nilai PV (Plastik Viskositas), YP (*Yield Point*), dan densitas lumpur semakin besar akan mempengaruhi penurunan nilai Vslip dan peningkatan annular viskositas yang menyebabkan nilai CTR (*Cutting Transport Ratio*) semakin besar dan nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) semakin menurun. Dalam trayek ini lumpur yang memiliki nilai PV (Plastik Viskositas) dan YP (*Yield Point*) yang lebih besar adalah sampel lumpur yang menggunakan *natural polymer* drispac dibandingkan dengan sampel lumpur yang menggunakan *natural polymer* starch. Meskipun sampel lumpur starch densitas lumpur lebih besar dibandingkan sampel lumpur drispac hasil nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) tidak terlalu berpengaruh dikarenakan perbedaan densitas dari kedua sampel lumpur sebesar 0,05 ppg. Pada kedua sampel lumpur tersebut sudah mampu mengangkat *cutting* keatas permukaan dengan optimal dikarenakan nilai CCA (*Cutting Concentration in Annulus*) kurang dari 5 %

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis pengangkatan cutting dari sampel lumpur starch dan sampel lumpur drispac terhadap berbagai temperatur dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan starch dan drispac kedalam lumpur pemboran dapat meningkatkan nilai viskositas dan rheology dari lumpur sehingga dapat mempengaruhi proses pengangkatan cutting
2. Berdasarkan pengukuran densitas, pada temperatur 150°F densitas sampel lumpur starch sebesar 9,1 ppg dan densitas sampel lumpur drispac sebesar 9 ppg sehingga tidak diperlukan penambahan bahan dikarenakan sudah sesuai dengan standar spesifikasi lumpur. Pada temperatur 200°F densitas sampel lumpur starch sebesar 8,9 ppg dan densitas sampel lumpur drispac sebesar 8,85 ppg sehingga diperlukan penambahan bahan 60 gram barite pada masing-masing sampel lumpur dikarenakan tidak sesuai dengan standar spesifikasi lumpur. Pada temperatur 250°F densitas sampel lumpur starch sebesar 8,7 ppg dan densitas sampel lumpur drispac sebesar 8,65 ppg sehingga diperlukan penambahan 120 gram barite pada masing-masing sampel lumpur dikarenakan tidak sesuai dengan standar spesifikasi lumpur. Hasil penambahan barite pada masing-masing lumpur meningkatkan densitas sebesar 9,9 ppg sampai dengan 10,7 ppg.
3. Pada hasil pengukuran viskositas, nilai viskositas sampel lumpur starch pada temperatur 150°F sebesar 18,11 sec/quartz dan nilai viskositas sampel lumpur drispac sebesar 19,03 sec/quartz sehingga sudah sesuai dengan standar spesifikasi lumpur. Pada temperatur 200°F sampel lumpur starch nilai viskositas sebesar 15,27 sec/quartz dan sampel lumpur drispac nilai viskositas sebesar 17,08 sec/quartz sehingga tidak sesuai dengan standar spesifikasi lumpur maka ditambahkan 12 gram bentonite dan 15 gram starch pada sampel lumpur starch dan ditambahkan 8 gram bentonite dan 1 gram drispac pada sampel lumpur drispac. Pada temperatur 250°F sampel lumpur starch nilai viskositas sebesar 11,07 sec/quartz dan sampel lumpur drispac nilai viskositas sebesar 15,39 sec/quartz sehingga tidak sesuai dengan standar spesifikasi lumpur maka ditambahkan 18 gram bentonite dan 20 gram starch pada sampel lumpur starch dan ditambahkan 8 gram bentonite dan 1,5 gram drispac pada sampel lumpur drispac. Penambahan bentonite, starch, dan drispac meningkatkan viskositas sebesar 32,27 sec/quartz sampai dengan 39,22 sec/quartz.
4. Nilai plastik viskositas pada temperatur 150°F dari sampel lumpur starch sebesar 16 cp dan sampel lumpur drispac sebesar 18 cp. Pada temperatur 200°F sampel lumpur starch sebesar 11 cp dan sampel lumpur drispac sebesar 15 cp. Pada temperatur 250°F sampel lumpur starch sebesar 6 cp dan sampel lumpur drispac sebesar 11 cp. Plastik viskositas meningkat dengan tambahan bahan bentonite, starch, dan drispac menjadi 33 cp sampai dengan 38 cp.
5. Pada pengukuran yield point pada temperatur 150°F dari sampel lumpur starch sebesar 19 lbs/100sqft dan sampel lumpur drispac sebesar 20 lbs/100sqft. Pada temperatur 200°F sampel lumpur starch sebesar 13 lbs/100sqft dan sampel lumpur drispac sebesar 17 lbs/100sqft. Pada temperatur 250°F sampel lumpur starch sebesar 9 lbs/100sqft dan sampel lumpur drispac sebesar 13 lbs/100sqft. Yield point meningkat dengan tambahan bahan bentonite, starch, dan drispac menjadi 21 lbs/100sqft sampai dengan 29 lbs/100sqft.
6. Berdasarkan uji sampel kedua lumpur terhadap proses pengangkatan cutting pada metode CTR (Cutting Transport Ratio) pada temperatur 150°F dari sampel lumpur starch berkisar 73,524 %- 79,130 % sedangkan sampel lumpur drispac berkisar 72,823 % 79,046 % pada temperatur 200°F dari sampel lumpur starch berkisar 63,358 % - 76,054 % sedangkan sampel lumpur drispac berkisar 65,622 % - 77,409 %, pada temperatur 250°F dari sampel lumpur starch berkisar 82,677 % - 95,423 %. sedangkan sampel lumpur drispac berkisar 83,716 % - 95,618 %. Dari hasil diatas dapat membuktikan penggunaan sample lumpur starch dan drispac dapat mengangkat cutting dengan optimal dengan nilai diatas 50 % pada proses uji Cutting Transport Ratio.

7. Berdasarkan uji sampel kedua lumpur terhadap proses pengangkatan cutting pada metode CCA (Cutting Concentration in Annulus) pada temperatur 150oF dari sampel lumpur starch berkisar 1,443 % - 1,476 % sedangkan sampel lumpur drispac berkisar 4,833 % - 4,906 %, pada temperatur 200oF dari sampel lumpur starch berkisar 4,750 % - 4,983 % sedangkan sampel lumpur drispac berkisar 4,741 % - 4,923 %, pada temperatur 250oF dari sampel lumpur starch berkisar 4,590 % - 4,940 % sedangkan sampel lumpur drispac berkisar 4,606 % - 4,948 %. Dari hasil diatas dapat membuktikan penggunaan sample lumpur starch dan drispac dapat mengangkat cutting dengan optimal dengan nilai dibawah 5 % pada proses uji Cutting Concentration in Annulus.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, N. J. (1985). *Drilling Engineering: A Complete Well Planning Approach*. PennWell Publishing Company.
- Adari, R. B., Miska, S., Kuru, E., Bern, P., & Saasen, A. (2000). Selecting Drilling Fluid Properties and Flow Rates for Effective Hole Cleaning in High-Angle and Horizontal Wells. *SPE Reservoir Engineering (Society of Petroleum Engineers)*, A, 273–282. <https://doi.org/10.2118/63050-m>
- Al, A. A., Dabbaj, A., Engineering, F. H.-J. of, & 2016, U. (2016). Optimization of Hole Cleaning In Iraqi Directional Oil Wells. *Journal of Engineering*, 22(7). <https://joe.uobaghdad.edu.iq/index.php/main/article/view/192>
- Al Rubaii, M. M. (2018). A New Robust Approach for Hole Cleaning to Improve Rate of Penetration. *Society of Petroleum Engineers - SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition 2018, SATS 2018*. <https://doi.org/10.2118/192223-ms>
- Alexandri, A. (2016). Perencanaan Rate of Penetration. 06(2).
- Allawi, R. H., Najem, M. A., Sagger, M. A., & Abd, S. M. (2019). Effect of Temperature on Rheology Drilling Mud. *Journal of Physics: Conference Series*, 1279(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1279/1/012054>
- Amin, M. M. (2013). Lumpur dan Hidrolika Lumpur Pengeboran. 152.
- AMOCO Production Company. (1994). *Drilling Fluids Manual*. Amoco Corporation
- Baker, & Hughes INTEQ Inc. (1995). *Drilling Engineering Workbook*. In Baker Hughes INTEQ: Vol. 80270H Rev (Issue December).
- Bourgoyne Jr, A. T., Millheim, K. K., & Chenevert, M. E. (1991). Applied Drilling Engineering. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 24(4), 149. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(87\)90345-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(87)90345-7)
- Bridges, S., & Robinson, L. (2020a). Cutting Transport. In *A Practical Handbook for Drilling Fluids Processing* (pp. 139–161). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821341-4.00006-3>
- Bridges, S., & Robinson, L. (2020b). Rheology. In *A Practical Handbook for Drilling Fluids Processing* (pp. 3–26). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821341-4.00001-4>
- Caenn, R., Darley†, H. C. H., & Gray†, G. R. (2017). The Rheology of Drilling Fluids. In *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids* (pp. 151–244). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804751-4.00006-7>
- Anisara, L. (2016). Desain lumpur menggunakan KCL polimer dan soltex untuk meminimalisir terjadinya swelling di laboratorium lumpur pemboran PPPTMGB “Lemigas” Liani Anisara. 4–37.
- Course, A. D. L. (1995). *Drilling Engineering Workbook*. December.

- Gholizadeh-Doonechaly, N., Tahmasbi, K., & Davani, E. (2009). Development of high-performance water-based mud formulation based on amine derivatives. *Proceedings - SPE International Symposium on Oilfield Chemistry*, 1(January 2009), 169–177. <https://doi.org/10.2118/121228-ms>
- Gould, R. K. (1959). Cutting fluids. *World Petroleum Congress Proceedings*, 1959-May, 333–344.
- Growcock, F., & Harvey, T. (2005). Drilling Fluids. In *Drilling FLuid Processing Handbook* (pp. 15–68). <https://doi.org/10.1016/B978-075067775-2/50003-2>
- Gunawan, I., & Rubiandini, R. (2002). Determining Cutting Transport Parameter in a Horizontal Coiled Tubing Underbalanced Drilling Operation. *Society of Petroleum Engineers*. <https://doi.org/10.2118/101937-stu>
- Guo, B., & Liu, G. (2011a). Mud Hydraulics Fundamentals. In *Applied Drilling Circulation Systems* (pp. 19–59). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-381957-4.00002-4>
- Guo, B., & Liu, G. (2011b). Mud Hydraulics Optimization. In *Applied Drilling Circulation Systems* (pp. 81–105). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-381957-4.00004-8>
- Hamid, A., & Wastu, A. R. R. (2017). Evaluasi Penggunaan Sistem Lumpur Synthetic Oil Base Mud dan KCl Polymer pada Pemboran Sumur X Lapangan Y. *PETRO:Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, 6(1), 1–7. <https://doi.org/10.25105/petro.v6i1.2499>
- Herianto, null. (2018). Optimization of Hydraulic Horsepower to Predict the Rate of Penetration. *American Journal of Physics and Applications*, 6(3), 63. <https://doi.org/10.11648/j.ajpa.20180603.11>
- Hossain, M. E., & Al-Majed, A. A. (2015). Fundamentals of Sustainable Drilling Engineering. In *Scrivener Publishing LLC*.
- IADC. (2000). *IADC Drilling Manual (Vol. 11)*. Technical Toolboxes, Inc.
- Jung, C. M., Zhang, R., Chenevert, M., & Sharma, M. (2013). High-Performance Water-Based Mud Using Nanoparticles for Shale Reservoirs. 2004, 1038–1044. <https://doi.org/10.1190/urtec2013-106>
- Mitchell, B. (1995). *Advance Oil Well Drilling Engineering*. USA Library of Congress.
- Mitchell, R. F., & Miska, S. Z. (2011). Fundamentals of Drilling Engineering. In *Society of Petroleum Engineers (Vol. 12)*. Society of Petroleum Engineers. <https://doi.org/10.1002/9781119083931>
- Mohammadsalehi, M., & Malekzadah, N. (2012). Application of New Hole Cleaning Optimization Method Within All Ranges of Hole Inclinations. *Society of Petroleum Engineers - International Petroleum Technology Conference 2012, IPTC 2012*, 1, 68–75. <https://doi.org/10.2523/iptc-14154-ms>
- Mohammadsalehi, M., & Malekzadeh, N. (2011). Optimization of Hole Cleaning and Cutting Removal in Vertical, Deviated and Horizontal Wells. *Society of Petroleum Engineers - SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition 2011*, 1, 301–308. <https://doi.org/10.2118/143675-ms>
- Moore, P. L. (1986). *Drilling Practices Manual*. PennWell Publishing Company. <https://www.osti.gov/biblio/5668742-drilling-practices-manual-second-edition>

- Nazari, T., Hareland, G., & Azar, J. (2010). Review of Cuttings Transport in Directional Well Drilling: Systematic Approach. Society of Petroleum Engineers. <https://doi.org/10.2523/132372-ms>
- Okon, A. N., Agwu, O. E., & Udoh, F. D. (2015). Evaluation of the cuttings carrying capacity of a formulated synthetic-based drilling mud. Society of Petroleum Engineers - SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition, NAICE 2015. <https://doi.org/10.2118/178263-ms>
- Pilehvari, A. A., Texas, A., Kingsville, M. U., Azar, J. J., Shirazi, S. A., & Tulsa, U. (1999). State-of-the-Art Cuttings Transport in Horizontal Wellbores. 14(September).
- Pino, R. M., Elhabrouk, I., Addagalla, A., & Jadhav, P. B. (2018). Customized drilling fluids design to drill challenging sections using high-performance water-based mud. Society of Petroleum Engineers - SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition 2018, SATS 2018. <https://doi.org/10.2118/192326-ms>
- Prassl, W. F. (2014). Drilling Engineering. In Curtin University of Technology Department of Petroleum Engineering. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_4398
- Rabia, H. (2002). Well Engineering & Construction Hussain Rabia. 1 to 789.
- Ramsey, M. S. (2019a). Hole Cleaning. In Practical Wellbore Hydraulics and Hole Cleaning (pp. 75–115). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817088-5.00003-4>
- Ramsey, M. S. (2019b). Rheology, Viscosity, and Fluid Types. In Practical Wellbore Hydraulics and Hole Cleaning (pp. 217–237). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817088-5.00006-x>
- Richardson, A. T. B. J. (1986). Applied Drilling Engineering SPE Series - Bourgoyne. In Society of Petroleum Engineering (p. 509).
- Rubiandini, R. (2010). Teknik Operasi Pemboran I. Institut Teknologi Bandung.
- Rubiandini, R. (2012). Teknik Operasi Pemboran II (Vol. 2). Institut Teknologi Bandung.
- Satiyawira, B. (2019). Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Fisik Sistem Low Solid Mud Dengan Penambahan Aditif Biopolimer Dan Bentonite Extender. Petro, 7(4), 144. <https://doi.org/10.25105/petro.v7i4.4282>
- Spaar, J. R., Ledgerwood, L. W., Christensen, H., Goodman, H., Graff, R. L., & Moo, T. J. (1995). Formation compressive strength estimates for predicting drillability and PDC bit selection. Drilling Conference - Proceedings, February 1995, 569–578. <https://doi.org/10.2523/29397-ms>
- Su, O., & Wang, X. (2019). cuttability indexes for evaluating the performance of mechanical excavators using conical picks. Proceedings - Rapid Excavation and Tunneling Conference, 2019-June(June), 980–985.
- Tomar, R., Kumbhakar, D., & Professor, A. (2017). Review of Rock Properties Based on Drilling Parameters. 8(10), 433–441.

Transport of Drilled Cuttings (pp. 183–202). (2012).

Walangitan, K. S. B., Hamid, A., & Wastu, A. R. R. (2020). Evaluasi Pengangkatan Cutting pada Trayek 17 ½ inch dengan Metode CTR CCA dan CCI pada Sumur KS Lapangan BW. PETRO:Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan, 9(2), 74. <https://doi.org/10.25105/petro.v9i2.7097>

Wastu, A. R. R., Hamid, A., & Samsol, S. (2019). The effect of drilling mud on hole cleaning in oil and gas industry. Journal of Physics: Conference Series, 1402(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/2/022054>

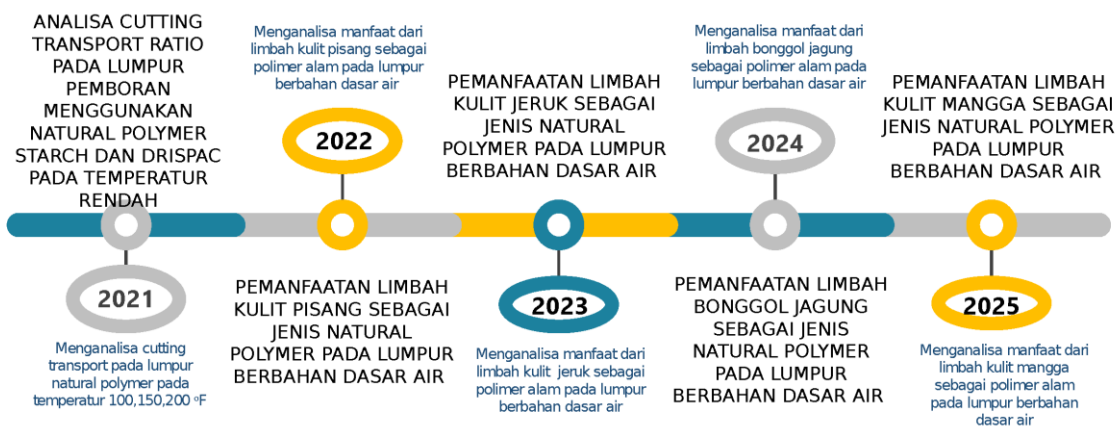
Wastu, Apriandi Rizkina Ranga, Ridaliani, O., & Avianti, B. R. (2020). Optimasi Hidrolika Dengan Metode BHHP pada Trayek 8 ½ Inch Sumur X Lapangan Y. PETRO:Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan, 9(3), 118–124. <https://doi.org/10.25105/petro.v9i3.8031>

Zakhrifady, F. M. (2018). Hidrolika Pemboran Dan Pengangkatan Cutting. Petro, 7(1), 5–14. <https://doi.org/10.25105/petro.v7i1.3222>

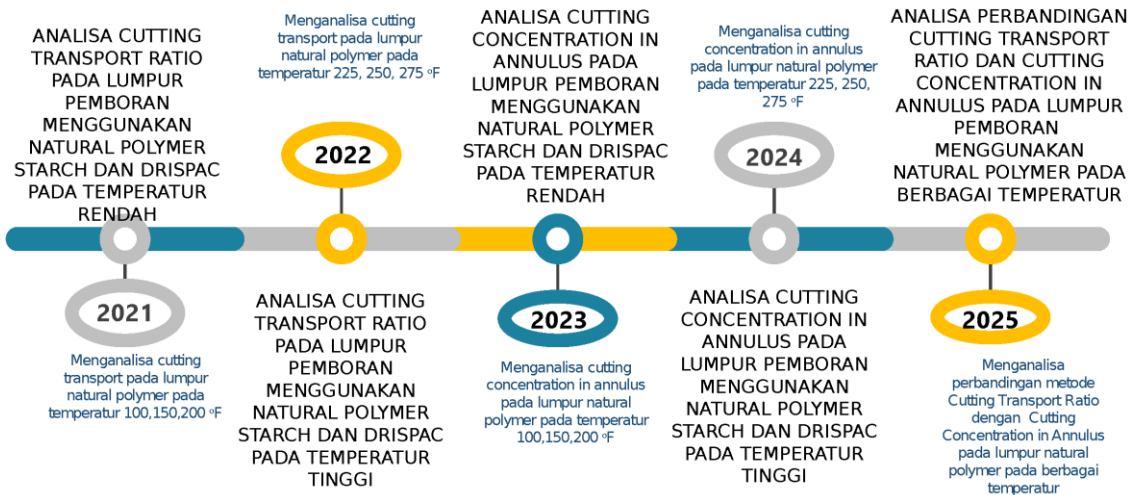
LAMPIRAN 1. ROAD MAP PENELITIAN



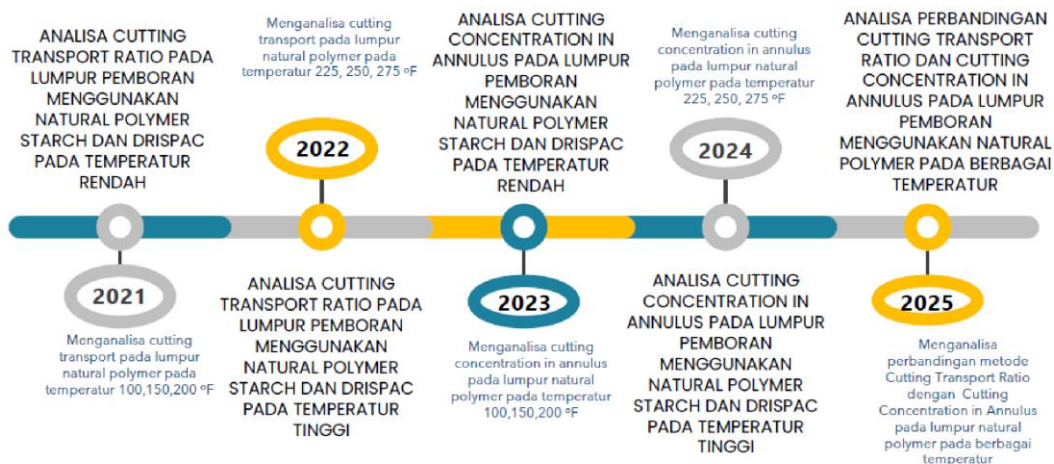
PETA JALAN PENELITIAN < RIDHA HUSLA ST.,MT >



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



PETA JALAN PENELITIAN < GHANIMA YASMANIAR ST.,MT>



PETA JALAN PENELITIAN <Prayang Sunny Yulia ST.,MT>

LAMPIRAN 2. LUARAN PENELITIAN

LUARAN 1 :

Kategori Luaran : Hak Kekayaan Intelektual

Status : Tercatat/Tersedia

Jenis HKI : Hak Cipta

Nama HKI : ANALISA CUTTING CONCENTRATION IN ANNULUS PADA LUMPUR PEMBORAN MENGGUNAKAN NATURAL POLYMER STARCH DAN DRISPAC PADA TEMPERATUR TINGGI

No. Pendaftaran : EC00202437345

Tanggal Pendaftaran : 2024-05-13

No. Pencatatan : 000612702

Penulis (Tim Peneliti) :

1. Ridha Husla, S.T., M.T.
2. Apriandi Rizkina Rangga Wastu , S.T., M.T.
3. Ghanima Yasmaniar, S.T., M.T.
4. Prayang Sunny Yulia, S.T., M.T.
5. DAVID MICHAEL

LUARAN 2 :

Kategori Luaran : Publikasi di Jurnal

Status : Submitted

Jenis Publikasi 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 ADDITION OF DRISPAC IN THE PROCESS OF LIFTING CUTTING IN THE DRILLING PROCESS

Penulis (Tim Peneliti) :

1. Ridha Husla, S.T., M.T. (First Author)
2. Apriandi Rizkina Rangga Wastu , S.T., M.T. (Other Author)
3. Ghanima Yasmaniar, S.T., M.T. (Other Author)
4. Prayang Sunny Yulia, S.T., M.T. (Other Author)
5. DAVID MICHAEL (Other Author)
6. FADILAH ALDO ALIMUDIN (Other Author)
7. ANGGI MAYASARI ST (Other Author)