PENGARUH *SOLID CONTENT* TERHADAP REOLOGI LUMPUR

KCl – POLIMER DI PT CHEVRON PACIFIC INDONESIA

Bima Mahendra1, Bambang Yudho Suranta2, dan Agus Alexandri3

STEM Akamigas, Jl. Gajah Mada No. 38, Cepu

*E-mail*: bimamahendra695@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu komponen penting dalam proses pemboran adalah lumpur pemboran. Selama pemboran berlangsung sifat reologi dan kandungan padatan dalam lumpur harus dimonitor. Sifat reologi yang penting dalam lumpur meliputi *Plastic Viscosity*, *Yield Point*,dan *Gel Strength.* Padatan dibagi menjadi *Low Gravity Solid* dan *High Gravity Solid*. Seiring bertambahnya jumlah padatan, maka sifat reologi lumpur juga dapat berubah. Lumpur yang digunakan pada sumur X lapangan Y adalah *Water Base Mud* jenis KCl – Polimer dengan rentang densitas 8.7 – 9.1 ppg. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, *High Gravity Solid* tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan sifat reologi lumpur pemboran, sedangkan *Low Gravity Solid* dan *Solid Content* berpengaruh signifikan terhadap perubahan sifat reologi lumpur pemboran, yaitu masing-masing 20,3% dan 18,5%. Namun, pengaruh bertambahnya kandungan padatan terhadap sifat *Yield Point* tidak terlalu signifikan, yaitu hanya 0,2 – 1,5%. Perubahan sifat reologi tersebut ikut andil dalam menimbulkan kendala-kendala dalam operasi pemboran sumur X lapangan Y, meliputi *Equivalent Circulating Density* naik 7,52%, tekanan *Swab* dan *Surge* naik 7,9 – 8%, *Rate of Penetration* turun 22 – 26,8%, dan terjadi *Pipe Stuck* sepanjang *Horizontal Section* sebanyak 5 kali. Oleh karena itu, kandungan padatan dalam lumpur juga harus dimonitor untuk menjaga kestabilan sifat reologi lumpur.

**Kata kunci:** KCl - Polimer, reologi lumpur, kandungan padatan, *high gravity solid*, *low gravity solid*

***ABSTRACT***

*The important component in drilling process is drilling mud. During drilling process, rheologies and solid contents should be monitored. The important mud rheologies are Plastic Viscosity, Yield Point, and Gel Strength. Solids are divided into Low Gravity Solids and High Gravity Solids. As solids increase, mud rheologies are changed. The mud system for well X field Y was Water Base Mud as KCl-Polymer with density 8.7 – 9.1 ppg. Based on calculation and analysis, High Gravity Solids do not significantly affect the mud rheology, while Low Gravity Solids and Solid Contents affect the mud rheology significantly each 20.3% and 18.5%. However, the influence of solids towards Yield Point is not significant only 0.2 – 1.5%. The changing of mud rheologies caused problems in drilling operations of wells X field Y, include Equivalent Circulating Density increased 7.52%, Surge and Swab pressures increased 7.9 – 8%, Rate of Penetration dropped 22 – 26.8%, and Pipe Stuck occured 5 times along Horizontal Section. Therefore, solid contents should be monitored to maintain stability of mud rheology.*

***Key words:*** *KCl – Polymer, mud rheology, solid content, high gravity solid, low gravity solid*

1. **PENDAHULUAN**

Analisis terhadap lumpur pemboran sangat penting dilakukan untuk mengenali sifat-sifat fisik lumpur pemboran tersebut. Komposisi dan sifat-sifat fisik lumpur pemboran menjadi salah satu faktor yang sangat berpengaruh untuk menentukan keberhasilan suatu operasi pemboran. Karena berbagai faktor-faktor seperti kecepatan, efisiensi, keselamatan, dan biaya operasi pemboran sangat tergantung dari lumpur pemboran yang dipakai.

Terdapat tiga fasa komponen dalam lumpur pemboran. Salah satunya adalah fasa padatan. Padatan ini biasanya dibagi menjadi dua jenis, yaitu padatan yang bereaksi dengan fasa cair lumpur (*reactive solid*) dan padatan yang tidak bereaksi dengan fasa cair lumpur (*inert solid*).

1. ***Solid Content***

*Solid Content* adalah kandungan padatan di dalam lumpur pemboran. Padatan dalam lumpur pemboran tidak hanya berasal dari bahan *additive* lumpur saja (bentonit, barit, dan material lain), melainkan juga bisa berasal dari formasi (*drill solid*). Padatan yang berasal dari formasi biasanya berupa serbuk bor (*cutting*) yang merupakan hasil gerusan dari mata bor (*bit*) selama proses pemboran berlangsung. Untuk menentukan kandungan padatan dalam lumpur digunakan alat *Mud Retort*.

*Solid Content* mengacu pada padatan yang larut dan tidak larut dalam sistem lumpur pemboran. Ada tiga jenis padatan yang terdapat dalam lumpur pemboran, antara lain:

* *Soluble Material*, seperti garam.
* *Insoluble High Gravity* *Solid* (HGS), seperti material pemberat (barit, kalsium karbonat, hematit, dll).
* *Insoluble Low Gravity Solid* (LGS) atau *Drill Solid*, seperti partikel padatan dari *cutting.*

Kandungan padatan di dalam lumpur pemboran sangat diperlukan untuk membuat sifat-sifat lumpur pemboran yang diinginkan. Kandungan padatan yang baik di dalam lumpur harus disesuaikan dengan volume lumpur dan jenis lumpur yang akan digunakan. Sehingga jumlah padatan dalam lumpur pemboran harus selalu dikontrol. Padatan yang berlebihan dapat menjadi kontaminan yang sangat tidak diharapkan pada lumpur pemboran karena akan berpengaruh terhadap sifat-sifat lumpur pemboran, terutama pada reologi lumpur pemboran. Jika reologi lumpur pemboran berubah, maka hal ini akan berpotensi menimbulkan masalah-masalah di dalam operasi pemboran, meliputi:

* Merangsang terjadinya *stuck pipe* (pipa terjepit) sehingga operasi pemboran terhenti dan *rig rental cost* naik ditambah biaya melepaskan jepitan
* Berat jenis lumpur naik melebihi yang diperlukan, kemungkinan terjadi *lost circulation* yang juga akan menghentikan pemboran, menaikkan *rig cost* ditambah biaya mengatasinya yang cukup besar.
* Kecepatan pemboran rendah, biaya pemakaian pahat (*bit cost*) naik.
1. ***High Gravity Solid***

*High Gravity Solid* (HGS) merupakan padatan seperti barit atau hematit, yang ditambahkan ke dalam lumpur untuk meningkatkan densitas, atau dikenal sebagai material pemberat. Konsentrasi *High Gravity Solid* dalam *weighted mud* diukur oleh *mud engineer* sehari-hari menggunakan data berat lumpur, data *retort*, data *chloride titration*, dan informasi lainnya. Padatan ini dilaporkan dalam satuan lbm/bbl atau vol.%.

**Tabel 1. Berat Jenis Material Pemberat**

|  |  |
| --- | --- |
| **Material Pemberat** | **Berat Jenis (gr/cc)** |
| Barite | 4.2 |
| Calcium Carbonate | 2.7 |
| Hematite | 5.0 – 5.3 |

1. ***Low Gravity Solid***

*Low Gravity Solid* (LGS) adalah jenis padatan dalam lumpur pemboran yang memiliki densitas lebih rendah dari barit atau hematit yang digunakan untuk menaikkan densitas lumpur, termasuk *drill solids* dan tambahan *bentonite clay*. *Mud engineer* menghitung konsentrasi *Low Gravity Solid* dan jenis padatan lainnya atas dasar berat lumpur, analisis *retort*, analisis *chloride titration,* dan informasi lainnya. Padatan ini dilaporkan dengan satuan lbm/bbl atau vol.%. *Low gravity solid* biasanya diasumsikan memiliki densitas 2.60 gr/cc.

1. **METODE**

Penelitian ini merupakan penelitian asosiatif kuantitatif yang bertujuan untuk mengetahui nilai hubungan antara dua variabel atau lebih, yaitu pengaruh *solid content* terhadap reologi lumpur dengan menggunakan hasil yang berupa data berbentuk angka.

1. **Pengambilan Sampel**

Metode pengambilan data menggunakan teknik *Probably Sampling* dengan jenis *Simple Random Sampling,* karena memberikan peluang yang sama bagi setiap unsur (anggota) populasi untuk dipilih menjadi anggota sampel, dimana pengambilan anggota sampel dilakukan secara acak. Populasi dari penelitian ini adalah sumur-sumur di lapangan Y. Sedangkan sampel dari penelitian ini adalah sumur X.

1. **Pengumpulan Data**

Data-data untuk penelitian ini diperoleh dari laporan hasil analisis lumpur pemboran di lapangan dan laboratorium untuk sumur X lapangan Y. Data yang digunakan meliputi data berat lumpur, data *solid content* dari hasil analisis *retort* dan analisis *chloride titration,* data *methylene blue test* (MBT), data *drilling mud report*, dan data formasi serta lithologi batuan yang ditembus.

Variabel dalam penelitian ini meliputi variabel independen (X), yaitu *Solid Content*, variabel dependen (Y), yaitu Reologi Lumpur, dan variabel moderator (Z), yaitu Formasi Batuan. Variabel-variabel tersebut dijabarkan ke dalam indikator penelitian sebagai berikut:

1. *Solid Content*, meliputi *High Gravity Solid* dan *Low Gravity Solid.*
2. Reologi Lumpur, meliputi R600, R300, R200, R100, R6, R3, *Plastic Viscosity* (PV), *Yield Point* (YP), dan *Gel Strength.*
3. Formasi Batuan, meliputi jenis formasi dan lithologi yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Bentuk hubungan antar variabel dalam penelitian ini yaitu Hubungan Variabel Asimetris, dimana variabel yang satu mempengaruhi variabel yang lainnya, yaitu *solid content* dapat mempengaruhi reologi lumpur.

1. **Analisis Data**

Data akan dianalisis dan diolah dalam bentuk tabel maupun grafik. Secara umum teknik analisis data pada penelitian ini menggunakan metode statistik, dan untuk mempermudah dibantu oleh program komputer, seperti SPSS, *Minitab,* dan *Microsoft Excel.* Penelitian ini menggunakan statistik deskriptif dan inferensial dengan analisis Korelasi *Pearson,* *Spearman,* dan *Kendall* serta Regresi Linier. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara parameter dalam menentukan pengaruh *solid content* terhadap reologi lumpur pemboran setelah dilakukan analisis pada data-data yang diperoleh. Untuk metode perhitungan reologi lumpur menggunakan persamaan aliran *Bingham Plastic*. Data yang sudah diolah, disajikan dalam bentuk hasil analisis, tabel dan grafik yang dijadikan dasar dalam penentuan pengaruh *solid content* terhadap reologi lumpur pemboran. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

1. **PEMBAHASAN**

Lumpur yang digunakan pada sumur X lapangan Y adalah *Water Base Mud* jenis KCl – Polimer dengan rentang densitas 8.7 – 9.1 ppg (*Un-Weighted Mud*).

**Tabel 2. Data Lumpur Pemboran**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parameter** | **Satuan** | **Nilai** |
| Mud Weight | sg / ppg | 1.04 - 1.09 / 8.7 – 9.1 |
| Funnel Viscosity | sec/quart | 40 – 81 |
| Plastic Viscosity | Cps | 9 – 21 |
| Yield Point | lbs/100 ft2 | 14 – 29 |
| Gel Strength 10’/10” | lbs/100 ft2 | 2 - 11 / 3 – 16 |
| Fluid Loss | cc/30 min | 4.4 – 12 |
| API Cake | Inch | 1 |
| pH |  | 8.5 – 10 |
| MBT | Ppb | 2.5 – 7.5 |
| Solid Content | % | 0.97 – 2.92 |
| Sand Content | % | 0.1 – 0.5 |

1. **Analisis *High Gravity Solid***

Berdasarkan hasil analisis data*,* didapatkan nilai *High Gravity Solid* pada lumpur KCl – Polimer yang digunakan pada sumur X lapangan Y tercatat antara 2.1 – 2.9% dari sistem. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan *Microsoft Excel* dan *software SPSS* didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel “*Anova*” berfungsi untuk menjelaskan apakah ada pengaruh yang signifikan antara HGS terhadap reologi lumpur. Dari *output* Tabel 3 diperoleh nilai rata-rata Fhitung = 0,624 dengan rata-rata tingkat signifikansi > probabilitas (0,527 > 0,05) maka model regresi tidak dapat digunakan untuk memprediksi variabel HGS. Atau dapat dikatakan, bahwa HGS tidak berpengaruh terhadap reologi lumpur.

Dari *output* tabel “*Coefficients*” diketahui rata-rata nilai t hitung = -0,460 dengan nilai signifikansi 0,527 > 0,05 maka H0 diterima, yang berarti tidak ada pengaruh yang signifikan antara variabel HGS terhadap variabel reologi lumpur.

1. **Analisis *Low Gravity Solid***

Data *Low Gravity Solid* diperoleh dari hasil *record* pada *drilling mud report* pada operasi pemboran. Dari hasil analisis data *drilling mud report,* didapatkan nilai *Low Gravity Solid* pada lumpur KCl – Polimer yang digunakan untuk sumur X lapangan Y tercatat antara 1.06 – 2.95% dari sistem.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan *Microsoft Excel* dan *software SPSS* didapatkan hasil seperti pada Tabel 4. Tabel tersebut menjelaskan tentang besarnya nilai korelasi/hubungan yang dilambangkan dengan “*R*”, yaitu rata-rata sebesar 0,443. Sedangkan pada kolom “*R Square*” menjelaskan besarnya persentase (%) pengaruh variabel independen (X) terhadap variabel dependen (Y) yang disebut dengan koefisien determinasi. Dari Tabel 4 diperoleh nilai koefisien determinasi (*RSquare*) rata-rata sebesar 0,203 artinya bahwa pengaruh LGS terhadap reologi lumpur adalah sebesar 20,3%, sedangkan sisanya dipengaruhi variabel lain.

Tabel “*Anova*” berfungsi untuk menjelaskan apakah ada pengaruh yang signifikan antara LGS terhadap reologi lumpur. Dari *output* Tabel 4 diperoleh nilai rata-rata Fhitung = 9,854 dengan rata-rata tingkat signifikansi < probabilitas (0,011 < 0,05) maka model regresi dapat digunakan untuk memprediksi variabel LGS. Atau dapat dikatakan, LGS berpengaruh terhadap reologi lumpur.

Pada tabel “*Coefficients*”, rata-rata nilai “*Constant*” (a) adalah 19,981, yang berarti apabila LGS sama dengan nol (tidak ada perubahan), maka reologi lumpur sebesar 19,981. Sedangkan rata-rata nilai “*LGS*” (b) adalah 3,121, dimana koefisien regresi positif (searah) sebesar 3,121 yang berarti jika LGS meningkat sebesar 1 satuan, maka reologi lumpur akan meningkat sebesar 3,121 satuan. Sehingga persamaan regresi dapat ditulis Y = 19,981 + 3,121X.

Dari *output* tabel “*Coefficients*” diketahui rata-rata nilai t hitung = 3,056 dengan nilai signifikansi 0,011 < 0,05 maka H0 ditolak, yang berarti ada pengaruh yang signifikan antara variabel LGS terhadap variabel reologi lumpur.

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa adanya penambahan *Low Gravity Solid* pada lumpur sangat mempengaruhi perubahan sifat reologi lumpur pemboran, terutama dapat dilihat pada nilai pembacaan *Fann VG Meter Plastic Viscosity,* *Gel Strength, Funnel Viscosity,* dan *Apparent Viscosity* yang mengalami peningkatan. Namun di sisi lain, *Low Gravity Solid* tidak terlalu berpengaruh terhadap sifat *Yield Point* dari lumpur pada sumur-sumur di lapangan Y. Dari Tabel 4 diperoleh nilai “*R Square*” untuk *Yield Point* hanya 0,015 artinya bahwa pengaruh LGS terhadap *Yield Point* hanya sebesar 1,5%.

1. **Analisis *Solid Content***

Dari hasil analisis data *drilling mud report*, didapatkan jumlah *Solid Content* pada lumpur KCl – Polimer yang digunakan pada sumur X lapangan Y sebesar 0.97 – 2.92% dari sistem.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan *Microsoft Excel* dan *software SPSS* didapatkan hasil seperti pada Tabel 5. Tabel tersebut menjelaskan tentang besarnya nilai korelasi/hubungan yang dilambangkan dengan “*R*”, yaitu rata-rata sebesar 0,423. Sedangkan pada kolom “*R Square*” menjelaskan besarnya persentase (%) pengaruh variabel independen (X) terhadap variabel dependen (Y) yang disebut dengan koefisien determinasi. Dari Tabel 5 diperoleh nilai koefisien determinasi (*RSquare*) rata-rata sebesar 0,185 artinya bahwa pengaruh *Solid Content* terhadap reologi lumpur adalah sebesar 18,5%, sedangkan sisanya dipengaruhi variabel lain.

Tabel “*Anova*” berfungsi untuk menjelaskan apakah ada pengaruh yang signifikan antara LGS terhadap reologi lumpur. Dari *output* Tabel 5 diperoleh nilai rata-rata Fhitung = 8,753 dengan rata-rata tingkat signifikansi < probabilitas (0,017 < 0,05) maka model regresi dapat digunakan untuk memprediksi variabel *Solid Content*. Atau dapat dikatakan, bahwa *Solid Content* berpengaruh terhadap reologi lumpur.

Pada tabel “*Coefficients*”, rata-rata nilai “*Constant*” (a) adalah 20,536, yang berarti apabila *Solid Content* sama dengan nol (tidak ada perubahan), maka reologi lumpur sebesar 20,536. Sedangkan rata-rata nilai “*Solid*” (b) adalah 2,883, dimana koefisien regresi positif (searah) sebesar 2,883 yang berarti jika *Solid Content* meningkat sebesar 1 satuan, maka reologi lumpur akan meningkat sebesar 2,883 satuan. Sehingga persamaan regresi dapat ditulis Y = 20,536 + 2,883X.

Dari *output* tabel “*Coefficients*” diketahui rata-rata nilai t hitung = 2,884 dengan nilai signifikansi 0,017 < 0,05 maka H0 ditolak, yang berarti ada pengaruh yang signifikan antara variabel *Solid Content* terhadap variabel reologi lumpur.

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa adanya penambahan *Solid Content* pada lumpur sangat mempengaruhi perubahan sifat reologi lumpur pemboran, terutama dapat dilihat pada nilai pembacaan *Fann VG Meter Plastic Viscosity,* *Gel Strength, Funnel Viscosity,* dan *Apparent Viscosity* yang mengalami peningkatan. Namun di sisi lain, *Solid Content* tidak terlalu berpengaruh terhadap sifat *Yield Point* dari lumpur pada sumur-sumur di lapangan Y. Dari Tabel 5 diperoleh nilai “*R Square*” untuk *Yield Point* hanya 0,002 artinya bahwa pengaruh *Solid Content* terhadap *Yield Point* sangat kecil, yaitu hanya sebesar 0,2%.

Hasil analisis dari *Solid Content* terhadap reologi lumpur menunjukkan adanya kesamaan atau kemiripan *behaviour* dengan hasil analisis *Low Gravity Solid* terhadap reologi lumpur. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kandungan dari *Solid Content* dalam lumpur KCl – Polimer ini adalah sebagian besar atau rata-rata merupakan *Low Gravity Solid.* Hal ini diperkuat dengan nilai rata-rata *Average Solid Gravity* yang tercatat dalam *Drilling Mud Report* kurang dari 3,8 yaitu hanya sebesar 2,58.

**Tabel 3. Hasil Regresi *High Gravity Solid***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **HGS** | **Model Summary** | **Anova** | **Coefficients** |
| **R** | **R Square** | **Std Error**  | **Uji F** | **Sig.** | **Constant** | **HGS** | **Uji t** | **Sig.** |
| R 600 (rpm) | 0,320 | 0,001 | 9,44747 | 0,037 | 0,848 | 62,315 | -1,868 | -0,193 | 0,848 |
| R 300 (rpm) | 0,096 | 0,009 | 6,20923 | 0,347 | 0,559 | 50,739 | -3,749 | -0,589 | 0,559 |
| R 200 (rpm) | 0,106 | 0,011 | 6,26334 | 0,418 | 0,522 | 42,678 | -4,152 | -0,647 | 0,522 |
| R 100 (rpm) | 0,130 | 0,017 | 5,72688 | 0,635 | 0,431 | 35,777 | -4,676 | -0,797 | 0,431 |
| R 6 (rpm) | 0,080 | 0,006 | 3,61979 | 0,236 | 0,630 | 6,626 | 1,802 | 0,486 | 0,630 |
| R 3 (rpm) | 0,059 | 0,003 | 2,46406 | 0,130 | 0,721 | 6,239 | 0,910 | 0,360 | 0,721 |
| Gel Strength 10'  | 0,142 | 0,020 | 2,08144 | 0,760 | 0,389 | 12,241 | -1,859 | -0,872 | 0,389 |
| Gel Strength 10"  | 0,198 | 0,039 | 3,21242 | 1,513 | 0,227 | 21,055 | -4,050 | -1,230 | 0,227 |
| Funnel Vis  | 0,128 | 0,016 | 7,38226 | 0,614 | 0,438 | 72,044 | -5,931 | -0,784 | 0,438 |
| Apparent Vis  | 0,035 | 0,001 | 4,81794 | 0,045 | 0,834 | 31,642 | -1,042 | -0,211 | 0,834 |
| PV  | 0,086 | 0,007 | 3,48829 | 0,277 | 0,602 | 11,575 | 1,881 | 0,526 | 0,602 |
| YP  | 0,250 | 0,063 | 3,49154 | 2,475 | 0,124 | 39,164 | -5,630 | -1,573 | 0,124 |
| ECD (ppg) | 0,242 | 0,059 | 0,47458 | 2,300 | 0,138 | 12,214 | -0,738 | -1,517 | 0,138 |
| Rata-Rata | 0,136 | 0,016 | 4,850 | 0,624 | 0,527 | 32,675 | -2,364 | -0,460 | 0,527 |

**Tabel 4. Hasil Regresi *Low Gravity Solid***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **LGS** | **Model Summary** | **Anova** | **Coefficients** |
| **R** | **R Square** | **Std Error**  | **Uji F** | **Sig.** | **Constant** | **HGS** | **Uji t** | **Sig.** |
| R 600 (rpm) | 0,442 | 0,195 | 8,47868 | 8,985 | 0,005 | 44,381 | 6,049 | 2,997 | 0,005 |
| R 300 (rpm) | 0,371 | 0,137 | 5,79416 | 5,890 | 0,020 | 33,800 | 3,347 | 2,427 | 0,020 |
| R 200 (rpm) | 0,406 | 0,165 | 5,75631 | 7,300 | 0,010 | 23,928 | 3,702 | 2,702 | 0,010 |
| R 100 (rpm) | 0,327 | 0,107 | 5,45780 | 4,437 | 0,042 | 17,763 | 2,736 | 2,106 | 0,042 |
| R 6 (rpm) | 0,345 | 0,119 | 3,40821 | 5,003 | 0,031 | 7,351 | 1,814 | 2,237 | 0,031 |
| R 3 (rpm) | 0,412 | 0,170 | 2,24936 | 7,556 | 0,009 | 5,401 | 1,472 | 2,749 | 0,009 |
| Gel Strength 10'  | 0,553 | 0,305 | 1,75243 | 16,269 | 0,000 | 3,791 | 1,682 | 4,033 | 0,000 |
| Gel Strength 10"  | 0,588 | 0,345 | 2,65190 | 19,514 | 0,000 | 4,548 | 2,788 | 4,417 | 0,000 |
| Funnel Vis  | 0,467 | 0,218 | 6,58217 | 10,314 | 0,003 | 45,816 | 5,032 | 3,212 | 0,003 |
| Apparent Vis  | 0,431 | 0,186 | 4,35001 | 8,443 | 0,006 | 22,430 | 3,009 | 2,906 | 0,006 |
| PV  | 0,533 | 0,284 | 2,96239 | 14,687 | 0,000 | 10,581 | 2,702 | 3,832 | 0,000 |
| YP  | 0,123 | 0,015 | 3,57882 | 0,573 | 0,454 | 23,218 | 0,645 | 0,757 | 0,454 |
| ECD (ppg) | 0,480 | 0,230 | 0,42913 | 11,065 | 0,002 | 9,571 | 0,340 | 3,326 | 0,002 |
| Rata-Rata | 0,443 | 0,203 | 4,495 | 9,854 | 0,011 | 19,981 | 3,121 | 3,056 | 0,011 |

**Tabel 5. Hasil Regresi *Solid Content***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **SOLID** | **Model Summary** | **Anova** | **Coefficients** |
| **R** | **R Square** | **Std Error**  | **Uji F** | **Sig.** | **Constant** | **HGS** | **Uji t** | **Sig.** |
| R 600 (rpm) | 0,435 | 0,189 | 8,51144 | 8,631 | 0,006 | 44,980 | 5,809 | 2,938 | 0,006 |
| R 300 (rpm) | 0,342 | 0,117 | 5,86128 | 4,913 | 0,033 | 34,553 | 3,018 | 2,216 | 0,033 |
| R 200 (rpm) | 0,368 | 0,136 | 5,85552 | 5,812 | 0,021 | 24,888 | 3,279 | 2,411 | 0,021 |
| R 100 (rpm) | 0,273 | 0,074 | 5,55714 | 2,969 | 0,093 | 18,903 | 2,224 | 1,723 | 0,093 |
| R 6 (rpm) | 0,387 | 0,149 | 3,34901 | 6,501 | 0,015 | 7,011 | 1,984 | 2,550 | 0,015 |
| R 3 (rpm) | 0,439 | 0,193 | 2,21732 | 8,853 | 0,005 | 5,290 | 1,533 | 2,975 | 0,005 |
| Gel Strength 10'  | 0,499 | 0,249 | 1,82189 | 12,284 | 0,001 | 4,242 | 1,483 | 3,505 | 0,001 |
| Gel Strength 10"  | 0,517 | 0,267 | 2,80515 | 13,507 | 0,001 | 5,433 | 2,395 | 3,675 | 0,001 |
| Funnel Vis  | 0,410 | 0,168 | 6,78744 | 7,496 | 0,009 | 47,423 | 4,317 | 2,738 | 0,009 |
| Apparent Vis  | 0,423 | 0,179 | 4,36882 | 8,052 | 0,007 | 22,748 | 2,880 | 2,838 | 0,007 |
| PV  | 0,564 | 0,318 | 2,89101 | 17,270 | 0,000 | 10,427 | 2,791 | 4,156 | 0,000 |
| YP  | 0,045 | 0,002 | 3,60284 | 0,074 | 0,788 | 24,127 | 0,227 | 0,271 | 0,788 |
| ECD (ppg) | 0,431 | 0,170 | 0,44555 | 7,589 | 0,009 | 9,694 | 0,285 | 2,755 | 0,009 |
| Rata-Rata | 0,423 | 0,185 | 4,548 | 8,753 | 0,017 | 20,536 | 2,883 | 2,884 | 0,017 |

1. **Dampak Operasional *Solid Content***

*Solid content* akan ikut andil dalam memberikan dampak terhadap kegiatan operasional pada operasi pemboran sumur X lapangan Y. Dampak utama dari *solid* ini adalah merubah sifat reologi lumpur pemboran saat operasi pemboran berlangsung dan akhirnya akan berdampak pada kelancaran operasional pemboran bahkan dapat menyebabkan timbulnya kendala-kendala yang tidak diinginkan dalam operasi pemboran.

Rentang densitas lumpur KCl – Polimer yang digunakan pada lapangan Y adalah 8,7 – 9,1 ppg. Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa *Equivalent Circulating Density* (ECD) menjadi lebih tinggi jika *Solid Content* terutama *Low Gravity Solid* (LGS) meningkat. Pada trayek 12-1/4” ECD tercatat bisa mencapai 9,54 ppg. Sedangkan pada trayek 8-1/2” ECD tercatat bisa mencapai 9,90 ppg. Rata-rata peningkatan nilai ECD sebesar 0,67 ppg atau 7,52%. Secara teori, ECD yang berlebihan akan menyebabkan *formation fracture* dan masalah *lost circulation.* Namun, berdasarkan hasil observasi *operation summary*, tidak dijumpai adanya problem *lost circulation* pada trayek tersebut.

Pengangkatan *cutting* yang buruk dapat menyebabkan terjadinya *problem* pipa terjepit (*pipe sticking*). Berdasarkan hasil *cutting analysis*, didapatkan bahwa sebagian besar *cutting* yang terangkat adalah berupa pasir yang merupakan *High Gravity Solid* (HGS). Dari hasil observasi *operation summary*, pada trayek 12-1/4” tercatat lima kali terjadi *pipe stuck* pada *horizontal section,* yaitu pada kedalaman 3869 ft, 4115 ft, 4437 ft, 4503 ft, dan 4707 ft. Besarnya *drag* yang terjadi pada kedalaman tersebut sebesar 25 – 30 Klbs. *Problem* tersebut berhasil diatasi dengan cara *work on pipe* dan dengan melakukan *reciprocated string*. Dari hasil *report*, diindikasikan bahwa *problem* tersebut disebabkan oleh pembersihan lubang yang kurang baik (*poor hole cleaning*), Hal ini berarti, masih terdapat banyak sisa-sisa *cutting* HGS (pasir) yang mengendap di dasar lubang pada *horizontal section.*

Secara teori, konsentrasi tinggi dari *Solid Content* akan mengurangi laju pemboran atau *Rate of Penetration* (ROP). Jika *drill solid* tidak dikontrol dengan baik, kinerja pemboran akan menurun. Berdasarkan hasil perhitungan, dengan bertambahnya nilai reologi lumpur dan ECD, maka didapatkan rata-rata penurunan ROP pada trayek 12-1/4” sebesar 22%, sedangkan pada trayek 8-1/2” sebesar 26,8%.

Secara teori, tekanan *swab* dan *surge* yang berlebihan merupakan akibat dari tingginya jumlah *Solid Content* dalam sistem lumpur pemboran. Tekanan ini utamanya terjadi pada saat kegiatan cabut masuk pipa pemboran. Berdasarkan hasil analisis perhitungan, didapatkan adanya penambahan tekanan *swab* dan *surge* apabila terdapat kenaikan jumlah *Solid Content* dalam lumpur. Pada trayek 12-1/4” terjadi kenaikan tekanan *swab* dan *surge* sebesar 39,8 psi atau 7,8%. Sedangkan pada trayek 8-1/2” terjadi kenaikan tekanan *swab* dan *surge* sebesar 202,3 psi atau 8%. Apabila tekanan *swab* dan *surge* ini tidak dikontrol maka dapat mengakibatkan adanya *kick* atau pecah formasi yang mengakibatkan *lost circulation.* Selain itu perlu juga dikontrol kecepatan rata-rata pada saat cabut maupun memasukkan pipa.

1. **SIMPULAN**

Dari hasil analisis dan perhitungan mengenai pengaruh *Solid Content* terhadap sifat reologi lumpur dapat disimpulkan bahwa:

* + 1. Adanya penambahan jumlah *High Gravity Solid* dalam lumpur tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan sifat reologi lumpur pemboran.
		2. Adanya penambahan jumlah *Low Gravity Solid* dalam lumpur berpengaruh signifikan terhadap perubahan sifat reologi lumpur pemboran, yaitu sebesar 20,3%. Namun hanya sedikit pengaruhnya terhadap *Yield Point* yaitu hanya sebesar 1,5%. Hal ini dikarenakan kandungan *Low Gravity Solid*-nya sebagian besar merupakan *non*-*swelling clay* yang dibuktikan dengan adanya hasil analisis MBTdari *Drilling Mud Report* rata-rata terbaca 5 ppb*.* Artinya tidak ada peningkatan kereaktifan *clay* yang signifikan.
		3. Adanya penambahan *Solid Content* dalam lumpur berpengaruh signifikan terhadap perubahan sifat reologi lumpur pemboran, yaitu sebesar 18,5%. Namun, *Solid Content* sangat sedikit pengaruhnya terhadap *Yield Point* yaitu hanya sebesar 0,2%.
		4. Hasil dari perbandingan *Solid Content* dan *Low* *Gravity Solid* terhadap reologi lumpur menunjukkan adanya kesamaan atau kemiripan *behaviour* pada perubahan reologi lumpur. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kandungan *Solid Content* dalam lumpur ini sebagian besar merupakan *Low Gravity Solid*. Hal ini diperkuat dengan nilai rata-rata *Average Solid Gravity* yang tercatat dalam *Drilling Mud Report* kurang dari 3,8 yaitu hanya sebesar 2,58.
		5. Perubahan sifat reologi ikut andil dalam menimbulkan kendala-kendala dalam operasi pemboran sumur X lapangan Y, meliputi *Equivalent Circulating Density* (ECD) naik sebesar 7,52%, tekanan *Swab* dan *Surge* naik sebesar 7,9 – 8%, *Rate of Penetration* (ROP) turun sebesar 22 – 26%, dan terjadi *Pipe Stuck* sebanyak 5 kali sepanjang *Horizontal Section*.
1. **DAFTAR PUSTAKA**
2. Adams, Neal. “Drilling Engineering: A Complete Well Planning Approach”. Tulsa, Oklahoma: PenWell Publishing Company; 1985.
3. Amin, M. Mustaghfirin. “Lumpur dan Hidrolika Lumpur Pemboran”. Jakarta: Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia; 2013.
4. Anonim.. “Hanbook of Drilling Fluids”. USA: M-I Swaco; 1998
5. API Recommended Practice 13B-1 Second Edition, Standard Practice for Field Testing Water-Based Drilling Fluids; September 1997.
6. Badu, Kaswir. “Diktat Lumpur Pemboran (Drilling Mud)”. Cepu: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Minyak dan Gas Bumi; 1997.
7. Bourgoyne, Adam T., dkk. “Applied Drilling Engineering”. Richardson, Texas: Society of Petroleum Engineers; 1986.
8. Buntoro, Aris, dan Bambang Yudho Suranta. “Perencanaan Lumpur Pemboran dan Solusi Masalah Secara Praktis”. Cepu: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Minyak dan Gas Bumi; 2000.
9. Caenn, Ryen. “Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids 6th Edition”. Houston, Texas: Gulf Professional Publishing; 2011.
10. Creswell, John W. “Research Design Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan Mixed”. Yogyakarta: Pustaka Pelajar; 2014.
11. Glossary Administration. “Schlumberger Oilfield Glossary”. Houston, Texas – USA: Schlumberger Limited; 2017.
12. Lyons, William C., dkk. “Formulas and Calculations for Drilling, Production, and Workover 4th Edition. Houston, Texas: Gulf Professional Publishing; 2015.
13. Philips, Andy. “So You Want to be a Mud Engineer: An Introduction to Drilling Fluids Technology 1st Edition”. Bakersfield, California – USA: CreateSpace Independent Publishing Platform; 2012.
14. Rubiandini. Rudi. “Lumpur dan Suspensi Semen (Teknik Pemboran dan Praktikum)”. Bandung: Institut Teknologi Bandung; 2003.
15. Rubiandini. Rudi. “Teknik Operasi Pemboran Volume 1 & 3 Edisi 1”. Bandung: Institut Teknologi Bandung; 2012.
16. Sugiyono. “Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D”. Bandung: Alfabeta; 2016.