

## EVALUASI EFEKTIVITAS WATER BASE MUD PADA LAPANGAN HIGH PRESSURE HIGH TEMPERATURE

Xena Hanna CH Yawan<sup>1\*</sup>, Muhammad Fajrin Rifki Ramadhan<sup>1</sup>, Falia Shafa Arrayya<sup>1</sup>,  
BM Noenok Februati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Produksi Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan Gajah Mada No.38 Cepu,  
Blora, Jawa Tengah 58315

\*E-mail: xenayawan02@gmail.com

### ABSTRAK

Salah satu tantangan utama dalam penggunaan *Water Base Mud (WBM)* adalah ketidakstabilan bahan kimia aditif setelah terpapar suhu tinggi dalam jangka waktu yang lama dan dapat mengakibatkan perubahan sifat lumpur, yang berdampak pada kinerjanya selama proses pengeboran. Untuk mengatasi hal tersebut maka *Water Base Mud (WBM)* ditingkatkan kinerjanya melalui penambahan berbagai aditif. Aditif ini dirancang untuk meningkatkan sifat reologi, stabilitas, dan kemampuan pendinginan lumpur dalam kondisi ekstrem. Dilakukan uji laboratorium pada sampel *Water Base Mud (WBM)* sebelum dan sesudah paparan suhu tinggi dan tekanan tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas *Water Base Mud (WBM)* pada lapangan *High Pressure High Temperature (HPHT)*.

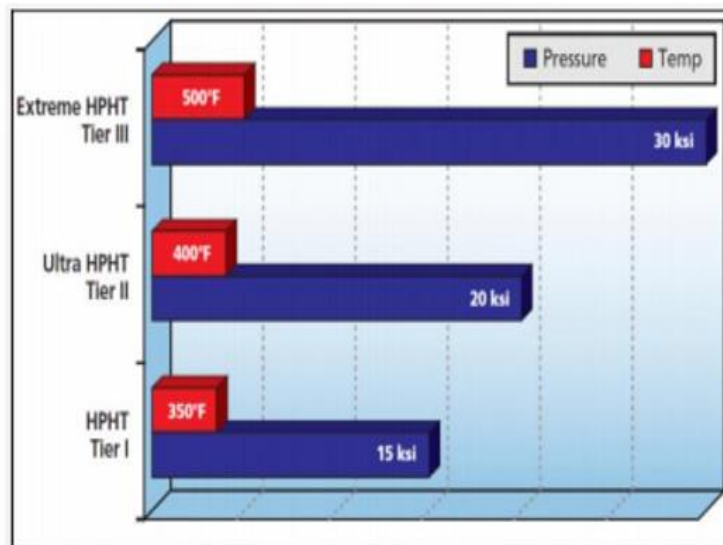
**Kata kunci:** *Water Base Mud, High Pressure High Temperature, Jenis Additive*

### 1. PENDAHULUAN

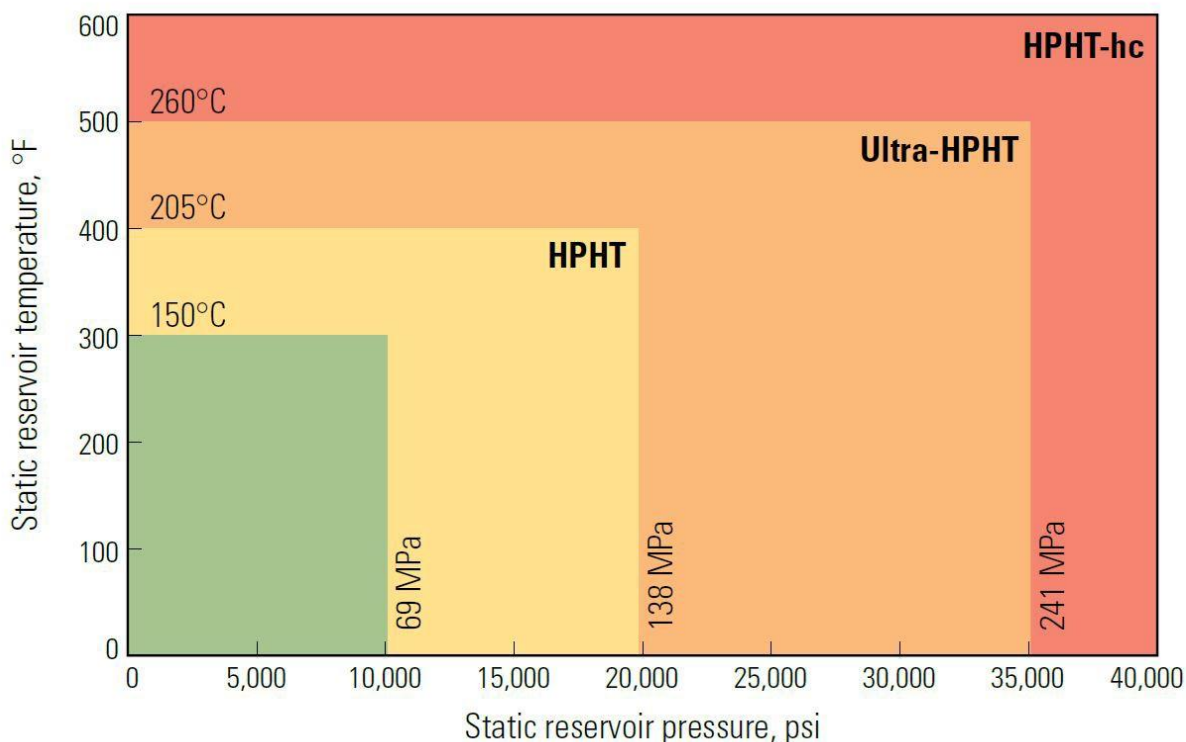
*Additive* yang digunakan dalam penelitian ini difokuskan pada *Water Base Mud (WBM)* yang diaplikasikan di lingkungan *High Pressure High Temperature (HPHT)*. Salah satu tantangan utama dalam penggunaan *Water Base Mud (WBM)* adalah ketidakstabilan bahan kimia aditif setelah terpapar suhu tinggi dalam jangka waktu yang lama. Paparan suhu ekstrem dapat mengakibatkan perubahan sifat lumpur, yang berdampak pada kinerjanya selama proses pengeboran. Oleh karena itu, pemilihan dan formulasi aditif yang tepat sangat penting untuk memastikan efektivitas lumpur dalam kondisi yang sulit ini [1].

Selain tantangan terkait stabilitas kimia, lingkungan pengeboran *High Pressure High Temperature (HPHT)* juga menghadapi masalah lain, terutama karena sebagian besar sumur di daerah ini mengandung formasi serpih. Formasi ini dapat bereaksi terhadap kehadiran *Water Base Mud (WBM)*, yang berpotensi menyebabkan masalah serius, seperti pipa yang terjepit selama pengeboran. Tantangan-tantangan ini memerlukan perhatian dan strategi khusus dari para insinyur untuk mengatasi risiko yang muncul dan memastikan kelancaran operasi pengeboran dengan metode yang sudah dilakukan pengujian laboratorium menghasilkan hasil yang dapat mengatasi risiko yang muncul dan kelayakan terhadap lingkungan [2].

Klasifikasi lingkungan *High Pressure High Temperature (HPHT)* merupakan langkah awal yang krusial dalam memahami dan merencanakan operasi pengeboran. Dalam konteks ini, *reservoir* yang memiliki suhu awal lebih dari 300°F dan tekanan lebih dari 10.000 psi disebut sebagai *High Pressure High Temperature (HPHT)*. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang tantangan yang dihadapi, sumur *High Pressure High Temperature (HPHT)* dibagi menjadi tiga kategori utama: HPHT, *Ultra-HPHT*, dan *Extreme-HPHT*, yang dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2. Pembagian ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman mengenai masalah teknis yang muncul serta untuk mengembangkan teknologi yang sesuai [3].



Gambar 1 Tingkatan HPHT hingga HPHT ekstrem [4]



Gambar 2 Grafik suhu *reservoir statis* vs tekanan *reservoir statis* [4]

Studi menjelaskan bahwa batas suhu dan tekanan yang diakui dapat bervariasi secara signifikan, tergantung pada lokasi geografis, peraturan setempat, serta praktik bisnis yang diterapkan oleh masing-masing perusahaan. Variasi ini mencerminkan kompleksitas dan dinamika operasional yang harus dihadapi dalam lingkungan *High Pressure High Temperature (HPHT)*. Dengan memahami klasifikasi ini, para insinyur dan operator dapat merencanakan strategi yang lebih efektif dan aman dalam menghadapi kondisi ekstrem yang ada di lapangan [4].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuktikan bahwa *Water Base Mud (WBM)* dapat diaplikasikan secara efektif pada kondisi *High Pressure High Temperature (HPHT)*, sehingga

tidak hanya *Oil Base Mud (OBM)* yang dianggap mampu berfungsi optimal dalam lingkungan ekstrem tersebut. Dengan melakukan evaluasi terhadap kinerja *Water Base Mud (WBM)*, penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan bahwa *Water Base Mud (WBM)* memiliki potensi yang sama dalam hal stabilitas, pengendalian viskositas, dan perlindungan formasi pada kondisi *High Pressure High Temperature (HPHT)*. Hasil studi ini diharapkan dapat memberikan solusi alternatif bagi industri pengeboran, serta memperluas pemahaman tentang penggunaan fluida pengeboran dalam berbagai kondisi geologis [5].

## 2. METODE

Dalam penelitian ini, pengujian sampel lumpur dilakukan pada suhu sekitar 300°F dan tekanan 10.000 psi, dengan fokus pada sifat reologi lumpur serta kelayakan lingkungan penggunaannya. Lumpur berbasis air *Water Base Mud (WBM)* yang diuji mengandung *multiwall carbon nanotube (MWCNT)*, yang diharapkan dapat meningkatkan performa lumpur dalam kondisi ekstrem [6]. Formula baru yang diterapkan telah ditentukan dengan skala tertentu dan diuji di laboratorium hulu migas PEM Akamigas Cepu. Pengujian ini berlangsung selama 16 jam di dalam rolling oven untuk memastikan stabilitas dan efektivitas lumpur pada suhu tinggi [7]. Data yang dikumpulkan selama penelitian ini mencakup *Before Hot Rolling (BHR)* dan *After Hot Rolling (AHR)*, yang memberikan gambaran mendetail tentang kinerja lumpur selama proses pengeboran. Pengukuran ini sangat penting untuk mengevaluasi efektivitas lumpur dalam mengatasi tantangan yang dihadapi pada kondisi *High Pressure High Temperature (HPHT)*.

Penelitian ini mengambil studi kasus penggunaan aditif *Water Base Mud (WBM)* di lapangan *High Pressure High Temperature (HPHT)* untuk mengeksplorasi efektivitas dan efisiensinya. Aditif ini dirancang untuk meningkatkan kinerja lumpur tanpa memberikan dampak negatif pada lingkungan. Dengan formula yang dirancang secara khusus, lumpur berbasis air ini diharapkan dapat memenuhi tuntutan operasional sekaligus menjaga keberlanjutan lingkungan. Keberadaan *multiwall carbon nanotube (MWCNT)* memberikan keunggulan dalam hal stabilitas reologi, sehingga dapat diandalkan dalam situasi ekstrem. Dengan demikian, penelitian ini memberikan wawasan baru mengenai penggunaan lumpur ramah lingkungan yang tidak hanya efektif, tetapi juga berkontribusi pada praktik pengeboran yang lebih bertanggung jawab [8].

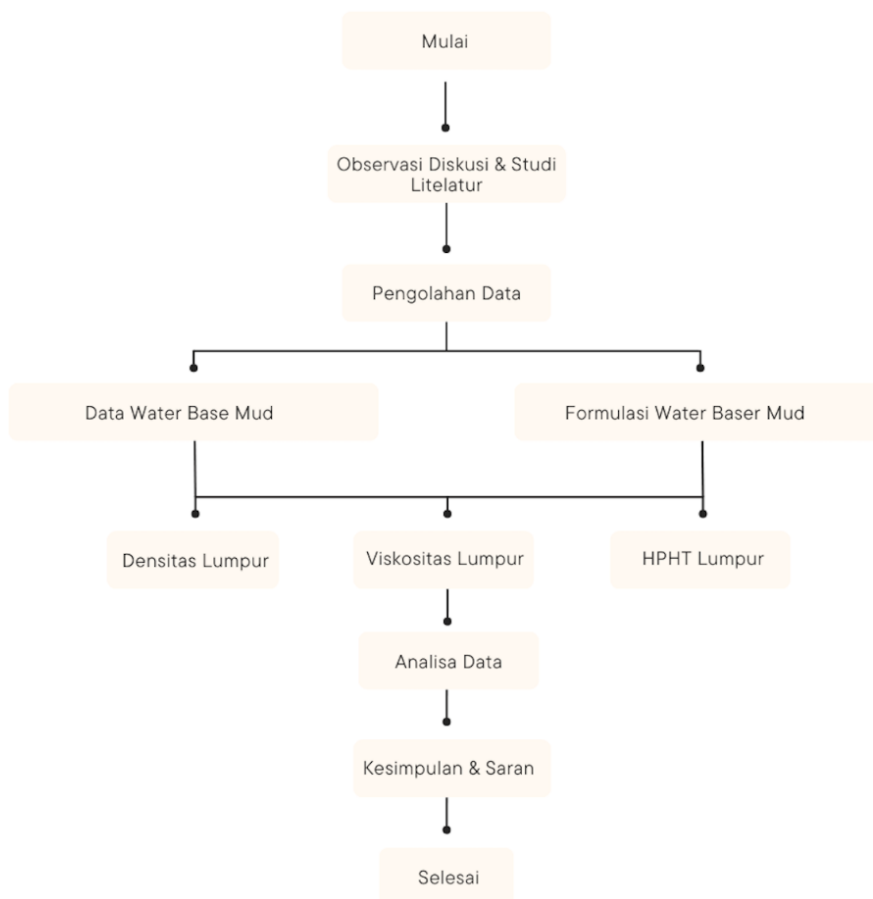
Studi kasus yang diteliti terdiri dari berbagai komponen yang berfungsi untuk meningkatkan performa dan stabilitas lumpur. *Fresh water* sebagai dasar utama untuk menyediakan media cair, sementara *bentonite* berperan dalam meningkatkan viskositas dan kemampuan suspensi.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  digunakan untuk mengatur *pH* dan mengoptimalkan interaksi antar partikel. *Polymer Redispersible Polymer Powder* menambah daya rekat dan fleksibilitas, sedangkan *xhantan gum* dan *carboxymethylcellulose* berfungsi sebagai pengental, meningkatkan stabilitas lumpur serta mengontrol aliran. Kombinasi bahan-bahan ini sangat penting dalam aplikasi pengeboran, membantu mengatasi tantangan yang dihadapi dalam lingkungan geologi yang beragam [9].

Pada penelitian ini digunakan *Water Base Mud (WBM)* sebagai sampel yang diujikan. Sampel WBM tersebut dianalisis menggunakan metode *Hot Roller Oven*. Pengujian ini digunakan untuk menentukan distribusi tekanan pada suhu ekstrem dari sampel yang *Water Base Mud (WBM)*. Sampel *Water Base Mud (WBM)* ditempatkan didalam *Hot Roller Oven* selama 16 jam, kemudian densitas dan rheology dari setiap sampel diukur. Berikut metodologi yang digunakan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Memilih beberapa jenis bahan yang sesuai untuk digunakan dalam pembuatan sampel.
2. Timbang bahan dalam pembuatan sampel.

3. Setelah semua bahan ditimbang, kemudian masuk ke proses pencampuran bahan dengan menggunakan *Hamilton Beach Mixer*.
4. Setelah semua bahan sudah tercampur rata, ukur densitas *Water Base Mud (WBM)* menggunakan *Mud Balance*.
5. Dilanjutkan dengan mengukur rheology WBM dengan menggunakan *Fann VG Meter* untuk mengetahui (*Plastic Viscosity, Yield Point, dan Gel Strength*).
6. Selanjutnya, sampel tersebut dimasukkan kedalam *Hot Roller Oven* selama 16 jam untuk menguji ketahanan performa pada sampel.
7. Setelah 16 jam, sampel dikeluarkan dari *Hot Roller Oven* dan didinginkan terlebih dahulu selama kurang lebih 30 menit.
8. Lalu, *mixer* kembali sampel agar tercampur secara merata.
9. Lakukan pengukuran ulang terhadap sampel dengan menggunakan *Mud Balance, Fann VG Meter, dan pH*.
10. Analisis hasil data yang telah didapatkan dengan metode yang digunakan.

Dalam penelitian ini untuk mencapai kesesuaian, keruntunan, dan keselarasan maka terdapat sub properti penelitian yang dibuat oleh peneliti dengan urutan properti langkah yang akan dilaksanakan seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3 Properti Diagram Alur Penelitian**

Pada tahap mulai atau awalan ini, dilakukan kegiatan pengkajian awal dan pengamatan terhadap formulasi dari jenis lumpur yang akan diteliti, yaitu *Water Base Mud (WBM)* agar nantinya lumpur ini memiliki *properties* yang sesuai dengan *spec* yang diharapkan. Pada tahap selanjutnya, masuk ke tahapan yang paling utama dalam proses penelitian ini, pada

dasarnya studi *literature* dan observasi yang akan di teliti penentuan jenis *additive* pada lapangan *High Pressure High Temperature (HPHT)* yang ramah lingkungan yaitu dengan menggunakan formula *water base mud (WBM)* yaitu perbandingan lumpur sebelum dipanaskan pada *high temperature* (formula x) dan lumpur sesudah dipanaskan pada *high temperature* (formula y), di PEM Akamigas Cepu pada gedung hulu minyak dan gas ruang laboratorium lumpur dan semen pemboran dengan informasi bahwa formula dari jenis lumpur ini bersifat rahasia karena merupakan tugas metode penelitian dari PEM Akamigas Cepu. Observasi ini dilakukan dengan menyesuaikan data dari jurnal dan data formulasi spec lumpur yang tersedia. Dilakukannya kegiatan observasi penelitian ini bertujuan agar peneliti dapat mengamati landasan dan sistematis penelitian serta menjadi bahan referensi yang kuat untuk dilakukannya penelitian [10].

Setelah mendapatkan dasar studi literatur dan melakukan observasi maka dilakukan kegiatan penelitian pengumpulan data juga merupakan tahap yang dapat menunjang proses penelitian ini, karena peneliti membutuhkan data *properties* yang dapat didapatkan dari hasil pengetahuan suatu lumpur yang telah dilakukan dengan sesuai prosedur laboratorium yang telah diterapkan, serta data formulasi lumpur yang berupa zat aditif yang diinginkan dari lumpur berbasis air pada formulasi lumpur yang akan diteliti, dari kedua data sebelum dan sesudah dipanaskan pada *high temperature* tersebut maka akan dikumpulkan untuk dilakukannya analisa:

- a. Data *Water Base Mud: Rheology (Plastic Viscosity, Yield Point, dan Gel Strength), Density dan Mud Balance.*
- b. Data Formulasi *Water Base Mud: pH Control*

Tahapan selanjutnya yang akan dilakukan adalah melakukan pengolahan dari kedua data (BHR dan AHR) lumpur, yaitu performa dari properti lumpur berbasis air sebelum dan sesudah dimasukkan kedalam *High Temperature Roller Oven* yang *temperature* dan waktunya yang sudah ditentukan. Pengolahan data dilakukan dari awal dilakukannya *running properties* dari masing-masing formula menggunakan alat seperti Fann VG Meter dan *Mud Balance* secara langsung didalam laboratorium, selain itu apabila properti dari kedua formula masih belum sesuai dengan spec yang diinginkan maka akan diformulasikan ulang untuk menyesuaikan *spec* yang diinginkan. Tahapan akhir sebelum menarik kesimpulan, yaitu analisa dan pembahasan. Tahapan ini didukung dengan tahapan sebelumnya seperti pengolahan data yang telah dilakukan dengan *running properties* menggunakan alat-alat yang sudah ditentukan. Analisa yang dilakukan adalah menganalisa performa *properties* masing-masing formula yang sebelum dan sesudah dimasukkan kedalam *High Temperature Roller Oven*, dengan analisa tersebut kita dapat mengetahui formula mana yang mengalami penurunan *properties* nya yang dapat mempengaruhi performa dari lumpur berbasis air tersebut[11].

### 3. PEMBAHASAN

Formula *Water Base Mud (WBM)* yang digunakan pada penelitian ini, seperti tabel 1 dibawah ini:

#### A. FORMULASI WBM

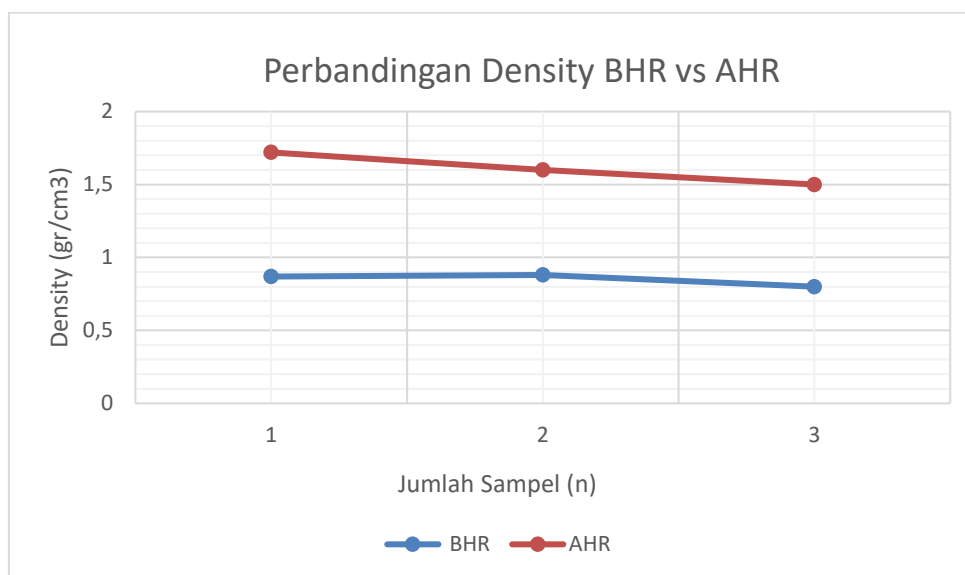
Hasil dari pengujian studi ini saat *Before Hot Roller* dan *After Hot Roller* adalah densitas lumpur, *mud balance*, viskositas lumpur, *plastic viscosity, yield point, gel strength*, nilai *power law model*, dan pH.

**Tabel 1 Formula WBM**

Additive	Konsentrasi	WBM 1	WBM 2	WBM 3
Bentonite	8 lb/bbl	22,5 g/cm <sup>3</sup>	22,5 g/cm <sup>3</sup>	22,5 g/cm <sup>3</sup>
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.25 lb/bbl	5 g/cm <sup>3</sup>	7,5 g/cm <sup>3</sup>	10 g/cm <sup>3</sup>
NaOH	0.25 lb/bbl	5 g/cm <sup>3</sup>	7,5 g/cm <sup>3</sup>	10 g/cm <sup>3</sup>
Polimer RDP	1-4 lb/bbl	2,5 g/cm <sup>3</sup>	5 g/cm <sup>3</sup>	7,5 g/cm <sup>3</sup>
Xanthan Gum	10 lb/bbl	2,5 g/cm <sup>3</sup>	5 g/cm <sup>3</sup>	7,5 g/cm <sup>3</sup>
CMC (Carboxymethylcellulose)	8 lb/bbl	2,5 g/cm <sup>3</sup>	5 g/cm <sup>3</sup>	7,5 g/cm <sup>3</sup>

**DENSITAS LUMPUR**

Pada BHR ini memiliki densitas awal seberat 0,88 gr/cm<sup>3</sup> yang akan dilihat perubahan *properties* dari lumpur tersebut ketika diberikan temperatur sebesar 300F, yaitu seberat 0,72 gr/cm<sup>3</sup> berikut ini adalah hasil pengukuran nilai densitas lumpur BHR dan AHR dengan menggunakan *mud balance* yang terdapat pada Gambar 4 dibawah ini:



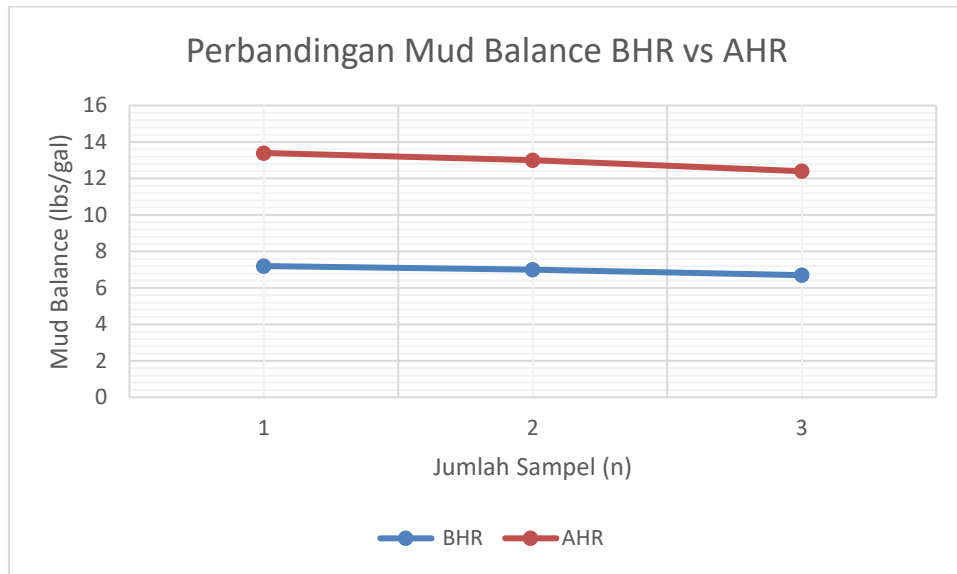
**Gambar 4 Grafik Density BHR vs AHR**

Pada Gambar 4 *Density BHR vs AHR* dapat dilihat bahwa terjadi penurunan densitas dari sampel AHR lumpur ini, hal ini bisa disebabkan dari berbagai faktor seperti kenaikan temperatur pada lumpur yang mengakibatkan pemuaiian dari lumpur tersebut yang menyebabkan jarak antar partikel menjadi mengembang, dan terjadinya *human error* pada saat perpindahan lumpur yang masih berada di cup untuk dipindahkan ke *mud balance* yang mengakibatkan tertinggalnya *volume* atau padatan dari lumpur awal yang berada di *cup*.

**MUD BALANCE**

Pada Gambar 5 grafik perbandingan *mud balance* BHR vs AHR, terlihat adanya perubahan nilai *mud weight* yang menunjukkan penurunan pada BHR dibandingkan AHR. Penurunan ini disebabkan oleh pengaruh suhu tinggi yang menyebabkan lumpur mengalami peningkatan tekanan. Ketika lumpur terpapar suhu yang tinggi, sifat fisiknya berubah, sehingga mengakibatkan penurunan densitas dan *mud weight*. Hal ini penting untuk dipahami dalam pengelolaan

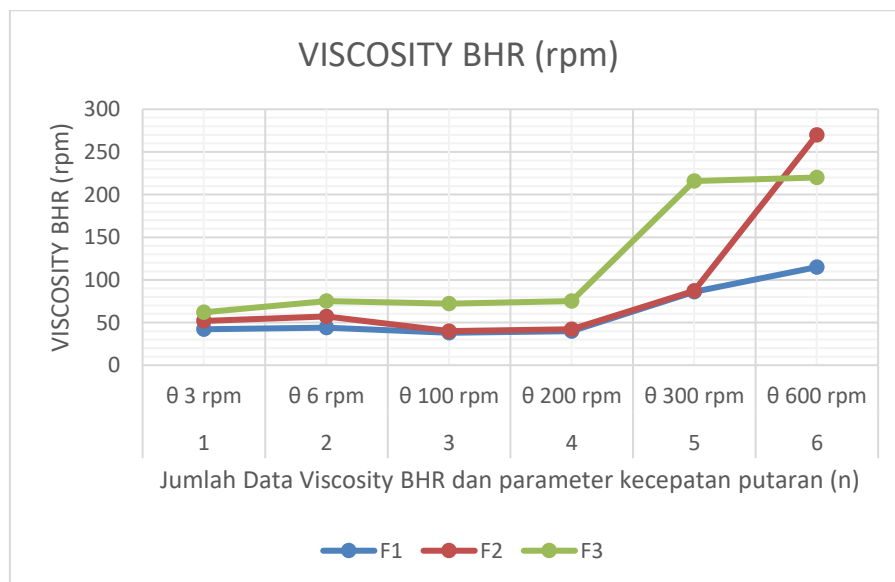
lumpur pengeboran agar dapat mengoptimalkan proses pengeboran dan menjaga kestabilan formasi.



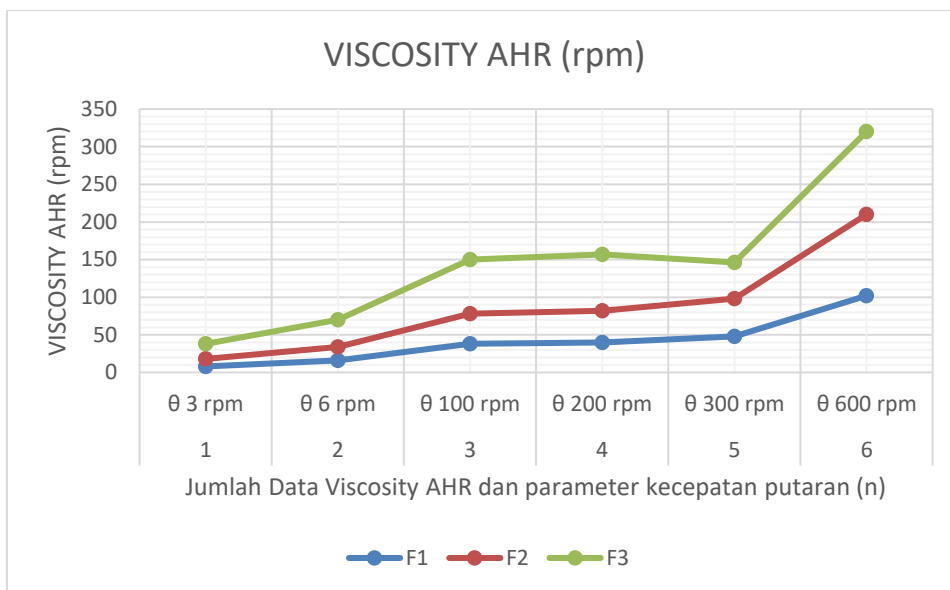
Gambar 5 Grafik Perbandingan Mud Balance BHR vs AHR

### VISKOSITAS LUMPUR

Pada pengukuran viskositas dari lumpur ini menggunakan alat Fann VG Meter yang memiliki berbagai macam kecepatannya (rpm) untuk menguji viskositas lumpur, yaitu 600 rpm, 300 rpm, 200 rpm, 100 rpm, 6 rpm, dan 3 rpm. Gambar 6 dan 7 berikut merupakan grafik perbandingan dari BHR dan AHR:



Gambar 6 Grafik Viscosity BHR



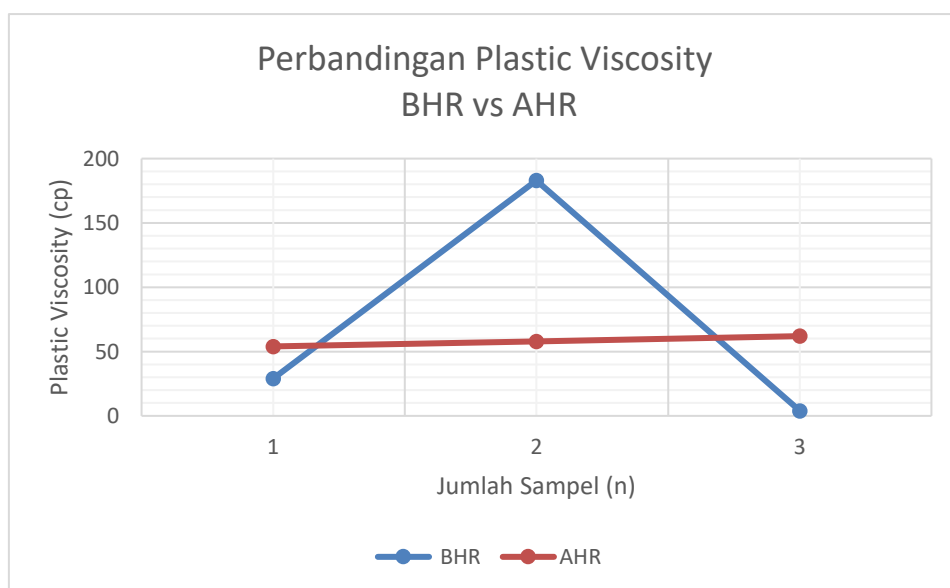
Gambar 7 Grafik Viscosity AHR

Pada Gambar 7 diatas dapat dilihat jika ada perbedaan hasil viskositas dari BHR dan AHR lumpur ini, AHR mengalami penurunan ketika terkena temperatur sebesar 300F, sedangkan pada BHR mengalami kenaikan viskositas yang mengakibatkan lumpur tersebut menjadi lebih kental dari keadaan awal dari AHR.

**PLASTIC VISCOSITY**

*Plastic viscosity* merupakan bagian dari *rheology* lumpur, nilai dari *plastic viscosity* ini bisa diperoleh dengan perhitungan dari pengurangan pembacaan *dial reading* 600 rpm dengan 300 rpm. Hasil dari pengurangan tersebut merupakan nilai dari *plastic viscosity* dengan satuan cP (*centipoise*), berikut merupakan grafik perbandingan PV dari BHR dan AHR dan rumus *plastic viscosity*:

$$PV = \theta 600 - \theta 300 \tag{1}$$



Gambar 8 Grafik Plastic Viscosity BHR vs AHR

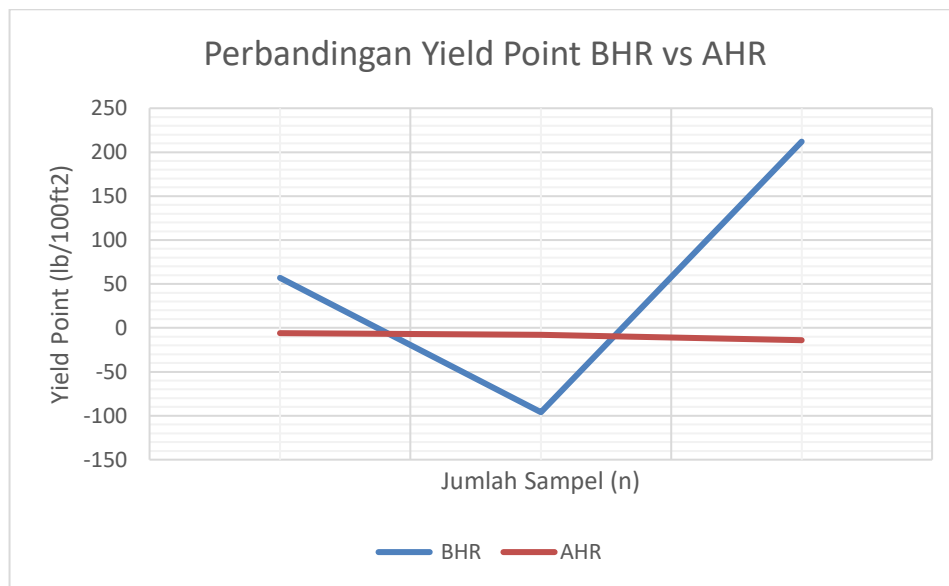


Dari Gambar 8 dapat diamati bahwa bentuk dari grafik yang diberikan AHR mengalami penurunan sedangkan PV dari BHR mengalami kenaikan, hal ini berhubungan dengan *rheology* diatas tadi, karena *rheology* dari BHR sudah mengalami kenaikan otomatis nilai dari *Plastic Viscosity* dan *Gel Strength* akan ikut naik.

### YIELD POINT

Nilai *yield point* dapat diperoleh dari perhitungan dari pembacaan 300 dikurangi dengan nilai PV (*plastic viscosity*). Berikut adalah rumus perhitungan YP dan grafik perbedaan dari kedua jenis lumpur yang diteliti:

$$YP = \theta 300 - (\theta 600 - \theta 300) \text{ atau } YP = \theta 300 - PV \quad (2)$$

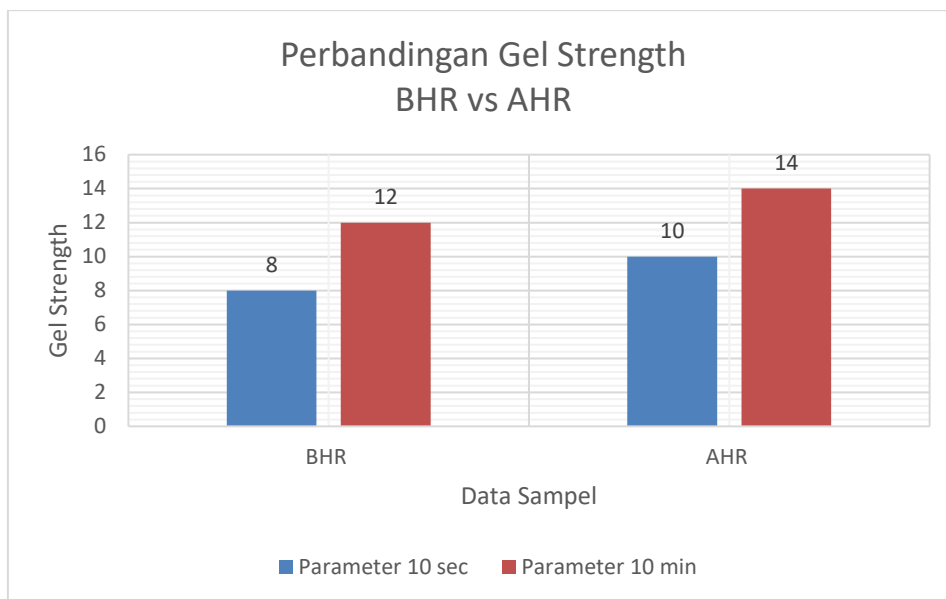


**Gambar 9. Grafik Yield Point BHR vs AHR**

Dari Gambar 9 bisa dilihat bahwa kedua jenis lumpur ini mengalami penurunan nilai YP (*yield point*) dari kondisi BHR dengan kondisi akhir lumpur yang sudah terkena *temperature* tinggi atau AHR.

### GEL STRENGTH

Pengukuran nilai *gel strength* ini memiliki 2 hasil yang terdiri dari perhitungan waktu 10 detik dan 10 menit. Kedua retang waktu ini digunakan untuk mengetahui kekuatan gel dari masing-masing lumpur saat keadaan lumpur statis. Gambar 10 berikut merupakan grafik perbandingan *gel strength* dari BHR & AHR. Nilai *gel strength* yang dihasilkan dari kedua Gambar 5 dan 6 bisa dilihat bahwa terjadi penurunan ketika terkena temperatur 300 F, pada AHR, sedangkan pada BHR memiliki nilai *Gel Strength* yang lebih tinggi daripada AHR.



Gambar 10 Grafik Gel Strength BHR vs AHR

**POWER LAW MODEL**

Power law model mengasumsikan bahwa semua fluida bersifat pseudoplastis dan ditentukan oleh persamaan berikut:[12]

$$n = 3.32 \log \frac{\theta_{600}}{\theta_{300}} \tag{3}$$

$$K = \frac{\theta_{300}}{(511)^n} \tag{4}$$

Indeks Hukum daya, dilambangkan dengan konstanta "n," mewakili tingkat perilaku *non-Newtonian* dalam kisaran laju geser tertentu. Ketika 'n' sama dengan 1, fluida berperilaku dengan cara *Newtonian*. Ketika nilai 'n' menurun, perilaku fluida menjadi semakin *non-Newtonian*, menyebabkan viskositas menurun seiring dengan meningkatnya *shear rate*. Yang penting, konstanta "n" tidak berdimensi. Sebaliknya, Indeks Konsistensi, disebut sebagai nilai K, mengukur ketebalan lumpur. Peningkatan nilai 'K' menandakan peningkatan efektivitas secara keseluruhan dalam *hole cleaning*. Satuan untuk 'K' dapat dinyatakan sebagai lbs/100ft<sup>2</sup>.

Tabel 2 Hasil nilai n dan k water base mud BHR

Rheology	F1	F2	F3
θ 3 rpm	42	52	62
θ 6 rpm	44	57	75
θ 100 rpm	38	40	72
θ 200 rpm	40	42	75
θ 300 rpm	86	87	216
θ 600 rpm	115	270	220
n	0,41898	1,63292	0,002646
k	0,07051	0,27801	0,01118

**Tabel 3 Hasil nilai n dan k water base mud AHR**

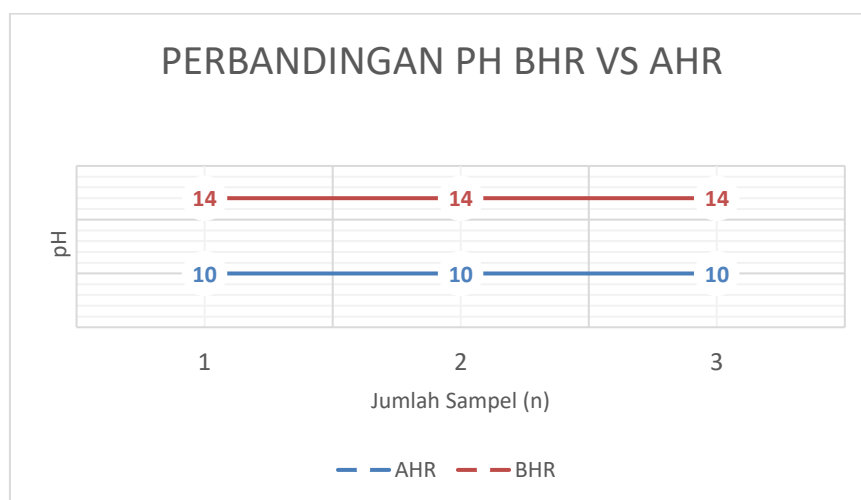
Rheology	F1	F2	F3
θ 3 rpm	42	52	62
θ 6 rpm	44	57	75
θ 100 rpm	38	40	72
θ 200 rpm	40	42	75
θ 300 rpm	86	87	216
θ 600 rpm	115	270	220
n	1,08683	1,11039	1,1957
k	0,10209	0,10865	0,11232

Dari hasil perhitungan dapat dilihat jika nilai n kurang dari 1, maka dapat diasumsikan bahwa BHR F1&F3 ini bersifat *non-Newtonian*, karena sebenarnya model *power law* ini menggambarkan tiga jenis cairan, berdasarkan dari nilai 'n': [13]

1.  $n = 1$  : Fluida *Newtonian*
2.  $n < 1$  : Fluida *non-Newtonian*
3.  $n > 1$  : Fluida *dilatant*

### HASIL PH

Hasil pengujian yang didapatkan pada perbandingan nilai pH, *Before Hot Roller* (BHR) dan *After Hot Roller* (AHR), yang dapat dilihat pada Gambar 11 dibawah ini.



**Gambar 11 Grafik BHR vs AHR**

### 4. SIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan bahan aditif *Water Base Mud* (WBM) yang tepat digunakan pada lapangan *High Pressure High Temperature* (HPHT). Dilakukan uji laboratorium pada sampel WBM sebelum dan sesudah paparan suhu tinggi (300°F) dan tekanan tinggi (10.000 psi) untuk mengevaluasi kinerja dan kelayakan lingkungan dari formulasi tersebut. Penelitian ini menunjukkan perubahan yang signifikan pada beberapa parameter penting, seperti densitas lumpur, *mud balance*, viskositas lumpur, *plastic viscosity*, *yield point*, *gel strength*, nilai *power law model*, dan pH, baik saat BHR maupun AHR. Pentingnya kontrol

dari setiap parameter tersebut untuk memastikan efisiensi dan keberhasilan operasi di lapangan HPHT.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W.-A. C. Shih-Jung Liu, "Optics & Laser Technology," Nanofeatured anti-reflective films manufactured using hot roller imprinting and self-assembly nanosphere lithography, 2012.
- [2] R. M. A. B. Titus Ntow Ofei, Formulating Water-Based Muds for High Temperature Wellbores Using Potassium Formate Brine and Synthetic Polymers: A Design of Experiment Approach, 2016.
- [3] T. Smithson, "Oilfield review," The Defining Series-HPHT Wells, 2016.
- [4] S. A. F. A. D. Amin Atashnezhad, "Journal of Ionic Liquids," Rheology characterization of ionic liquids under high pressure and high temperature, 2024.
- [5] A. M. G. C. Martin, "Geoenergy Science and Engineering," Innovative drilling fluid containing sand garfted with a cationic surfactant capable of drilling high pressure and high temperature geothermal and petroleum wells, 2024.
- [6] S. C. G. Herbert Volk, "Organic Geochemistry," Using petroleum inclusions to trace petroleum systems - review, vol. 129, pp. 99-123, 2019.
- [7] A. A. A. M. M.I. Abduo, "Egyptian Journal of Petroleum," Comparative study of using Water-Based mud containing Multiwall Carbon Nanotubes versus Oil-Based mud in HPHT fields, vol. 25, no. 4, pp. 433-595, 2016.
- [8] A. K. C. C. Ahmad Shakeel, "Revising the definition of fluid mud by establishing," in Geotechnical Engineering foundation of the future, Netherlands, 2019.
- [9] M. Amani, M. Al-Jubouri and A. Shadravan, "Comparative Study of Using Oil Base Mud Versus Water Base Mud in HPHT Fields," 2012.
- [10] P. C. J. Z. Tianshou Ma, "Geomech.Geophys. Geo-resour," Overview on vertical and directional drilling technologies for the exploration and exploitation of deep petroleum resources, vol. 2, pp. 365-395, 2016.
- [11] M. I. A. N. J. O. M. M. Muftahu N. Yahya, "Petroleum Research," Influence of triton-assisted coconut shell derived graphene nanoplatelets in water-based drilling fluid lubricity and shale inhibition application, 2024.
- [12] S. T. A. M. N. R. D. A. A. M. B. R. G. Azad Hussain, "Case studies in Thermal Engineering," Unveiling thernal and hemodynamic effect of aneurysm on abdominal aorta using power law model and finite element analysis, 2024.
- [13] M. N. I. I. A. R. A. R. R. J. O. F. Y. E. N. S. K. M. A.-A. Muftahu N. Yahya, "Arabian Journal of Chemistry," Modified Locally derived graphene nanoplatelets for enchanced rheological, filtration and lubricity characteristics of water-based drilling fluids, 2023.

### Daftar Simbol

A	=	Luas permukaan, m <sup>2</sup>
T <sub>in</sub>	=	Temperatur masuk, K
σ <sub>thermal</sub>	=	Tegangan thermal, Pa
μ	=	Viskositas, Ns/m
ρ	=	Massa jenis, Kg/m <sup>3</sup>
n	=	Indeks hukum daya
k	=	Indeks konsistensi