



Optimasi Sifat Reologi Lumpur KCl-Polymer Polyamine pada Suhu 300°F dengan Menggunakan XCD Polymer

Rusandy Ramadhan^{1✉}, Fachri Insani Rafsanjani¹, Muhammad Rizqie Fathan Rahman¹, Maria Sinka Elizabeth Sitompul²

⁽¹⁾Program studi S-1 Teknik Perminyakan, Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan, Indonesia

⁽²⁾Program studi D-3 Teknik Perminyakan, Institut Teknologi Petroleum Balongan, Indonesia

DOI: 10.31004/jutin.v9i1.53038

✉ Corresponding author:

[ramadhanrusandy@gmail.com]

Article Info	Abstrak
<p>Kata kunci: Lumpur Pemboran; KCL-Polymer Polyamine; XCD Polymer; Rheologi; Temperatur</p> <p>Keywords: Drilling Fluid; KCL-Polymer Polyamine; XCD Polymer; Rheology; Temperature</p>	<p>Sistem lumpur pemboran merupakan komponen penting dalam operasi pengeboran. Permasalahan sering muncul saat menembus formasi yang mengandung reaktif clay atau shale sehingga memengaruhi stabilitas sumur. Lumpur pemboran berfungsi menjaga kondisi lubang bor, sehingga diperlukan penambahan zat kimia untuk memperbaiki sifat lumpur. Penelitian ini bertujuan mengetahui mud properties dari Water Based Mud tipe KCl Polymer Polyamine melalui pengujian pada temperatur original, 200°F, 250°F, dan 300°F. Parameter yang diuji meliputi mud weight, pH, rheology, API filtrate, solid content, MBT, K+, dan Cl-. Pada 300°F nilai rheologi tidak memenuhi spesifikasi sehingga diperlukan penambahan XCD Polymer sebesar 0,1–0,4 ppb. Hasil menunjukkan bahwa penambahan XCD Polymer 0,3 ppb menghasilkan sifat rheologi sesuai spesifikasi pada temperatur tinggi. Pembuatan lumpur dilakukan melalui proses mixing dan pengujian menggunakan mud balance, rheometer, API filtrate press, retort kit, serta pH digital dengan formulasi Bentonite, NaOH, Starch, PAC-LV, Soltex, CaCO₃, XCD, Barite, KCl-Polymer, dan Polyamine.</p> <p>Abstract</p> <p><i>The drilling fluid system is a crucial component in drilling operations. Problems commonly occur when penetrating formations containing reactive clay or shale, which may affect wellbore stability. Drilling fluid functions to maintain wellbore conditions; therefore, chemical additives are required to improve mud properties. This study aims to evaluate the mud properties of Water-Based Mud of the KCl Polymer Polyamine type through testing at original temperature, 200°F, 250°F, and 300°F. The measured parameters include mud weight, pH, rheology, API filtrate, solid content, MBT, K+, and Cl-. At 300°F, the rheological values did not meet the specification, requiring additional XCD Polymer of 0.1–0.4 ppb. The results indicate</i></p>

that adding 0.3 ppb XCD Polymer produces suitable rheological properties at high temperature. Mud preparation was performed by mixing and testing using mud balance, rheometer, API filtrate press, retort kit, and digital pH meter with Bentonite, NaOH, Starch, PAC-LV, Soltex, CaCO₃, XCD, Barite, KCl-Polymer, and Polyamine.

1. PENDAHULUAN

Sistem lumpur pemboran merupakan komponen kritis yang menentukan keberhasilan operasi pemboran. Performanya tidak hanya memengaruhi efisiensi pengeboran seperti *Rate of Penetration* (ROP) dan pembersihan lubang bor, tetapi juga berperan dalam menjaga stabilitas lubang bor dan mencegah masalah seperti *pipe sticking*. Salah satu tantangan utama dalam operasi pemboran adalah ketika menghadapi formasi dengan suhu tinggi. Pada suhu di atas 300°F (149°C), sifat-sifat reologi lumpur pemboran, khususnya *water-based mud* (WBM), cenderung menurun drastis akibat degradasi termal (Akpan et al., 2020).

Kinerja lumpur pemboran perlu dilakukan evaluasi mendalam terkait dengan ketahanannya terhadap paparan temperatur tinggi terutama pada kondisi sumur *High Pressure High Temperature* (HPHT). Evaluasi dalam skala laboratorium memerlukan metode yang dapat mereplikasi kondisi lapangan secara akurat. Metode *hot rolling* telah menjadi standar untuk mensimulasikan degradasi termal karena kemampuannya mereplikasi efek gabungan dari shear mekanis dan stres termal jangka panjang yang dialami lumpur di dalam wellbore (Bardhan et al., 2024; Ismail et al., 2020). Studi (Ismail et al., 2020) menunjukkan bahwa perlakuan *hot rolling* pada suhu target (misalnya 300°F) secara efektif menyebabkan penurunan signifikan pada parameter reologi kunci seperti *plastic viscosity* dan *gel strength* pada lumpur berbasis polimer, yang merupakan indikator langsung dari degradasi termal (Bardhan et al., 2024). Metode ini juga telah divalidasi dalam berbagai penelitian untuk menguji efektivitas aditif baru, seperti nano-silika mesopori dan nanopartikel TiO₂ (Beg et al., 2020). dalam meningkatkan stabilitas termal lumpur. Dengan demikian, *hot rolling* merupakan metode yang kokoh untuk menciptakan kondisi lumpur terdegradasi sebagai basis evaluasi strategi perbaikan.

Xanthan gum (XCD) telah lama menjadi andalan sebagai *viscosifier* dalam sistem WBM karena kemampuannya memberikan sifat *shear-thinning* dan stabilitas yang baik pada kondisi salinitas tinggi. Namun, kelemahan utamanya adalah sensitivitasnya terhadap suhu tinggi. Penelitian oleh (Akpan et al., 2020) menunjukkan bahwa pada suhu 120°C, viskositas lumpur yang hanya mengandalkan XCD mengalami penurunan signifikan, yang mengindikasikan terjadinya degradasi termal.

Untuk mengatasi keterbatasan ini, berbagai penelitian telah mengeksplorasi penggunaan kombinasi polimer. Sebagai contoh, kombinasi xanthan gum dengan *diutan gum* (DG) dalam rasio 1:1 terbukti mampu meningkatkan stabilitas termal, menurunkan *fluid loss* hingga 34%, dan meningkatkan sifat-sifat reologi pada suhu tinggi (Akpan et al., 2020). Studi lain oleh (Ghebremedhin et al., 2021) juga menunjukkan sinergi gelas XG dengan galaktomanan seperti guar gum (GG) pada rasio 20:80 juga menunjukkan efek penebalan dan pembentukan gel yang lebih baik. Penambahan natrium klorida dalam campuran ini memengaruhi pembentukan gel melalui *Coulomb screening* terhadap muatan negatif XG. Dengan demikian, kombinasi sinergis XG dengan polimer lain seperti DG dan GG merupakan strategi efektif untuk meningkatkan performa reologi dan stabilitas fluida, khususnya pada kondisi suhu tinggi.

Berdasarkan studi literatur, terlihat jelas bahwa pendekatan kombinasi polimer merupakan strategi yang valid untuk meningkatkan stabilitas termal lumpur. Namun, sebagian besar penelitian berfokus pada kombinasi XCD dengan biopolimer lain seperti DG. Penelitian mengenai optimasi performa sistem lumpur kompleks seperti KCl-Polymer-Polyamine yang umum digunakan untuk formasi *shale* reaktif pada suhu ekstrem 300°F (149°C) masih terbatas. Selain itu, studi mengenai penggunaan XCD Polymer (xanthan gum komersial) sebagai *treatment* tunggal untuk mengembalikan sifat reologi yang hilang akibat suhu tinggi pada sistem lumpur ini belum banyak dieksplorasi.

XCD Polymer dipilih karena karakteristiknya yang telah terbukti dapat memberikan *yield point* dan *gel strength* yang tinggi pada *plastic viscosity* yang rendah, serta stabil dalam air tawar, air laut, dan brine jenuh pada rentang pH 3–12 dan suhu hingga 350°F (177°C) (Oil & Gas Engineering Services, *XCD-POLYMER Product Data Sheet*). Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan reliabilitas dengan membangun fondasi dari temuan sebelumnya sekaligus mengisi *gap* pengetahuan dengan menginvestigasi efektivitas XCD Polymer dalam mengoptimasi sifat reologi lumpur KCl-Polymer-Polyamine yang mengalami degradasi pada suhu 300°F.

Berdasarkan tinjauan ini, terlihat bahwa pendekatan kombinasi polimer dan metode *hot rolling* telah mapan untuk pengembangan formulasi baru. Namun, penelitian mengenai aplikasi strategi *remedial*

treatment dengan polimer tunggal khusus (seperti XCD Polymer) untuk memulihkan sistem lumpur kompleks yang sudah jadi (seperti KCl-Polymer-Polyamine) setelah mengalami degradasi spesifik pada suhu 300°F masih sangat terbatas. Kebanyakan studi berfokus pada formulasi baru atau sistem yang lebih sederhana. Kesenjangan ini menjadi landasan bagi penelitian ini, yang bertujuan menginvestigasi efektivitas XCD Polymer sebagai *treatment* tunggal untuk mengoptimasi kembali sifat reologi lumpur KCl-Polymer-Polyamine yang telah didegradasi melalui simulasi *hot rolling* pada suhu 300°F. Sehingga kemudian apa yang menjadi pertanyaan besar pada penelitian ini menimbulkan tujuan yaitu untuk menganalisis degradasi termal yang terjadi pada sistem lumpur KCl-Polymer-Polyamine dan menginvestigasi efektivitas XCD Polymer sebagai *remedial treatment*. Secara spesifik, penelitian ini akan menganalisis penurunan sifat reologi serta kinerja filtrat, setelah lumpur mengalami proses *aging* pada serangkaian suhu tinggi (200°F, 250°F, dan 300°F). Selanjutnya, penelitian akan mengevaluasi kapasitas penambahan XCD Polymer dengan variasi konsentrasi (0.1, 0.2, 0.3, dan 0.4 ppb) dalam memulihkan dan mengoptimasi sifat-sifat reologi tersebut agar memenuhi spesifikasi operasional yang diperlukan untuk pemboran yang aman dan efisien.

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis berupa rekomendasi formulasi berbasis data empiris. Rekomendasi ini ditujukan untuk menghasilkan sistem lumpur yang stabil pada kondisi termal ekstrem, sehingga dapat diaplikasikan guna mengoptimasi operasi pemboran di lapangan, memitigasi risiko *drilling problems* seperti *pipe sticking*, dan pada akhirnya meningkatkan tingkat efisiensi serta keselamatan keseluruhan operasi.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan sejumlah bahan dan peralatan untuk preparasi sampel lumpur dan pengujian sifat fisik dan rheologi.

2.1.1 Bahan-bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam formulasi lumpur pemboran KCL-Polymer Polyamine beserta konsentrasi dan spesifikasinya disajikan pada Tabel 2.1 berikut. 4 sampel lumpur KCl Polymer Polyamine disiapkan pada temperatur ruang, 200°F, 250°F, dan 300°F.

Tabel 2.1. Konsentrasi Material

Material	350 ml		
	SG (g/ml)	Volume (ml)	Weight (gram)
FRESH WATER	1,00	247,69	247,69
BIOCIDE	1,05	0,24	0,25
CAUSTIC SODA	2,13	0,42	0,90
BENTONITE	2,50	0,50	1,25
PAC-LV	1,50	0,50	0,75
STARCH	1,50	2,50	3,75
SOLTEX	1,54	3,90	6,00
CaCO ₃	2,60	3,85	10,00
BARITE	4,20	68,10	286,00
XCD	1,60	0,91	1,45
KCL	1,98	16,16	32,00
POLYAMINE	1,13	5,25	5,39

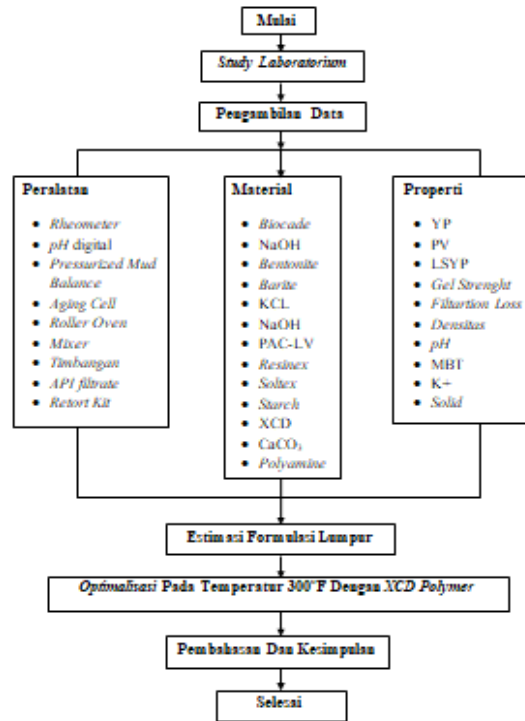
2.1.2 Peralatan

Penelitian ini menggunakan berbagai peralatan standar untuk pengujian sifat fisik dan reologi lumpur pemboran. Proses pencampuran awal seluruh material dilakukan menggunakan *Hamilton Beach Mixer* untuk memastikan homogenitas sampel. Sampel lumpur kemudian dimasukkan ke dalam *Aging Cell* sebagai wadah selama proses conditioning dengan diberikan tekanan sebesar 100 psi.

Simulasi kondisi bawah permukaan dilakukan dengan memanaskan sampel dalam *Hot Roller Oven* pada variasi suhu 200°F, 250°F, dan 300°F selama 16 jam. Pengujian sifat reologi lumpur dilakukan menggunakan *Rheometer* pada suhu 120°F (49°C) untuk memperoleh parameter *plastic viscosity*, *yield point*, *low shear rate yield point (LSRYP)*, dan *gel strength*.

Pengujian filtrasi dilakukan sesuai standar API menggunakan *API Filter Press*. Densitas (mud weight) diukur dengan *Pressurized Mud Balance*, sedangkan tingkat keasaman (pH) lumpur diukur menggunakan *pH meter digital*. Pengujian *Methylene Blue Test (MBT)* dilakukan dengan metode titrasi. Kandungan *ion kalium (K⁺)* dianalisis menggunakan *Centrifuge*, sedangkan pengukuran *solid content* dilakukan dengan *Retort Kit*.

2.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini dimulai dari tahapan *Studi Laboratorium* yang berfungsi sebagai dasar pemahaman teoritis terkait sistem lumpur pemboran, karakteristik aditif, serta kinerja polimer pada kondisi temperatur tinggi. Setelah melakukan studi awal, proses selanjutnya adalah *pengambilan data* yang dilakukan melalui kegiatan eksperimen di laboratorium. Pada tahap ini ditentukan peralatan yang digunakan seperti rheometer, pH digital, pressurized mud balance, aging cell, dan API filtrate kit. Selain itu, dilakukan pula penentuan material atau aditif lumpur yang akan digunakan, meliputi bentonite, barite, KCl, PAC-LV, starch, XCD, CaCO₃, polyamine, dan bahan tambahan lainnya. Seluruh material tersebut kemudian diuji berdasarkan parameter sifat lumpur seperti plastic viscosity (PV), yield point (YP), gel strength, filtrasi, densitas, pH, dan solid content.

Setelah data awal diperoleh, dilakukan proses *estimasi formulasi lumpur* untuk menentukan komposisi yang sesuai terhadap kondisi reservoir dan spesifikasi teknis lumps pemboran. Tahap berikutnya adalah *optimasi temperatur pada 300°F menggunakan XCD polymer* untuk mengamati kemampuan polimer dalam mempertahankan stabilitas rheologi serta kontrol filtrasi pada kondisi temperatur tinggi. Pada tahap ini, dilakukan evaluasi terhadap respon rheologi, stabilitas kimia, serta perubahan sifat fisik lumpur sebagai dasar penentuan formulasi yang optimum. Seluruh hasil akhir kemudian dianalisis pada bagian pembahasan untuk menarik kesimpulan mengenai performa XCD polymer dan menentukan rekomendasi formulasi lumpur terbaik sebelum penelitian dinyatakan selesai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3.1 Hasil Test Lumpur KCL-Polymer Polyamine

MUD PROPERTIES			SPEC	INITIAL	AHR 200°F	AHR 250°F	AHR 300°F
MW		SG	1,40-1,90	1,70	1,70	1,70	1,70
Rheology	600	rpm		103	98	96	85
		300		73	67	66	57
		200		61	57	56	49
		100		46	40	41	35
		6		18	13	12	9
		3		14	10	9	6
PV		cps	≤50	30	31	30	28
YP		lbs/100ft	30-50	43	36	36	29
LSYP		lbs/100ft	6-10	10	7	6	3
GEL STRENGHT 10"		lbs/100ft	10-20	16	11	11	7
GEL STRENGTH 10'		lbs/100ft	14-38	36	17	15	11
FILTRATE API (100 PSI)		ml/30 min	≤5	3,0	2,6	2,8	3,0
pH			9,50-11,0	10,78	10,59	10,34	10,23
MBT		ppb	≤10.0	2,50	2,50	2,50	2,50
K+		mg/lt	≥30.000	38.589	36.216	33.843	31.470
SOLID CONTENT		%	≤30	24%	24%	24%	24%

Untuk mengevaluasi ketahanan termal sistem lumpur KCl-Polymer-Polyamine, dilakukan simulasi kondisi lapangan melalui metode *hot rolling* pada rentang suhu 200–300°F. Hasil pengujian (Tabel 3.1) mengungkapkan degradasi progresif pada sifat-sifat reologi yang kritis untuk *hole cleaning* dan stabilitas lubang bor, sementara parameter lain seperti *Plastic Viscosity (PV)* dan *fluid loss* relatif stabil.

Tren penurunan paling signifikan terlihat pada parameter Low-Shear Yield Point (LSYP) dan Gel Strength, yang secara langsung berkaitan dengan kemampuan suspensi *cuttings*. LSYP anjlok dari 10 lb/100ft² (masuk spesifikasi) menjadi hanya 3 lb/100ft² setelah *hot rolling* 300°F, jauh di bawah batas minimum (6-10). Gel Strength 10 menit juga turun drastis dari 36 menjadi 11 lb/100ft². Penurunan ini mengindikasikan melemahnya struktur gel polimer akibat degradasi termal pada komponen *viscosifier* (xanthan gum), yang menyebabkan kemampuan lumpur untuk menjaga *cuttings* tersuspensi saat sirkulasi terhenti sangat berkurang. *Yield Point (YP)* juga turun mendekati batas bawah spesifikasi (29 lb/100ft²), mengonfirmasi menurunnya kemampuan angkut *cuttings* secara keseluruhan. Data ini menjadi dasar yang jelas untuk melakukan intervensi *remedial treatment* guna memulihkan performa lumpur.

Tabel 3.2 Hasil Test Treament Xanthan Gum

Treatment Xanthan Gum							
MUD PROPERTIES			SPEC	0,1 ppb	0,2 ppb	0,3 ppb	0,4 ppb
MW		SG	1,40-1,90	1,70	1,70	1,70	1,70
Rheology	600	rpm		95	101	107	111
		300		64	70	76	80
		200		54	59	64	68
		100		39	44	48	51
		6		10	11	14	16
		3		7	8	11	13
PV		cps	≤50	31	31	31	31
YP		lbs/100ft	30-50	33	39	45	49
LSYP		lbs/100ft	6-10	4	5	8	10
GEL STRENGHT 10"		lbs/100ft	10-20	9	10	12	14
GEL STRENGTH 10'		lbs/100ft	14-38	12	14	19	23

Hasil perlakuan (Tabel 3.2) menunjukkan hubungan korelasi positif yang jelas antara peningkatan dosis XCD Polymer (turunan xanthan gum) dan perbaikan parameter reologi lumpur KCl-Polymer-Polyamine yang terdegradasi pada 300°F. Nilai PV tetap konstan pada 31 cP di semua dosis, berada dalam batas spesifikasi yang telah ditetapkan yaitu ≤50 cP. Ini mengindikasikan bahwa XCD Polymer tidak meningkatkan gesekan internal fluida secara berlebihan, sebuah sifat yang diinginkan untuk menjaga efisiensi hidrolik. Berbeda dengan nilai PV, parameter *Yield Point (YP)* dan *Low Shear Yiled Point (LSYP)* meningkat secara linear, YP meningkat dari 33 lb/100ft² untuk penambahan XCD 0.1 ppb menjadi 49 lb/100ft² pada penambahan XCD 0.4 ppb. Di mana nilai LSYP yang diperoleh untuk penambahan 0.1 ppb dan 0.2 ppb masih berada dibawah rentang spesifikasi yang telah ditentukan. Pola serupa terlihat pada gel strength 10 detik dan 10 menit, yang meningkat dan memasuki rentang spesifikasi pada dosis 0.2 ppb dengan berada pada batas bawah nilai spesifikasi yang ditetapkan. Hasil ini selaras

dengan temuan (Hadadi et al., 2024) yang melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi biopolimer (termasuk xanthan gum) meningkatkan *yield point* dan *gel strength*, tetapi menekankan pentingnya menghindari viskositas berlebih.

Adanya hasil ini kemudian selaras dengan stabilitas performa yang telah dilakukan oleh (Reinoso et al., 2019) dalam uji stabilitas performa XCD terhadap kondisi *high temperature*, hasil tersebut menunjukkan xanthan gum mempertahankan perilaku reologi dalam brine hingga 200°C, berkat struktur heliks ganda yang stabil. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa strategi *remedial treatment* dengan polimer tunggal yang tepat (XCD Polymer) efektif untuk memulihkan sistem lumpur kompleks yang terdegradasi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan peralatan laboratorium dalam proses pembuatan dan pengujian lumpur pengeboran memerlukan ketelitian yang tinggi agar kesalahan pengukuran dapat diminimalkan, salah satunya dengan melakukan kalibrasi peralatan sebelum digunakan. Selain itu, proses eksperimen membutuhkan kesiapan alat dan bahan serta ketelitian petugas laboratorium untuk memastikan bahwa pembuatan dan pengujian lumpur berjalan dengan baik tanpa menimbulkan masalah. Dari hasil pengujian empat sampel pada berbagai temperatur yaitu temperatur ruang, 200°F, dan 250°F menunjukkan bahwa sifat lumpur masih berada dalam batas spesifikasi yang dipersyaratkan, namun pada temperatur 300°F terjadi penurunan hasil uji khususnya pada sifat reologi sehingga diperlukan upaya optimasi. Optimasi tersebut dilakukan melalui penambahan XCD Polymer dengan variasi konsentrasi sebesar 0,1 ppb, 0,2 ppb, 0,3 ppb, dan 0,4 ppb, di mana formulasi yang memberikan hasil paling optimal adalah penggunaan XCD Polymer sebesar 0,3 ppb.

5. REFERENSI

- Akpan, E. U., Enyi, G. C., & Nasr, G. G. (2020). Enhancing the performance of xanthan gum in water-based mud systems using an environmentally friendly biopolymer. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 10(5), 1933–1948. <https://doi.org/10.1007/s13202-020-00837-0>
- Bardhan, A., Vats, S., Prajapati, D. K., Halari, D., Sharma, S., & Saxena, A. (2024). Utilization of mesoporous nano-silica as high-temperature water-based drilling fluids additive: Insights into the fluid loss reduction and shale stabilization potential. *Geoenergy Science and Engineering*, 232, 212436. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.212436>
- Beg, M., Kumar, P., Choudhary, P., & Sharma, S. (2020). Effect of high temperature ageing on TiO₂ nanoparticles enhanced drilling fluids: A rheological and filtration study. *Upstream Oil and Gas Technology*, 5, 100019. <https://doi.org/10.1016/j.upstre.2020.100019>
- Ghebremedhin, M., Schreiber, C., Zielbauer, B., Dietz, N., & Vilgis, T. A. (2021). Interaction of xanthan gums with galacto- and glucomannans. Part II: Heat induced synergistic gelation mechanism and their interaction with salt. *Journal of Physics: Materials*, 3(3), 034014. <https://doi.org/10.1088/2515-7639/ab9ac9>
- Hadadi, M., Kamali, F., Mirhosseininia, J., Shahbazi, M., & Vaferi, B. (2024). Experimental investigation of biopolymers influences on rheology and filtration properties of water-based drilling fluids. *Heliyon*, 10(23), e40780. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40780>
- Ismail, A. R., Mohd Norddin, M. N. A., Latefi, N. A. S., Oseh, J. O., Ismail, I., Gbadamosi, A. O., & Agi, A. J. (2020). Evaluation of a naturally derived tannin extracts biopolymer additive in drilling muds for high-temperature well applications. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 10(2), 623–639. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-0717-7>
- Reinoso, D., Martín-Alfonso, M. J., Luckham, P. F., & Martínez-Boza, F. J. (2019). Rheological characterisation of xanthan gum in brine solutions at high temperature. *Carbohydrate Polymers*, 203, 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.034>