Evaluasi Stabilitas Suhu dan Reologi Fluida Perekah pada Suhu dan Tekanan Tinggi dengan Kondisi Dinamis di Laboratorium

Giyanti[1*], Bambang Yudho Suranta[1], Rachmi Kartini[2], Herry Setiawan Ruseno[2], Safira Azzahra[1]

[1]Teknik Produksi Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada 38, Cepu
[2]Laboratorium Pemboran, Lemigas, Jl Ciledug Raya, Jakarta Selatan

ABSTRAK

Fluida perekah memiliki peran penting dalam operasi perekahan secara hidraulik, yang digunakan untuk meningkatkan produktivitas sumur minyak dan gas, terutama pada reservoir yang mengalami penurunan laju produksi. Namun, salah satu tantangan terbesar dalam proses perekahan di lingkungan bersuhu tinggi adalah kemampuan fluida perekah untuk mempertahankan sifat-sifat kritisnya, seperti viskositas, stabilitas suhu, dan daya angkut proppant. Oleh karena itu, pemahaman tentang perubahan sifat reologi fluida dalam kondisi dinamis pada suhu tinggi sangat penting untuk meningkatkan keberhasilan operasi rekah hidrolik di reservoir dalam. Pada pengujian ini digunakan fluida base water,1% KCL Brine sampai 6% KCL Brine dan menggunakan *crosslinker* jenis borate. Dari pengujian viskositas fluida menunjukkan peningkatan yang signifikan seiring dengan meningkatnya konsentrasi KCl serta penurunan pH seiring berjalannya waktu, namun tidak terdapat perubahan densitas pada fluida.

Kata kunci: kondisi dinamis, perekahan hidraulik, borate, reservoir suhu tinggi

20.giyanti@gmail.com

1. Pendahuluan

Fluida perekah memiliki peran penting dalam operasi perekahan hidraulik, yang digunakan untuk meningkatkan produktivitas sumur minyak dan gas, terutama pada reservoir yang mengalami penurunan laju produksi [1]. Operasi rekah hidrolik telah menjadi metode yang sangat efektif untuk meningkatkan produksi minyak dan gas, terutama di reservoir tidak konvensional dan formasi batuan keras. Namun, salah satu tantangan terbesar dalam proses perekahan di lingkungan bersuhu tinggi adalah kemampuan fluida perekah untuk mempertahankan sifat-sifat kritisnya, seperti viskositas, stabilitas suhu, dan daya angkut proppant. Suhu tinggi sering kali ditemukan di reservoir dalam dan panas bumi, yang dapat mencapai lebih dari 150°C [2].Pada suhu ini, fluida perekah cenderung mengalami degradasi suhu yang signifikan, yang pada gilirannya mempengaruhi viskositas dan kemampuan fluida untuk mengangkut proppant ke dalam retakan yang dihasilkan [3].

Salah satu aspek dalam kinerja fluida perekah adalah kemampuannya untuk mempertahankan stabilitas suhu dan karakteristik reologi pada kondisi temperatur tinggi. Fluida perekah yang kehilangan stabilitas suhu atau mengalami perubahan signifikan dalam sifat reologinya di bawah pengaruh suhu tinggi dapat menyebabkan penurunan efektivitas operasi fraktur, penyumbatan pori-pori, dan penurunan efisiensi transfer energi selama proses rekah hidraulik [4].Selain itu, sifat reologi, seperti viskositas, elastisitas, dan perilaku aliran fluida perekah, sangat penting untuk menentukan efisiensi rekah hidraulik. Pada suhu tinggi, perubahan reologi dapat menyebabkan fluida menjadi terlalu encer

atau terlalu kental, menghambat sirkulasi proppant dan pengangkatan material reservoir [3]. Oleh karena itu, pemahaman tentang perubahan sifat rheologi fluida dalam kondisi dinamis pada temperatur tinggi sangat penting untuk meningkatkan keberhasilan operasi rekah hidrolik di reservoir dalam. Efektivitas fluida perekah sangat bergantung pada kemampuannya untuk mempertahankan stabilitas suhu dan sifat reologi yang optimal, terutama dalam kondisi suhu tinggi yang umum dijumpai di reservoir dalam dan formasi panas bumi. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengevaluasi bagaimana fluida perekah berperilaku di bawah kondisi dinamis pada suhu tinggi untuk memastikan keberhasilan operasi *fracking*[3].

2. Metode

Untuk menangani tantangan kinerja fluida perekah pada suhu tinggi diperlukan for-mulasi fluida yang dapat mempertahankan properties fluida yang stabil, oleh karena itu pada penelitian ini digunakan bahan-bahan seperti pada Tabel 1. Untuk memastikan ki-nerja optimal dalam pembentukan retakan pada reservoir minyak dan gas, serta men-dukung stabilitas fluida dalam berbagai kon-disi lapangan diperlukan NaOH untuk meng-atur pH fluida perekahan. Pengaturan pH sangat penting karena pH yang tepat dapat mempengaruhi efektivitas *crosslinker* seperti *borate.*

Pada pH tinggi, *crosslinker borate* bekerja optimal untuk meningkatkan viskositas fluida. Selain itu, pH yang tepat dapat mengurangi risiko korosi pada peralatan bawah permukaan [5]. Peroksida berfungsi sebagai breaker alternatif yang digunakan untuk memecah fluida perekah setelah proses perekahan selesai. Breaker membantu dalam mengurangi viskositas fluida, memungkinkan fluida untuk mengalir kembali ke permukaan dan membersihkan jalur di dalam reservoir tanpa mengganggu integritas reservoir atau proppant[6].

Natrium tiosulfat digunakan sebagai alternatif stabilizer untuk temperatur tinggi (HT). Dalam operasi perekahan di sumur-sumur yang bersuhu tinggi, penstabil ini mencegah degradasi komponen fluida perekahan sehingga fluida tetap efektif dan stabil saat terkena panas yang ekstrim. PAC R (*Polyanionic Cellulose R*) digunakan untuk mengontrol kehilangan fluida ke dalam formasi berpermeabilitas rendah dan meningkatkan viskositas. Fungsi ini penting agar fluida tidak hilang terlalu banyak ke dalam formasi sebelum mencapai target zona, dan viskositas yang ditingkatkan membantu menjaga propant tetap tersuspensi dalam fluida perekahan[7]. Natrium silikat digunakan untuk mengontrol kandungan silikat dalam fluida. Silikat dapat membentuk kerak (*scale*) yang bisa menyumbat peralatan atau retakan di dalam formasi. Dengan mengontrol silikat, risiko penyumbatan ini dapat dikurangi, yang meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses perekahan[8].

Tabel 1. Bahan aktif yang digunakan

Additive	Fungsi
NaOH	pH agent
Peroksida	sebagai alternatif breaker untuk memecah fluida
Natrium Tiosulfate	Penstabil fluida pada kondisi suhu tinggi
PAC R	Low per. Fluid loss dan meningkatkan viskositas
Natrium silicate	Sebagai pengontrol silika
Biocide	Mengontrol pertumbuhan bakteri
XCD	Meningkatkan viskositas
Pottasium chloride	Sebagai shale inhibitor
Borate	Sebagai *crosslinker* untuk meningkatkan viskositas

Biocide digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan bakteri di dalam fluida perekah. Bakteri yang tumbuh dalam fluida bisa menghasilkan produk samping yang merugikan, seperti korosi dan pembentukan biofilm, yang dapat menyumbat pori-pori formasi dan merusak peralatan bawah permukaan[9]. XCD adalah jenis gum (*eksplorasi xanthum*) yang digunakan untuk meningkatkan viskositas fluida perekahan. Viskositas yang lebih tinggi diperlukan untuk menjaga proppant tetap tersuspensi dan memastikan bahwa fluida memiliki kemampuan yang baik untuk membuka retakan di reservoir dan menjaga propan berada dalam posisi yang tepat[10]. Kalium klorida (*KCl*) digunakan sebagai shale inhibitor untuk mencegah formasi serpih (*shale*) membengkak ketika terpapar air. Pembengkakan serpih dapat mengurangi permeabilitas dan mengganggu kemampuan fluida untuk bergerak melalui formasi. Dengan mencegah pembengkakan, KCl menjaga stabilitas formasi serpih[6].

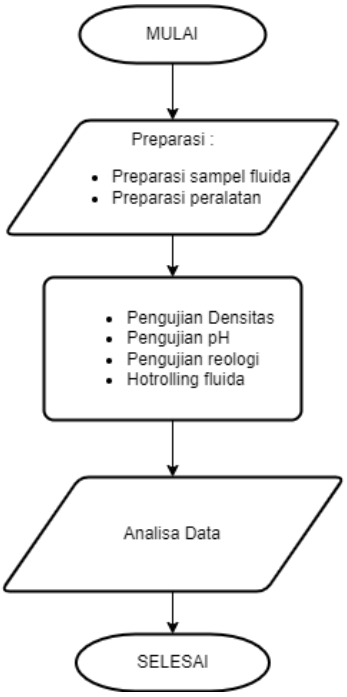
Borate digunakan sebagai *crosslinker* untuk meningkatkan viskositas fluida perekahan, terutama pada pH basa. Dengan borate, fluida dapat membentuk struktur yang lebih tebal dan viskos yang penting untuk menjaga proppant tersuspensi dalam fluida. Selain itu, borate memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan silang yang dapat diurai, yang memudahkan proses pemulihan fluida setelah perekahan selesai [11]. Penggunaan kombinasi bahan-bahan ini bertujuan untuk menciptakan fluida perekahan yang dapat mempertahankan viskositas pada temperatur tinggi, mengurangi kehilangan fluida, mencegah kontaminasi bakteri, mengendalikan silikat, dan menjaga stabilitas formasi reservoir. Kemudian bahan-bahan tersebut diformulasikan seperti Tabel 2.

Tabel 2. Formula Fluida Perekah

Base	Additive
Fresh water 1% KCL 2% KCL 3% KCL 4% KCL 5% KCL 6% KCL	0.5% NaOH (Caustic Soda) + 1,67% Peroksida + 0.5% Natrium Tiosulfate + 1% PAC R + 2% natrium silicate + 0.25% Biocide + 0.5% XCD + 3% Potasium Cloride + 1% Borate
Fresh water	PF PAL-LV + PAC LV + EP 1[12]

Proses pengujian fluida dimulai dengan tahap persiapan seperti ditunjukkan pada Gambar 1, di mana dilakukan persiapan menyeluruh terhadap sampel fluida dan peralatan yang akan digunakan dalam pengujian. Tahap ini sangat penting untuk memastikan bahwa semua alat berfungsi dengan baik dan sampel yang digunakan adalah representatif. Setelah semua persiapan selesai, langkah berikutnya adalah melaksanakan pengujian pada sampel fluida tersebut. Pengujian yang dilakukan mencakup beberapa aspek, yaitu pengukuran densitas yang bertujuan untuk mengetahui massa jenis fluida, serta pengukuran pH untuk menentukan tingkat keasaman atau kebasaan fluida yang diuji. Selain itu, pengujian rheologi dilakukan untuk mema-hami sifat alir dan viskositas fluida, yang merupakan faktor penting dalam menen-tukan perilaku fluida dalam kondisi operasi. Selanjutnya, dilakukan pengujian *hotrolling oven* untuk menilai stabilitas fluida pada suhu tinggi, yang sangat relevan dalam aplikasi industri di mana fluida akan terpapar pada kondisi suhu ekstrim. Setelah seluruh rangkaian pengujian selesai, data yang terkumpul dari berbagai pengujian dianalisis secara sistematis untuk memperoleh kesimpulan yang akurat mengenai karakteristik fluida tersebut.

Proses ini diakhiri dengan tahap penyelesaian, di mana laporan akhir disusun setelah semua data di analisis dan interpretasi dilakukan, sehingga memberikan gambaran menyeluruh mengenai sifat-sifat fluida yang diuji.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

3. HASIL

Dari fluida yang telah diformulasikan dan dirancang, pengukuran densitas dilakukan dengan *mud balance*, dan hasil densitas yang diperoleh dipaparkan pada Tabel 3. Selanjutnya, pengujian pH pada Tabel 4 dan rheologi fluida menghasilkan Tabel 5 – 9.

Tabel 3. Densitas

FLUIDA	*Density*				
	0 jam, 120F	1.5 jam, 250F	3.5 jam, 250F	8 jam, 250F	16 jam, 250F
Fresh Water	8.72	8.73	8.725	8.71	8.72
PF PAL-LV	8.51	8.51	8.52	8.515	8.51
1% KCL Brine	8.77	8.76	8.77	8.77	8.77
2% KCL Brine	8.81	8.81	8.81	8.81	8.81
3% KCL Brine	8.85	8.83	8.84	8.85	8.85
4% KCL Brine	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89
5% KCL Brine	8.93	8.93	8.91	8.9	8.93
6% KCL Brine	8.98	8.99	8.98	8.97	8.98

Tabel 4. Hasil pengukuran pH

FLUIDA	pH				
	0 jam , 120F	**1.5 jam, 250F**	**3.5 jam, 250F**	**8 jam, 250F**	**16 jam, 250F**
Fresh Water	11.5	11.5	11.5	11.2	11.2
PF PAL-LV	10.8	10.78	10.75	10.74	10.72
1% KCL Brine	11.3	11.3	11.2	11.1	11.1
2% KCL Brine	11.3	11.3	11.3	11.2	11.2
3% KCL Brine	11.4	11.4	11.3	11.3	11.2
4% KCL Brine	11.4	11.4	11.4	11.3	11.2
5% KCL Brine	11.42	11.4	11.4	11.4	11.3
6% KCL Brine	11.5	11.5	11.5	11.4	11.3

Tabel 5. Hasil pembacaan rheologi pada suhu 120°F tanpa perlakuan *oven heatroll*

Formula	RPM 600	RPM 300	RPM 200	RPM 100	RPM 6	RPM 3
Fresh Water	196	160	135	101	27	19
PF PAL-LV	3.5	2	1.2	0.9	0.5	0.5
1% KCL Brine	197	162	136	103	29	21
2% KCL Brine	199	162	137	105	30	21
3% KCL Brine	202	163	138	106	31	22
4% KCL Brine	204	162	139	106	32	23
5% KCL Brine	205	165	140	108	34	24
6% KCL Brine	206	165	140	109	34	23

Tabel 6. Pembacaan rheologi fluida setelah menjalani perlakuan *heatroll oven* selama 1,5 jam pada suhu 250°F

Formula	RPM 600	RPM 300	RPM 200	RPM 100	RPM 6	RPM 3
Fresh Water	69	51	41	31	12	10
PF PAL-LV	3	1.5	1	0.8	0.7	0.3
1% KCL Brine	60	45	35	27	10	8
2% KCL Brine	73	53	45	34	13	10.5
3% KCL Brine	77	56	46	35	13	10.5
4% KCL Brine	78	57	48	36	13	10.5
5% KCL Brine	81	57	49	36	13	10.5
6% KCL Brine	84	61	51	40	16	13

Tabel 7. Pembacaan rheologi fluida setelah menjalani perlakuan *heatroll oven* selama 3,5 jam pada suhu 250°F

Formula	RPM 600	RPM 300	RPM 200	RPM 100	RPM 6	RPM 3
Fresh Water	37	31	27	20	3	2
PF PAL-LV	2.5	1	0.5	0.4	0.2	0

1% KCL Brine	22	11	8	5	1	0.5
2% KCL Brine	22	14	11	6	2	1
3% KCL Brine	32	25	19	11	2	1
4% KCL Brine	42	27	24	18	3	2
5% KCL Brine	43	31	29	22	5	3
6% KCL Brine	58	50	42	31	7	4.5

Tabel 8. Pembacaan rheologi fluida setelah menjalani perlakuan *heatroll oven* selama 8 jam pada suhu 250°F

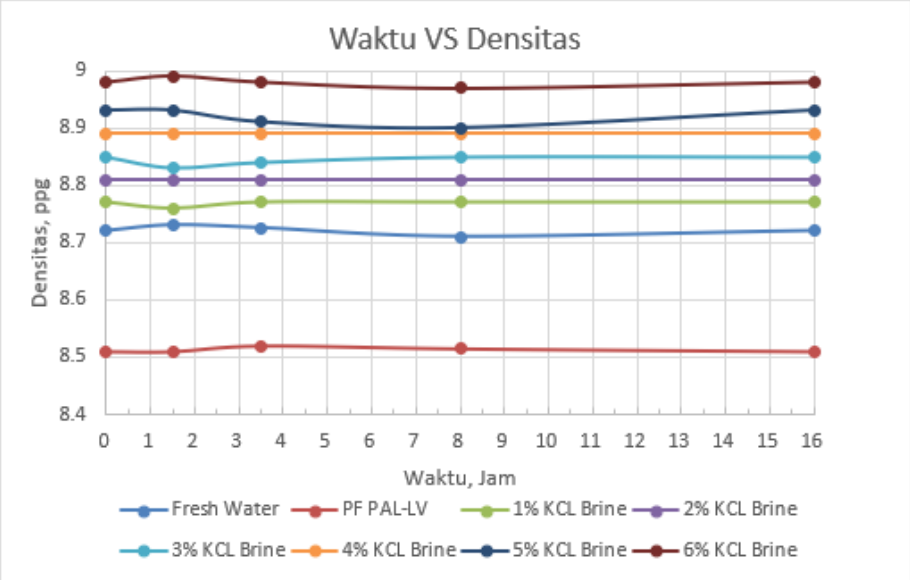
Formula	**RPM 600**	**RPM 300**	**RPM 200**	**RPM 100**	**RPM 6**	**RPM 3**
Fresh Water	5	3	2	1	0.5	0.3
PF PAL-LV	2	1	0.5	0.4	0.2	0
1% KCL Brine	6	3	2	1	0.5	0.2
2% KCL Brine	7	4	2.5	1	0.5	0.2
3% KCL Brine	9	6	6	3	1	0.5
4% KCL Brine	9	7	5	4	1	0.5
5% KCL Brine	11.5	11	13	7	1.5	1
6% KCL Brine	19	15	2.5	10	2.5	2

Tabel 9. Pembacaan rheologi fluida setelah menjalani perlakuan *heatroll oven* selama 16 jam pada suhu 250°F

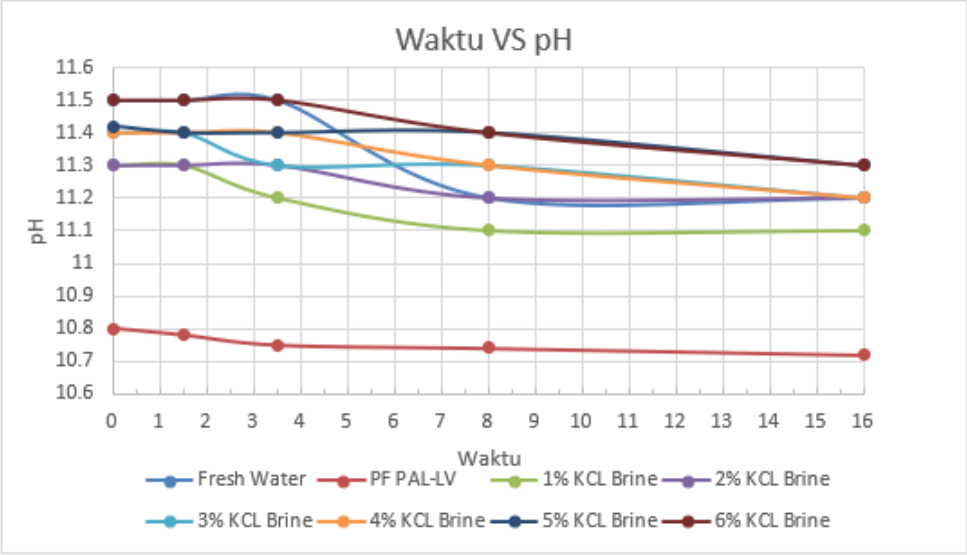
Formula	**RPM 600**	**RPM 300**	**RPM 200**	**RPM 100**	**RPM 6**	**RPM 3**
Fresh Water	4	2	1.5	1	0.5	0.3
PF PAL-LV	2	0.5	0.4	0.3	0.2	0
1% KCL Brine	3.5	2	1	0.5	0	0
2% KCL Brine	3.5	2	1	0.5	0	0
3% KCL Brine	3.5	2	1	0.5	0	0
4% KCL Brine	3.5	2	1	0.5	0	0
5% KCL Brine	4	2	1	0.5	0	0
6% KCL Brine	4	2	1	0.5	0	0

4. Pembahasan

Berdasarkan pengukuran, dapat diamati bahwa densitas fluida perekah cenderung tetap konstan. Hal ini disebabkan oleh bahan yang digunakan dalam setiap formulasi sama; oleh karena itu, densitas fluida perekah tidak dipengaruhi oleh waktu dan suhu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Setelah flui-da dimasukkan pada *heatroll oven*, perubahan pH diamati seiring waktu dengan kecenderungan pH untuk menurun. Hal ini disebabkan oleh degradasi fluida ketika terpapar suhu yang relatif tinggi dalam jangka waktu yang lama. Grafik perubahan pH ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 2. Grafik densitas



Gambar 3. Pengaruh waktu terhadap pH

Langkah selanjutnya adalah mengukur rheologi fluida, dan dari hasil pengukuran rheologi ini, data perlu dikonversi untuk menentukan viskositas fluida menggunakan rumus berikut: [13]

$$\mu = \frac{5.11\vartheta}{1.70N}(100) \quad (1)$$

Dengan demikian, viskositas dapat diperoleh pada Tabel 10-11 sebagai berikut.

Tabel 10. Viskositas fluida tanpa perlakuan *oven heatroll* pada suhu 250°F

Formula	Viskositas pada suhu 120F					
	RPM 600	**RPM 300**	**RPM 200**	**RPM 100**	**RPM 6**	**RPM 3**
Fresh Water	57.7	94.12	119.35	178.58	795.67	1119.84
PF PAL-LV	1.03	1.18	1.06	1.59	14.73	29.47
1% KCL Brine	58	95.29	120.24	182.12	854.61	1237.72
2% KCL Brine	58.59	95.29	121.12	185.66	884.08	1237.72
3% KCL Brine	59.47	95.88	122	187.43	913.55	1296.66
4% KCL Brine	60.06	95.29	122.89	187.43	943.02	1355.59
5% KCL Brine	60.35	97.06	123.77	190.96	1001.96	1414.53
6% KCL Brine	60.65	97.06	123.77	192.73	1001.96	1355.59

Tabel 11. Viskositas fluida setelah perlakuan oven heatroll pada suhu 250°F selama 1,5 jam

Formula	Viskositas(cP) pada 1.5 jam dengan suhu 250°F					
	RPM 600	**RPM 300**	**RPM 200**	**RPM 100**	**RPM 6**	**RPM 3**
Fresh Water	20.31	30.00	36.25	54.81	353.63	589.39
PF PAL-LV	0.88	0.88	0.88	1.41	20.63	17.68
1% KCL Brine	17.66	26.47	30.94	47.74	294.69	471.51
2% KCL Brine	21.49	31.18	39.78	60.12	383.10	618.86
3% KCL Brine	22.67	32.94	40.67	61.89	383.10	618.86
4% KCL Brine	22.96	33.53	42.44	63.65	383.10	618.86
5% KCL Brine	23.85	33.53	43.32	63.65	383.10	618.86
6% KCL Brine	24.73	35.88	45.09	70.73	471.51	766.21

Pada fluida base *Fresh Water* viskositasnya meningkat seiring dengan penurunan kecepatan RPM, mulai dari 20,31 cP pada RPM 600 hingga 589,39 cP pada RPM 3. Sedangkan pada fluida PF PAL-LV viskositasmya yang sangat rendah dibandingkan dengan air tawar dan larutan KCl lainnya. Pada RPM 600, viskositasnya hanya 0,88 cP, dan hanya naik hingga 17,68 cP pada RPM 3. Pada base 1% KCL Brine memiliki viskositas 17,66 cP pada RPM 600 dan meningkat hingga 471,51 cP pada RPM 3. Dan pada base 2% KCL Brine, ada RPM 600, viskositasnya adalah 21,49 cP, dan pada RPM 3 mencapai 618,86 cP. Pada fluida dengan base 3% KCL Brine, viskositasnya 22,67 cP pada RPM 600 dan naik menjadi 618,86 cP pada RPM 3. Dan pada 4% KCL Brine, viskositas larutan ini adalah 22,96 cP pada RPM 600 dan meningkat menjadi 618,86 cP pada RPM 3. Pada 5% KCL Brine, ada RPM 600, viskositas adalah 23,85 cP, dan pada RPM 3 menjadi 618,86 cP. Sedangkan pada fluida base 6% KCL Brine, pada RPM 600, viskositasnya adalah 24,73 cP, dengan peningkatan hingga 766,21 cP pada RPM 3. Kemudian pengujian selanjutnya yaitu dilakukan *heatroll oven* selama 3.5 jam pada suhu 250 F terhadap fluida perekah, dengan hasil pada Tabel 12.

Tabel 12. Viskositas fluida setelah perlakuan *oven heatroll* pada suhu 250°F selama 3,5 jam

Formula	Viskositas(cP) pada 3.5 jam dengan suhu 250°F					
	RPM 600	RPM 300	RPM 200	RPM 100	RPM 6	RPM 3
Fresh Water	10.9	18.24	23.87	35.36	88.41	117.88
PF PAL-LV	0.74	0.59	0.44	0.71	5.89	0.00
1% KCL Brine	6.48	6.47	7.07	8.84	29.47	29.47
2% KCL Brine	6.48	8.24	9.72	10.61	58.94	58.94
3% KCL Brine	9.42	14.71	16.80	19.45	58.94	58.94
4% KCL Brine	12.4	15.88	21.22	31.83	88.41	117.88
5% KCL Brine	12.7	18.24	25.64	38.90	147.35	176.82
6% KCL Brine	17.1	29.41	37.13	54.81	206.29	265.22

Pada fluida base *Fresh Water* viskositasnya meningkat seiring dengan penurunan kecepatan RPM, mulai dari 10,9 cP pada RPM 600 hingga 117,88 cP pada RPM 3. Sedangkan pada fluida PF PAL-LV viskositasmya yang sangat rendah dibandingkan dengan air tawar dan larutan KCl lainnya. Pada RPM 600, viskositasnya hanya 0,74 cP, dan hanya turun hingga 0 cP pada RPM 3. Pada base 1% KCL Brine memiliki viskositas 6,48 cP pada RPM 600 dan meningkat hingga 29,47 cP pada RPM 3. Dan pada base 2% KCL Brine, ada RPM 600, viskositasnya adalah 6,48 cP, dan pada RPM 3 mencapai 58,94 cP. Pada fluida dengan base 3% KCL Brine, viskositasnya 9,42 cP pada RPM 600 dan naik menjadi 58,94 cP pada RPM 3. Dan pada 4% KCL Brine, viskositas larutan ini adalah 12,4 cP pada RPM 600 dan meningkat menjadi 117,88 cP pada RPM 3. Pada 5% KCL Brine, ada RPM 600, viskositas adalah 12.7 cP, dan pada RPM 3 menjadi 176,82 cP. Dan pada fluida base 6% KCL Brine, pada RPM 600, viskositasnya adalah 17,1 cP, dengan peningkatan hingga 265,22 cP pada RPM 3. Kemudian pengujian selanjutnya yaitu dilakukan *heatroll oven* selama 8 jam pada suhu 250 F terhadap fluida perekah, seperti pada Tabel 13.

Tabel 13. Viskositas fluida setelah perlakuan *oven heatroll* pada suhu 250°F selama 8 jam

Formula	Viskositas(cP) pada 8 jam dengan suhu 250°F					
	RPM 600	RPM 300	RPM 200	RPM 100	RPM 6	RPM 3
Fresh Water	1.47	1.76	1.77	1.77	14.73	17.68
PF PAL-LV	0.59	0.59	0.44	0.71	5.89	0.00
1% KCL Brine	1.77	1.76	1.77	1.77	14.73	11.79
2% KCL Brine	2.06	2.35	2.21	1.77	14.73	11.79
3% KCL Brine	2.65	3.53	5.30	5.30	29.47	29.47
4% KCL Brine	2.65	4.12	4.42	7.07	29.47	29.47
5% KCL Brine	3.39	6.47	11.49	12.38	44.20	58.94
6% KCL Brine	5.59	8.82	2.21	17.68	73.67	117.88

Pada fluida base *Fresh Water* viskositasnya meningkat seiring dengan penurunan kecepatan RPM, mulai dari 1,47 cP pada RPM 600 hingga 17,68 cP pada RPM 3. Sedangkan pada fluida PF PAL-LV viskositasmya yang sangat rendah dibandingkan dengan air tawar dan larutan KCl lainnya. Pada RPM 600, viskositasnya hanya 0,59 cP, dan hanya turun hingga 0 cP pada RPM 3. Pada base 1% KCL Brine memiliki viskositas 1,77 cP pada RPM 600 dan meningkat hingga 11,79 cP pada RPM 3. Dan pada base 2% KCL Brine, ada RPM

600, viskositasnya adalah 2,06 cP, dan pada RPM 3 mencapai 11,79 cP. Pada fluida dengan base 3% KCL Brine, viskositasnya 2,65 cP pada RPM 600 dan naik menjadi 29,47 cP pada RPM 3. Dan pada 4% KCL Brine, viskositas larutan ini adalah 2,65 cP pada RPM 600 dan meningkat menjadi 29,47 cP pada RPM 3. Pada 5% KCL Brine, ada RPM 600, viskositas adalah 3,39 cP, dan pada RPM 3 menjadi 58,94 cP. Dan pada fluida base 6% KCL Brine, pada RPM 600, viskositasnya adalah 5,59 cP, dengan peningkatan hingga 117,88 cP pada RPM 3. Kemudian pengujian selanjutnya yaitu dilakukan *heatroll oven* selama 16 jam pada suhu 250 F terhadap fluida perekah, dengan hasil pada Tabel 14.

Tabel 14. Viskositas fluida setelah perlakuan *oven heatroll* pada suhu 250°F selama 16 jam

Formula	Viskositas(cP) pada 16 jam dengan suhu 250°F					
	RPM 600	RPM 300	RPM 200	RPM 100	RPM 6	RPM 3
Fresh Water	1.18	1.18	1.33	1.77	14.73	17.68
PF PAL-LV	0.59	0.29	0.35	0.53	5.89	0.00
1% KCL Brine	1.03	1.18	0.88	0.88	0.00	0.00
2% KCL Brine	1.03	1.18	0.88	0.88	0.00	0.00
3% KCL Brine	1.03	1.18	0.88	0.88	0.00	0.00
4% KCL Brine	1.03	1.18	0.88	0.88	0.00	0.00
5% KCL Brine	1.18	1.18	0.88	0.88	0.00	0.00
6% KCL Brine	1.18	1.18	0.88	0.88	0.00	0.00

Pada fluida base *Fresh Water* viskositasnya meningkat seiring dengan penurunan kecepatan RPM, mulai dari 1,18 cP pada RPM 600 hingga 17,68 cP pada RPM 3. Sedangkan pada fluida PF PAL-LV viskositasmya yang sangat rendah dibandingkan dengan air tawar dan larutan KCl lainnya. Pada RPM 600, viskositasnya hanya 0,59 cP, dan hanya turun hingga 0 cP pada RPM 3. Pada base 1% KCL sampai 4% KCL Brine memiliki viskositas yang cenderung sama yaitu 1,03 cP pada RPM 600 dan meningkat hingga 0 cP pada RPM 3. Pada 5% KCL Brine dan fluida 6%KCL Brine, viskositasnya sama mulai pada RPM 600, viskositas adalah 1,18 cP, dan pada RPM 3 adalah 0 cP.

5. Kesimpulan

Viskositas fluida menunjukkan peningkatan yang signifikan seiring dengan meningkatnya konsentrasi KCl. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah partikel terlarut dalam larutan yang mengakibatkan peningkatan interaksi dan gesekan antar partikel. Gesekan ini pada akhirnya meningkatkan viskositas fluida, terutama pada konsentrasi KCl yang lebih tinggi. Berbeda dengan fluida yang mengandung KCl, fluida PF-PAL LV memiliki viskositas yang sangat rendah. Hal ini karena formula fluida PF-PAL LV tidak mengandung aditif berupa *crosslinker*, yang biasanya digunakan untuk meningkatkan viskositas. Meskipun viskositasnya rendah, fluida PF-PAL LV tidak mengalami degradasi yang ekstrim saat terpapar kondisi tertentu, menjaga stabilitasnya secara relatif. Di sisi lain, densitas fluida cenderung tidak mengalami perubahan yang signifikan dalam berbagai kondisi. Hal ini terjadi karena dalam formulasi fluida tersebut tidak ada penambahan zat aditif pemberat yang dapat mem-pengaruhi densitas. Selain itu, densitas fluida ini juga tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu dan waktu, yang menunjukkan bahwa fluida tersebut memiliki kestabilan densitas yang baik dalam berbagai kondisi operasional.

Daftar Pustaka

[1] B. Chen *et al.*, *A Review of Perekah hidrolik Simulation*, vol. 29, no. 4. Springer Netherlands, 2022. doi: 10.1007/s11831-021-09653-z.

[2] A. S. A. Al Jabri and G. T. Chala, "A Review of Challenges in Perekah hidrolik Operation," vol. 2020, no. November, p. 18, 2020.

[3] R. Barati and J. T. Liang, "A review of perekahan fluid systems used for perekah hidrolik of oil and gas wells," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 131, no. 16, pp. 1–11, 2014, doi: 10.1002/app.40735.

[4] E. Michael. j and N. Kenneth. G, "Reservior Stimulation," *Wiley New York*, vol. 18, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

[5] N. Li, F. Chen, J. Yu, P. Han, and J. Kang, "Pre-acid system for improving the perekah hidrolik effect in low-permeability tight gas reservoir," *J. Pet. Explor. Prod.*, vol. 11, no. 4, pp. 1761–1780, 2021, doi: 10.1007/s13202-021-01129-x.

[6] T. Akhir, K. Nufuz, P. Studi, T. Perminyakan, and U. I. Riau, "Perencanaan Simulasi Perekah hidrolik Dengan Permodelan Simulator Fraccade Pada," 2022.

[7] M. Efendi, "Menentukan Produksi Optimal Untuk Perekah hidrolik Treatment Pada Sumur Minyak Di Lapangan A Dengan Studi Konseptual," 2022, [Online]. Available: https://repository.uir.ac.id/12108/%0Ahttps://repository.uir.ac.id/12108/1/143210734.pdf

[8] Achmad Hidajat Efendi, "Natrium Silikat Sebagai Bahan Penghambat Api," *Tek. Lingkung.*, vol. 8, no. ISSN 1441-318X, pp. 1–8, 2007.

[9] G. A. Kahrilas, J. Blotevogel, P. S. Stewart, and T. Borch, "Biocides in perekah hidrolik fluids: A critical review of their usage, mobility, degradation, and toxicity," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, no. 1, pp. 16–32, 2015, doi: 10.1021/es503724k.

[10] A. Othman, M. S. Aljawad, M. Mahmoud, M. S. Kamal, S. Patil, and M. Bataweel, "Chelating agents usage in optimization of perekahan fluid rheology prepared from seawater," *Polymers (Basel).*, vol. 13, no. 13, pp. 1–15, 2021, doi: 10.3390/polym13132111.

[11] M. Marquez, N. Tonmukayakul, L. Schafer, M. Zielinski, P. Lord, and T. Goosen, "High pressure testing of borate crosslinked perekahan fluids," *Soc. Pet. Eng. - SPE Hydraul. Fract. Technol. Conf. 2012*, pp. 628–638, 2012, doi: 10.2118/152593-ms.

[12] B. Sun, W. Zeng, S. Zhang, D. Chen, and H. Peng, "Study on perekahan fluid filtration perekahan technology," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 546, no. 5, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/546/5/052062.

[13] F. I. Company, "Product Information Drilling Fluids M o d e l 3 5 V i s c o m e t e r 'The Standard of the Industry'".