Jurnal Eksplorasi dan Produksi Migas
Volume 4, No. 2, Juli 2026
ISSN 3025-4426

ANALISIS EFEKTIVITAS CELLULOSE FIBER MEDIUM PADA FORMASI GRAVEL MENGGUNAKAN METODE *FLUID INVASION TEST*

Zahra Ayu Nilam Arianti[1], Diyah Rosiani [1*], Starly Jellynek Hartono [2]
[1]Teknik Produksi Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Cepu-Blora, 58315
[2]PT. OBM Drilchem Tbk, Jl. Dusun Krajan, Kiarapayung, Kec. Klari, Karawang, 41371
**E-mail*: *diyahrosiani@gmail.com*

ABSTRAK

Lost circulation merupakan salah satu permasalahan selama kegiatan pemboran akibat masuknya fluida pemboran ke dalam formasi yang memiliki rekahan, rongga, atau permeabilitas tinggi. Salah satu upaya mengatasinya adalah penggunaan *Lost Circulation Material* (LCM) yang dapat membentuk lapisan penyumbat pada area yang mengalami kehilangan sirkulasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas *Cellulose Fiber Medium Size* sebagai LCM pada formasi gravel berukuran 7–10 mm dan 1 cm menggunakan metode *Fluid Invasion Test* (FIT). Pengujian menggunakan lumpur dasar KCl-Polymer dengan *Cellulose Fiber Medium Size* pada konsentrasi 40 ppb dan Product X sebagai pembanding. Pengujian dilakukan pada tekanan 150 psi untuk mengamati kedalaman invasi fluida. Pada gravel 7–10 mm, *Cellulose Fiber Medium Size* menghasilkan kedalaman invasi 5 cm, sedangkan Product X sebesar 6 cm, sehingga kedalaman invasi lebih rendah sebesar 16,7%. Pada gravel 1 cm, *Cellulose Fiber Medium Size* menghasilkan kedalaman invasi 10 cm dan masih mampu mempertahankan penyumbatan tanpa terjadi *loss circulation*, sedangkan Product X mengalami *loss circulation*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Cellulose Fiber Medium Size* memiliki kemampuan penyumbatan yang baik pada kondisi pengujian dan kinerjanya berkaitan dengan ukuran gravel serta kemampuan material mempertahankan penyumbatan.

Kata kunci: *Cellulose Fiber Medium Size*, *Fluid Invasion Test*, Gravel, KCl-Polymer, *Lost Circulation Material*

ABSTRACK

Lost circulation is one of the problems that may occur during drilling activities due to the invasion of drilling fluid into formations with fractures, cavities, or high permeability. One approach to overcome this problem is the use of *Lost Circulation Material* (LCM), which can form a sealing layer in areas experiencing fluid loss. This study aimed to analyze the effectiveness of *Cellulose Fiber Medium Size* as an LCM in gravel formations with sizes of 7–10 mm and 1 cm using the *Fluid Invasion Test* (FIT) method. The tests used KCl-Polymer-based mud with *Cellulose Fiber Medium Size* at a concentration of 40 ppb and Product X as a comparison. The tests were conducted at 150 psi to observe fluid invasion depth. For 7–10 mm gravel, *Cellulose Fiber Medium Size* resulted in an invasion depth of 5 cm, while Product X resulted in 6 cm, giving a 16.7% lower invasion depth. For 1 cm gravel, *Cellulose Fiber Medium Size* resulted in an invasion depth of 10 cm and maintained the seal without *loss circulation*, while Product X experienced *loss circulation*. The results indicate that *Cellulose Fiber Medium Size* provided good sealing performance under the tested conditions and that its performance was related to gravel size and its ability to maintain the seal.

Keywords: Cellulose Fiber Medium Size, Fluid Invasion Test, Gravel, KCl-Polymer, Lost Circulation Material

1. PENDAHULUAN

Pemboran merupakan salah satu kegiatan utama dalam industri minyak dan gas bumi yang dilakukan untuk mencapai reservoir sebagai target produksi. Selama proses pemboran berlangsung, fluida pemboran memiliki peranan penting dalam menjaga kelancaran operasi, seperti membawa *cuttings* ke permukaan, mengendalikan tekanan formasi, dan membantu menjaga kestabilan lubang bor. Namun, kondisi formasi yang ditemui selama pemboran tidak selalu mendukung sistem sirkulasi fluida. Pada kondisi tertentu, fluida pemboran dapat masuk ke dalam formasi melalui lapisan dengan permeabilitas tinggi, rekahan, maupun rongga yang terdapat pada formasi. Masuknya fluida pemboran ke dalam formasi tersebut dikenal sebagai *lost circulation* dan menjadi salah satu permasalahan yang perlu diperhatikan selama kegiatan pemboran [1]–[4].

Lost circulation terjadi ketika sebagian atau seluruh fluida pemboran yang seharusnya kembali ke permukaan masuk ke dalam formasi. Kondisi tersebut dapat menyebabkan berkurangnya volume fluida dalam sistem sirkulasi sehingga diperlukan penambahan lumpur selama operasi. Kehilangan fluida yang berlangsung secara terus-menerus juga dapat memperpanjang waktu pemboran dan meningkatkan biaya operasi. Permasalahan menjadi lebih kompleks apabila kehilangan terjadi melalui rekahan karena fluida dapat mengalir lebih jauh ke dalam formasi dan membentuk jalur kehilangan yang sulit dikendalikan. Kondisi tersebut berkaitan dengan kemampuan material penyumbat dalam membentuk dan mempertahankan struktur penyekatan pada jalur kehilangan [4]–[6].

Karakteristik jalur kehilangan menjadi salah satu faktor yang memengaruhi pergerakan fluida dan keberhasilan proses penyumbatan. Ukuran dan geometri bukaan dapat menentukan kemudahan fluida memasuki formasi, sedangkan perbedaan tekanan dan sifat fluida dapat memengaruhi pergerakan fluida di sepanjang jalur kehilangan. Penelitian mengenai invasi fluida pemboran menunjukkan bahwa karakteristik jalur rekahan dapat memengaruhi pola pergerakan fluida di dalam formasi [7]. Selain itu, ukuran bukaan dan karakteristik permukaan rekahan juga dapat memengaruhi kemampuan material dalam membentuk penyumbatan [8], [9]. Oleh karena itu, karakteristik jalur kehilangan perlu diperhatikan dalam menentukan material yang digunakan untuk mengendalikan *lost circulation*.

Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi *lost circulation* adalah penambahan *Lost Circulation Material* (LCM) ke dalam fluida pemboran. LCM bekerja dengan cara tertahan pada jalur kehilangan dan membentuk struktur penyumbatan yang dapat membatasi aliran fluida. Proses penyumbatan dapat berlangsung melalui mekanisme *bridging*, *plugging*, dan *sealing*. Material dengan ukuran yang sesuai dapat membentuk *bridge* pada bagian awal jalur kehilangan, sedangkan material yang lebih kecil dapat mengisi ruang di antara material tersebut sehingga struktur penyumbatan menjadi lebih rapat [2], [4], [5]. Dengan demikian, keberhasilan LCM dalam mengendalikan kehilangan fluida dipengaruhi oleh kesesuaian karakteristik material dengan kondisi jalur kehilangan.

Selain jenis material, ukuran, bentuk, konsentrasi, dan distribusi ukuran partikel atau *particle size distribution* (PSD) juga dapat memengaruhi pembentukan *bridge* dan *seal*. Distribusi ukuran material yang sesuai dengan ukuran bukaan dapat membantu material saling mengisi dan membentuk struktur penyumbatan. Lee dan Dahi Taleghani menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel LCM berpengaruh terhadap kemampuan material dalam melakukan penyegelan rekahan [3]. Karakteristik permukaan rekahan juga dapat memengaruhi kinerja material dalam membentuk penyumbatan [9]. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemilihan LCM perlu mempertimbangkan kondisi jalur kehilangan yang akan ditangani.

Salah satu jenis LCM yang dapat digunakan adalah material berbasis serat atau *fibrous LCM*. Bentuk serat memungkinkan material saling bertaut dan membentuk jaringan yang dapat membantu menutup jalur aliran fluida. Salah satu material yang termasuk dalam kelompok tersebut adalah *cellulose fiber*. Alhaidari dkk. meneliti beberapa jenis LCM berbentuk *flaky* dan *fibrous*, termasuk *natural cellulose fiber*, untuk mengetahui kemampuan material dalam membentuk penyumbatan pada rekahan menggunakan beberapa kondisi *carrier fluid*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *natural cellulose fiber* mampu membentuk penyumbatan pada rekahan, meskipun kemampuan *plugging* juga dipengaruhi oleh karakteristik material dan kondisi pengujian [2].

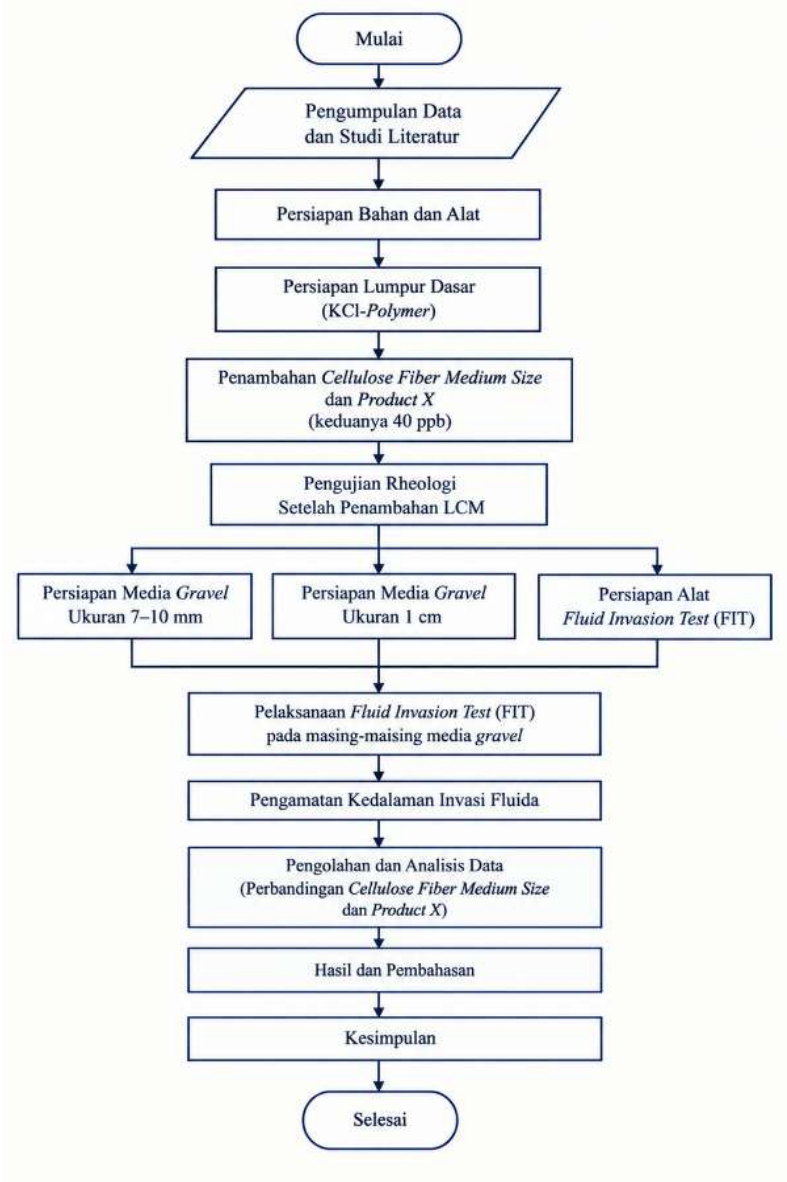
Penelitian mengenai LCM berbasis serat menunjukkan bahwa kemampuan penyumbatan juga dipengaruhi oleh ukuran bukaan jalur kehilangan. Henriques dan Dahi Taleghani mengevaluasi penggunaan LCM berbasis serat untuk penyumbatan rekahan melalui pendekatan simulasi [6], sedangkan Magzoub dkk. mengkaji pengaruh ukuran bukaan rekahan terhadap kemampuan penyegelan material yang mengandung serat [8]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan pentingnya kesesuaian antara karakteristik material penyumbat dan ukuran jalur kehilangan. Namun, penggunaan *Cellulose Fiber Medium Size* pada media gravel dengan sistem lumpur berbasis KCl-Polymer, serta pengujian menggunakan metode *Fluid Invasion Test* (FIT), masih perlu dikaji lebih lanjut.

Berdasarkan penelitian terdahulu, terdapat perbedaan pada media pengujian, jenis material, sistem fluida, dan metode evaluasi yang digunakan. Penelitian ini menggunakan *Cellulose Fiber Medium Size* sebagai LCM pada lumpur berbasis KCl-Polymer dengan media gravel berukuran 7–10 mm dan 1 cm. Pengujian dilakukan menggunakan metode FIT pada tekanan 150 psi untuk mengamati kedalaman invasi fluida pada masing-masing ukuran gravel. Kedalaman invasi digunakan sebagai salah satu parameter untuk melihat kemampuan material dalam membatasi pergerakan fluida, sedangkan pengujian sifat reologi digunakan untuk mengetahui karakteristik lumpur setelah penambahan LCM. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan Product X sebagai material pembanding.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan *Cellulose Fiber Medium Size* sebagai LCM dalam membatasi invasi fluida pada media gravel berukuran 7–10 mm dan 1 cm menggunakan metode FIT. Perbandingan hasil pada kedua ukuran gravel dilakukan untuk melihat perbedaan kinerja material pada kondisi jalur kehilangan dengan ukuran celah yang berbeda. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kemampuan *Cellulose Fiber Medium Size* dalam membentuk penyumbatan pada kondisi pengujian yang dilakukan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan data primer yang diperoleh dari pengujian laboratorium untuk mengetahui kemampuan *Cellulose Fiber Medium Size* sebagai LCM dalam mengurangi invasi fluida pada media gravel. Pengujian dilakukan sesuai Gambar 1 menggunakan lumpur dasar KCl-Polymer dengan penambahan *Cellulose Fiber Medium Size* pada konsentrasi 40 ppb. Sebagai pembanding digunakan Product X. Media gravel yang digunakan terdiri atas dua ukuran, yaitu 7–10 mm dan 1 cm. Pengujian dilakukan menggunakan metode FIT dengan tekanan 150 psi dan waktu pengujian selama 3 menit. Parameter yang diamati dalam pengujian meliputi kedalaman invasi fluida dan kondisi penyumbatan pada masing-masing ukuran *gravel*. Hasil pengujian kemudian dibandingkan antara *Cellulose Fiber Medium Size* dan Product X untuk melihat perbedaan kemampuan keduanya dalam membatasi invasi fluida.



Gambar 1. Diagram Alir

A. Persiapan Lumpur dan Sampel

Lumpur dsar yang digunakan dalam penelitian merupakan sistem KCl-Polymer yang terdiri atas air, bentonite, NaOH, xanthan gum, PAC-L, KCl, dan barite. Setelah lumpur dasar disiapkan, *Cellulose Fiber Medium Size* ditambahkan dengan konsentrasi 40 ppb. Penambahan LCM dilakukan pada lumpur yang telah disiapkan sebelum digunakan dalam pengujian. Selain *Cellulose Fiber Medium Size*, Product X yang berbasis material kimia digunakan sebagai material pembanding untuk melihat perbedaan kemampuan penyumbatan pada kondisi pengujian yang sama.

Sampel gravel disiapkan dalam dua ukuran, yaitu 7–10 mm dan 1 cm. Kedua ukuran gravel digunakan untuk melihat pengaruh perbedaan ukuran celah terhadap kemampuan material LCM dalam membatasi pergerakan fluida. Masing-masing sampel kemudian digunakan sebagai media pada pengujian *Fluid Invasion Test*.

B. Pengujian Sifat Reologi

Pengujian sifat reologi hanya dilakukan terhadap lumpur setelah penambahan *Cellulose Fiber Medium Size* pada temperatur 120°F. Pengukuran dilakukan menggunakan viskometer pada kecepatan putar 600, 300,

200, 100, 6, dan 3 rpm. Parameter yang diamati meliputi *plastic viscosity* (PV), *yield point* (YP), serta *gel strength* pada 10 detik dan 10 menit. Hasil pengujian sifat reologi selanjutnya digunakan untuk mengetahui karakteristik lumpur setelah penambahan LCM.

C. Pengujian *Fluid Invasion Test* (FIT)

Pengujian FIT dilakukan untuk mengetahui kemampuan LCM dalam membatasi invasi fluida pada media gravel dengan tekanan pengujian sebesar 150 psi selama 3 menit. Lumpur yang digunakan berupa lumpur *KCl-Polymer* dengan penambahan *Cellulose Fiber Medium Size*, dan Product X pada konsentrasi yang ama yaitu 40 ppb digunakan sebagai material pembanding.

Pengujian dilakukan sebanyak dua kali dengan kondisi media *gravel* yang berbeda. Pengujian pertama dilakukan menggunakan *gravel* berukuran 7–10 mm dan pengujian kedua menggunakan *gravel* berukuran 1 cm. Masing-masing kondisi pengujian dilakukan satu kali sehingga hasil yang diperoleh merupakan hasil pengujian tunggal dan tidak digunakan untuk menentukan nilai rata-rata atau variasi hasil. Pada pengujian *gravel* 7–10 mm, kedalaman invasi yang diperoleh adalah 5 cm untuk *Cellulose Fiber Medium Size* dan 6 cm untuk Product X. Pada pengujian *gravel* 1 cm, *Cellulose Fiber Medium Size* menghasilkan invasi hingga 10 cm namun masih mampu mempertahankan *seal*, sedangkan Product X mengalami *loss circulation* sehingga tidak mampu mempertahankan penyumbatan.

3. PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *Cellulose Fiber Medium Size* dan Product X terhadap karakteristik lum-pur serta kemampuan kedua material dalam mengendalikan invasi fluida. Lumpur yang di-gunakan merupakan lumpur *KCl-Polymer* dengan komposisi dasar yang sama, yaitu air, *bentonite*, NaOH, *xanthan gum*, PAC-L, KCl, dan *barite*. Setelah seluruh bahan dasar tercam-pur, masing-masing material LCM ditambah-kan pada tahap akhir *mixing* dengan konsentrasi 40 ppb. Kondisi awal lumpur dibuat sama agar perbedaan hasil pengujian dapat dibandingkan berdasarkan material LCM yang digunakan.

Setelah proses *mixing* selesai, karakteristik lumpur diuji melalui pengujian reologi untuk mengetahui kondisi lumpur setelah penambahan material. Parameter yang diamati meliputi *mud weight*, pembacaan viskometer, *gel strength*, *Plastic Viscosity* (PV), dan *Yield Point* (YP). Hasil pengujian reologi digunakan sebagai gambaran kondisi lumpur sebelum dilakukan pengujian FIT. Pengujian FIT dilakukan pada dua kondisi ukuran *gravel*, yaitu 7–10 mm dan 1 cm, dengan masing-masing kondisi dilakukan satu kali pengujian pada tekanan 150 psi selama 3 menit. Parameter utama yang diamati adalah kedalaman invasi fluida dan kondisi penyumbatan yang terbentuk pada media *gravel*. Hasil pengujian kemudian digunakan untuk membandingkan kemampuan *Cellulose Fiber Medium Size* dan Product X dalam membatasi invasi fluida serta mempertahankan penyumbatan pada kondisi pengujian.

A. Karakteristik Material dan Hasil Pengujian Reologi

Pengujian reologi hanya dilakukan terhadap sampel lumpur yang telah ditambahkan *Cellulose Fiber Medium Size* pada temperatur 120°F Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karak-teristik lumpur setelah penambahan material LCM sebelum dilakukan pengujian FIT. Parameter yang diamati meliputi mud weight, pembacaan viskometer pada beberapa kecepatan putar, *gel strength, Plastic Viscosity* (PV), dan *Yield Point* (YP). Perbedaan mendasar antara kedua material terletak pada bentuk fisik dan mekanisme penyumbatannya. Perbandingan karakteristik material dan hasil pengujian sifat reologi pada temperatur 120°F disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Material Uji LCM (Konsentrasi 40 ppb)

Parameter Karakteristik	Cellulose Fiber Medium Size	Product X
Basis Material	Serat selulosa alami (Fibrous LCM)	Aditif kimia (Chemical-based LCM)
Bentuk Fisik	Serat padat berukuran sedang (medium fiber)	Komponen kimia terdispersi dalam fluida
Konsentrasi Uji	40 ppb	40 ppb
Mekanisme Penyumbatan Utama	Bridging mekanis & jaringan serat bertaut (interlocking)	Peningkatan tahanan aliran & interaksi kimia fluida

Tabel 2. Hasil Pengujian Reologi *Cellulose Fiber Size Medium*

Parameter	Hasil
Mud Weight	9,6 ppg
600 rpm	80
300 rpm	55
200 rpm	45
100 rpm	30
6 rpm	7
3 rpm	6
Gel Strength 10 detik	5 lb/100 ft²
Gel Strength 10 menit	10 lb/100 ft²
Plastic Viscosity (PV)	25 Cp
Yield Point (YP)	30 lb/100 ft²

Berdasarkan Tabel 2, sampel lumpur setelah penambahan *Cellulose Fiber Medium Size* memiliki *mud weight* sebesar 9,6 ppg. Nilai pembacaan viskometer pada 600, 300, 200, dan 100 rpm masing-masing sebesar 80, 55, 45, dan 30, sedangkan pada 6 dan 3 rpm masing-masing sebesar 7 dan 6. Nilai *gel strength* sebesar 5 lb/100 ft² pada 10 detik dan meningkat menjadi 10 lb/100 ft² pada 10 menit, yang menunjukkan kemampuan lumpur dalam membentuk struktur gel ketika berada dalam kondisi diam. Sementara itu, nilai PV sebesar 25 cP dan YP sebesar 30 lb/100 ft² menunjukkan karakteristik aliran lumpur serta kemampuannya dalam membawa material selama proses sirkulasi. Hasil pengujian reologi tersebut menjadi gambaran kondisi sampel sebelum dilakukan pengujian FIT.

B. Hasil Pengujian FIT pada *Gravel* 7–10 mm

Pengujian FIT pada *gravel* berukuran 7–10 mm dilakukan untuk membandingkan kemampuan *Cellulose Fiber Medium Size* dan *Product* X dalam membatasi invasi fluida. Pada kondisi pengujian yang sama, *Cellulose Fiber Medium Size* menghasilkan kedalaman invasi sebesar 5 cm, sedangkan *Product X* menghasilkan kedalaman invasi sebesar 6 cm. Dengan demikian, kedalaman invasi *Cellulose Fiber Medium Size* lebih rendah sebesar 1 cm atau sekitar 16,7% dibandingkan Product X. Kedalaman invasi yang lebih rendah menunjukkan bahwa pada kondisi pengujian tersebut *Cellulose Fiber Medium Size* mampu membatasi pergerakan fluida lebih baik dibandingkan *Product X*.

Perbedaan tersebut dikaitkan dengan karakteristik material berbentuk serat yang dapat mengisi ruang di antara partikel *gravel*. Serat juga dapat saling bertaut sehingga diduga membantu membatasi jalur aliran fluida. Namun, penelitian ini tidak melakukan pengamatan langsung terhadap struktur *bridge*, sehingga mekanisme *bridging* tidak dapat dinyatakan sebagai hasil pengamatan langsung. Perbedaan kedalaman invasi tersebut diduga berkaitan dengan mekanisme *bridging* dan karakteristik serat dalam membatasi aliran fluida.

Karena masing-masing kondisi pengujian dilakukan satu kali, nilai 5 cm dan 6 cm merupakan hasil pengamatan dari pengujian yang dilakukan dan bukan nilai rata-rata dari beberapa pengulangan. Oleh karena itu, perbedaan sebesar 1 cm atau 16,7% digunakan untuk menunjukkan perbedaan hasil pada kondisi pengujian tersebut, bukan untuk menyatakan tingkat variasi atau konsistensi hasil.

Gambar 2 menunjukkan media *gravel* berukuran 7–10 mm yang digunakan sebagai media pengujian FIT untuk mengamati kemampuan LCM dalam membatasi invasi fluida. Gambar 3 menunjukkan hasil invasi lumpur pada media gravel berukuran 7–10 mm, dengan menggunakan Produk X. Sedangkan Gambar 4 menunjukkan hasil invasi lumpur pada media gravel berukuran 7–10 mm, dengan menggunakan *Cellulose Fiber Medium Size.*



Gambar 2. Gravel 7/10 mm



Gambar 3. Hasil Invasi Lumpur: Produk X



Gambar 4. Hasil Invasi Lumpur: Cellulose Fiber Medium Size

C. Hasil Pengujian *Fluid Invasion Test* pada Gravel 1 cm

Pengujian FIT pada *gravel* berukuran 1 cm dilakukan untuk melihat kemampuan *Cellulose Fiber Medium Size* dan Product X dalam membatasi invasi fluida pada ukuran celah yang lebih besar. Pada kondisi pengujian tersebut, *Cellulose Fiber Medium Size* menghasilkan kedalaman invasi sebesar 10 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa fluida masih dapat masuk hingga kedalaman 10 cm, tetapi *Cellu-*

lose Fiber Medium Size masih mampu mempertahankan *seal* sehingga tidak terjadi *loss circulation*. Sementara itu, pada penggunaan Product X terjadi *loss circula-tion*, sehingga penyumbatan tidak dapat dipertahankan pada kondisi pengujian tersebut.

Berdasarkan Tabel 3, *Cellulose Fiber Medium* Size dengan tekanan yang sama sebesar 150 psi masih mampu membentuk *seal* pada gravel berukuran 1 cm dengan ke-dalaman invasi 10 cm. Kedalaman invasi se-besar 10 cm tidak dapat langsung digunakan untuk menyatakan bahwa *Cellulose Fiber Medium Size* memiliki kinerja yang lebih buruk. Pada kondisi ini, penilaian tidak hanya didasarkan pada kedalaman invasi, tetapi juga pada kemampuan material dalam mempertahankan *seal* dan mencegah terjadinya *loss circulation*. Dengan demikian, meskipun fluida masih mengalami invasi hingga 10 cm, kemampuan *Cellulose Fiber Medium Size* dalam mempertahankan penyumbatan menjadi indikator penting dalam menilai hasil pengujian pada *gravel* berukuran 1 cm.

Perbedaan hasil tersebut dapat dikaitkan dengan ukuran *gravel* yang lebih besar sehingga menghasilkan ruang atau celah yang lebih besar bagi fluida untuk mengalir. *Cellulose Fiber Medium Size* yang berbentuk serat diduga dapat mengisi ruang di antara partikel *gravel* dan membantu membatasi jalur aliran melalui mekanisme *bridging*. Penyumbatan yang terbentuk kemudian membantu mempertahankan *seal* dan membatasi terjadinya kehilangan fluida. Namun, penelitian ini tidak melakukan pengamatan langsung terhadap struktur *bridge*, sehingga mekanisme tersebut merupakan dugaan berdasarkan karakteristik material dan hasil pengujian, bukan hasil pengamatan langsung.

Tabel 3. Hasil Pengujian FIT pada Gravel 1 cm

Material	Hasil
Cellulose Fiber Medium Size	*Seal*, invasi 10 cm
Produk X	*Loss circulation*

Pengujian pada *gravel* berukuran 1 cm dilakukan satu kali, sehingga kedalaman invasi 10 cm merupakan hasil pengamatan pada satu kondisi pengujian dan bukan nilai rata-rata dari beberapa pengulangan. Gambar 5 menunjukkan media *gravel* berukuran 1 cm yang digunakan dalam pengujian FIT. Media *gravel* tersebut menjadi jalur aliran untuk mengamati kemampuan *Cellulose Fiber Medium Size* dalam membatasi invasi fluida. Sedangkan Gambar 6 menunjukkan hasil pengujian invasi lumpur *Produk X* dan *Cellulose Fiber Medium Size* pada media *gravel* berukuran 1 cm. Gambar tersebut memperlihatkan perbedaan kemampuan kedua material dalam membatasi invasi fluida pada media *gravel* dengan ukuran celah yang lebih besar.



Gambar 5. Gravel 1 cm



Gambar 6. Hasil Invasi Lumpur Produk X dan Cellulose Fiber Medium pada Gravel 1 cm

D. Perbandingan Kinerja Cellulose Fiber Medium Size dan Produk X

Perbandingan kinerja *Cellulose Fiber Medium Size* dan Produk X dilakukan berdasarkan dua indikator, yaitu kedalaman invasi fluida dan kemampuan mempertahankan *seal*. Pada *gravel* berukuran 7–10 mm, kedua

material masih mampu mempertahankan *seal*, sehingga kedalaman invasi dapat digunakan sebagai indikator pembanding. *Cellulose Fiber Medium Size* menghasilkan kedalaman invasi sebesar 5 cm, sedangkan Produk X sebesar 6 cm. Dengan demikian, kedalaman invasi *Cellulose Fiber Medium Size* lebih rendah sebesar 1 cm atau sekitar 16,7% dibandingkan dengan Produk X.

Pada *gravel* berukuran 1 cm, penilaian tidak hanya didasarkan pada kedalaman invasi. *Cellulose Fiber Medium Size* menghasilkan kedalaman invasi sebesar 10 cm, tetapi masih mampu mempertahankan *seal* dan tidak mengalami *loss circulation*. Sementara itu, Produk X mengalami *loss circulation*. Oleh karena itu, kedalaman invasi 10 cm tidak dapat langsung diartikan sebagai kinerja yang lebih buruk tanpa melihat kondisi penyumbatan yang terbentuk. Pada kondisi ketika salah satu material mengalami *loss circulation*, kemampuan mempertahankan *seal* menjadi indikator penting dalam menilai kinerja LCM. Perbedaan hasil tersebut dapat dikaitkan dengan ukuran *gravel* yang memengaruhi ukuran celah antarpartikel. Semakin besar ukuran *gravel*, ruang atau celah yang tersedia untuk aliran fluida juga dapat menjadi lebih besar. Pada kondisi tersebut, material berbentuk serat seperti *Cellulose Fiber Medium Size* diduga dapat mengisi ruang di antara partikel dan saling bertaut sehingga membantu membatasi jalur aliran fluida. Mekanisme *bridging* tersebut diduga berperan dalam pembentukan *seal* dan selanjutnya memengaruhi kedalaman invasi fluida. Namun, penelitian ini tidak melakukan pengamatan langsung terhadap struktur *bridge*, sehingga mekanisme tersebut tidak dapat dinyatakan sebagai hasil pengamatan langsung.

Berdasarkan hasil pengujian, *Cellulose Fiber Medium Size* menunjukkan kemampuan penyumbatan yang baik pada kondisi pengujian yang dilakukan. Pada *gravel* 7–10 mm, material menghasilkan kedalaman invasi yang lebih rendah dibandingkan Produk X, sedangkan pada *gravel* 1 cm material masih mampu mempertahankan *seal* tanpa terjadi *loss circulation*. Hasil tersebut menunjukkan adanya perbedaan kinerja antara kedua material pada kondisi *gravel* yang diuji.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, *Cellulose Fiber Medium Size* menunjukkan kemampuan penyumbatan yang baik dibandingkan Produk X pada kondisi *gravel* berukuran 7–10 mm dan 1 cm. Pada *gravel* 7–10 mm, *Cellulose Fiber Medium Size* menghasilkan kedalaman invasi sebesar 5 cm, sedangkan Produk X sebesar 6 cm. Dengan demikian, kedalaman invasi *Cellulose Fiber Medium Size* lebih rendah sebesar 1 cm atau sekitar 16,7% dibandingkan Produk X. Pada *gravel* berukuran 1 cm, *Cellulose Fiber Medium Size* dengan konsentrasi 40 ppb menghasilkan kedalaman invasi sebesar 10 cm, tetapi masih mampu mempertahankan *seal* tanpa terjadi *loss circulation*, sedangkan Produk X mengalami *loss circulation*.

Penilaian kinerja LCM pada penelitian ini dilakukan berdasarkan kedalaman invasi dan kemampuan mempertahankan *seal*. Pada kondisi kedua, material tidak mengalami *loss circulation*, kedalaman invasi yang lebih rendah menunjukkan kemampuan membatasi aliran fluida yang lebih baik. Sementara itu, pada kondisi salah satu material mengalami *loss circulation*, kemampuan mempertahankan *seal* menjadi indikator penting dalam penilaian kinerja. Berdasarkan kriteria tersebut, *Cellulose Fiber Medium Size* menunjukkan kemampuan penyumbatan yang baik pada kedua kondisi *gravel* yang diuji.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa ukuran *gravel* dapat memengaruhi kondisi penyumbatan dan kedalaman invasi fluida. *Cellulose Fiber Medium Size* diduga mampu mengisi ruang di antara partikel *gravel* dan membantu membatasi jalur aliran melalui mekanisme *bridging*. Namun, karena penelitian ini tidak melakukan pengamatan langsung terhadap struktur *bridge* dan setiap kondisi hanya dilakukan satu kali pengujian, mekanisme tersebut dan konsistensi hasil belum dapat dipastikan secara lebih luas.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian dengan variasi konsen-

trasi *Cellulose Fiber Medium Size*, terutama pada *gravel* berukuran 1 cm, serta variasi tekanan untuk mengetahui kemampuan *seal* dalam menahan tekanan yang lebih tinggi. Pengujian dengan jumlah pengulangan yang lebih banyak juga diperlukan agar diperoleh hasil yang dapat digunakan untuk melihat variasi dan konsistensi kinerja material.

DAFTAR PUSTAKA.

[1] R. Albattat, M. AlSinan, H. Kwak, and H. Hoteit, "Lost-circulation diagnostics using derivative-based type-curves for non-Newtonian mud leakage into fractured formation," 2021.

[2] S. A. Alhaidari, S. A. Alarifi, and A. Bahamdan, "Plugging efficiency of flaky and fibrous lost circulation materials in different carrier fluid systems," Frontiers in Physics, vol. 10, Art. no. 1065526, 2022.

[3] L. Lee and A. D. Taleghani, "Assessment of lost circulation material particle-size distribution on fracture sealing: A numerical study," SPE Drilling & Completion, vol. 37, no. 3, pp. 191–205, 2022.

[4] X. Xu et al., "Physical plugging of lost circulation fractures at microscopic level," Fuel, vol. 317, Art. no. 123477, 2022.

[5] B. Elahifar and S. Hosseini, "Laboratory study of plugging mechanism and seal integrity in fractured formations using a new blend of lost circulation materials," Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, vol. 13, pp. 1197–1234, 2023.

[6] C. Henriques and A. D. Taleghani, "An evaluation of fiber-based lost circulation material for fracture plugging using simulations," Geoenergy Science and Engineering, vol. 229, Art. no. 212144, 2023.

[7] H. Li, Q. Wang, K. Zhang, Q. H. Zhang, T. Song, C. Zhang, L. B. Zhuo, C. Hao, F. P. Feng, H. Y. Wang, and Y. Q. Zhang, "The invasion law of drilling fluid along bedding fractures of shale," Frontiers in Earth Science, vol. 11, Art. no. 1112441, 2023.

[8] M. Magzoub, T. Anyaezu, S. Salehi, G. Li, J. Fan, C. Teodoriu, F. K. Saleh, and A. D. Taleghani, "Evaluating sealability of blended smart polymer and fiber additive for geothermal drilling with the effect of fracture opening size," Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 206, Art. no. 108998, 2021.

[9] X. Zang et al., "Fracture surface morphology characterization and its influence on plugging performance of granular lost circulation materials," Geoenergy Science and Engineering, vol. 230, Art. no. 212189, 2023.

[10] C. Ma, Y. Feng, Y. Dou, M. Chu, K. Zhao, and J. Deng, "Experimental study on the design method of lost circulation materialsfor induced fractures," Geoenergy Science and Engineering, 2024.