



Studi Laboratorium Pengaruh Penambahan Bubuk Tulang Sotong sebagai *Bridging Agent* pada Lumpur Pemboran

Fatma✉

Program Studi Teknik Perminyakan, Sekolah Tinggi Teknologi Migas, Balikpapan, Indonesia

DOI: 10.31004/jutin.v8i4.54017

✉ Corresponding author:
[fatmarfan@gmail.com]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:

*Bridging Agent;
Kalsium karbonat
(CaCO₃);
Tulang Sotong;
Filtration Lost;
Lost Circulation*

Pada proses pemboran, ketika zona reservoir berhasil ditembus, formasi batuan umumnya memiliki porositas dan permeabilitas tinggi yang berpotensi menyebabkan kehilangan lumpur (*lost circulation*). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, digunakan *bridging agent* berupa kalsium karbonat (CaCO₃) yang bersifat *acid soluble* dan mampu menutup pori formasi secara sementara. Tulang sotong diketahui mengandung CaCO₃ dalam jumlah dominan, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai *bridging agent* alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas CaCO₃ dari tulang sotong sebagai *bridging agent* pada lumpur pemboran. Evaluasi dilakukan melalui pengujian filtrasi dan pengamatan karakteristik *mud cake*. Hasil pengujian menunjukkan volume filtrat yang rendah, yaitu 4,8–6 mL selama 30 menit, serta terbentuknya *mud cake* yang tipis dan kompak dengan ketebalan rata-rata 0,398-0,794 mm. Hasil ini mengindikasikan bahwa CaCO₃ dari tulang sotong efektif dalam menutup pori formasi dan mencegah terjadinya *lost circulation* pada zona produktif.

Keywords:

*Bridging agent;
Calcium carbonate
(CaCO₃);
Cuttlebone;
Filtration Lost;
Lost Circulation*

Abstract

During drilling operations, when the reservoir zone is penetrated, the rock formation generally has high porosity and permeability, which can cause lost circulation. To overcome this problem, a bridging agent in the form of calcium carbonate (CaCO₃) is used because it is acid soluble and can temporarily seal the formation pores. Cuttlebone is known to contain a high amount of CaCO₃, so it has potential as an alternative bridging agent. This study aims to evaluate the effectiveness of CaCO₃ derived from cuttlebone as a bridging agent in drilling fluid. The evaluation was carried out through filtration tests and observation of mud cake characteristics. The test results show a low filtrate volume of 4.8–6 mL within 30 minutes and created thin and compact mud cake with an average thickness of 0.398-0.794 mm. These results indicate that CaCO₃ from cuttlebone is effective in sealing formation pores and preventing lost circulation in the productive zone.

1. PENDAHULUAN

Pemboran adalah kegiatan membuat lubang baik secara vertikal maupun horizontal ke dalam bawah permukaan yang bertujuan untuk menargetkan suatu lapisan dengan kandungan hidrokarbon (Islam & Hossain, 2021). Usaha untuk menuju target operasi pemboran tersebut, melalui penembusan berbagai macam formasi batuan di mana setiap formasi memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga dalam operasi pemboran terkadang terjadi permasalahan yang mengganggu optimasi pemboran. Permasalahan-permasalahan yang timbul selama proses pemboran tersebut tidak terlepas dari peran fluida pemboran yang digunakan, sehingga pemilihan dan pengendalian sifat lumpur pemboran menjadi faktor penting dalam menunjang keberhasilan operasi pemboran (Caenn et al., 2017; Darley & Gray, 1988)

Lumpur memiliki peranan penting dalam operasi pengeboran sumur minyak dan gas bumi. Rubiandini, (2010) menyatakan terdapat sepuluh peran penting lumpur dalam operasi pemboran, satu di antaranya ialah membentuk *mud cake* berupa lapisan zat padat tipis di permukaan formasi yang permeable, hal ini bertujuan untuk menahan cairan lumpur masuk ke dalam formasi. Adanya aliran yang masuk yaitu cairan beserta padatan menyebabkan padatan tertinggal atau tersaring. Cairan yang masuk ke formasi disebut filtrat (Rubiandini, 2010). Apabila filtrat yang masuk ke dalam formasi terlalu besar, yaitu lebih dari 15 ml/30 menit akibat *mud cake* yang tidak terbentuk secara optimal, maka *mud cake* yang dihasilkan cenderung menjadi lebih tebal (hingga lebih dari 2 mm) namun tidak rapat sehingga dapat menyebabkan penyempitan diameter lubang bor dan meningkatkan risiko *differential pipe sticking* (Darley & Gray, 1988) (*API Recommended Practice 13B-1*, 2019). Sebaliknya, apabila *mud cake* tidak terbentuk atau bersifat sangat permeabel, dinding lubang bor akan kontak langsung dengan lumpur pemboran, menyebabkan laju aliran filtrat ke dalam formasi meningkat. Kondisi ini dikenal sebagai *fluid loss*, yang merupakan tahap awal gangguan interaksi antara lumpur pemboran dan formasi (Caenn et al., 2011b). Jika *fluid loss* tersebut tidak segera dikendalikan, aliran fluida dapat berkembang dan melibatkan kehilangan lumpur dalam jumlah yang lebih besar, sehingga berpotensi berkembang menjadi *lost circulation* dan menyebabkan kerusakan formasi (Bourgoyne et al., 1986; Caenn et al., 2011a)

Ketika zona reservoir berhasil ditembus, formasi batuan umumnya memiliki porositas dan permeabilitas tinggi yang berpotensi menyebabkan kehilangan lumpur (*lost circulation*) (Caenn et al., 2017). Untuk mengatasi permasalahan tersebut dibutuhkan *bridging agent* dengan ukuran partikel yang sesuai (lebih besar dan seragam) dengan pori formasi yang bersifat menutup sementara dan mudah dibersihkan (Slumberger). Keberadaan *bridging agent* berfungsi untuk menutup bagian terluar pori formasi sehingga membentuk lapisan jembatan awal (*bridge*) yang mencegah penetrasi filtrat dan partikel lumpur lebih lanjut. Setelah lapisan partikel terbentuk, partikel lumpur halus akan terakumulasi di permukaan formasi, membentuk *mud cake* eksternal yang tipis dan kompak (Yao et al., 2014; Zhao et al., 2026)

Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan *bridging agent* yang paling banyak digunakan dalam fluida pemboran karena tersedia di seluruh dunia, selain itu kalsium karbonat memiliki daya tahan tinggi terhadap panas dan perbedaan tekanan, stabil, tidak mudah larut dalam cairan, serta mudah dibersihkan melalui proses pengasaman (*acid soluble*), sehingga dipercaya mampu menutup pori formasi secara sementara (Ismail et al., 2021). Selain CaCO_3 komersial, CaCO_3 yang berasal dari tulang sotong (*cuttlebone*) memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai *bridging agent* alternatif. Diketahui limbah tulang sotong memiliki unsur anorganik mencapai 75-90% yang sebagian besarnya merupakan CaCO_3 (Cho et al., 2001). Tulang sotong secara alami tersusun dari kalsium karbonat dengan struktur berlapis dan berpori, yang setelah melalui proses penggilingan dan klasifikasi ukuran partikel, dapat disesuaikan dengan kebutuhan mekanisme bridging. Pemanfaatan CaCO_3 tulang sotong diharapkan tidak hanya mampu mengendalikan kehilangan lumpur dan meningkatkan kualitas *mud cake*, tetapi juga memberikan nilai tambah dari sisi keberlanjutan dan pemanfaatan material alami.

2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental melalui uji laboratorium. Pada tahap awal, limbah tulang sotong dipersiapkan dengan cara dibersihkan, dikeringkan, digerus, dan diayak untuk memperoleh ukuran butir yang seragam. Tahap berikutnya dilakukan tes *Particle Size Distribution (PSD)*, yang bertujuan untuk mengetahui ukuran median partikel (D_{50}) agar dapat disesuaikan dengan ukuran pori dari *ceramic disc* pada uji PPT, *ceramic disc* merupakan representasi dari formasi di reservoir.

Formulasi lumpur dibuat sebanyak empat variasi sampel uji yang ditampilkan pada Tabel 1. Sampel 1 merupakan komposisi lumpur dasar (*base mud*) tanpa bubuk tulang sotong dengan kandungan air, KOH, Strach, Barite, KCl, dan XCD. Pada sampel 2, 3, dan 4 ditambahkan bubuk tulang sotong masing-masing sebanyak 5 gram,

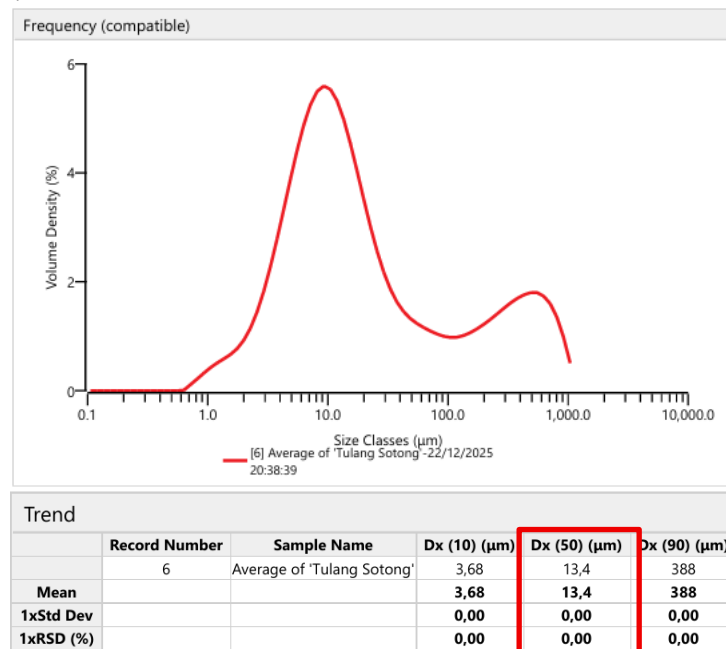
10 gram, dan 15 gram. Sampel yang telah tercampur selanjutnya dilakukan pengukuran *mud weight*, dan pengujian kompatibilitas lumpur, meliputi pH, dan *rheology* (*yield point*, *plastic viscosity*, dan *gel strength*), ini bertujuan untuk memastikan bahwa dengan penambahan bubuk tulang sotong tidak mengubah pH secara signifikan dan tidak merusak sifat *rheology* lumpur. Pada tahap akhir dilakukan uji *Permeability Plugging Test* (PPT) untuk mengevaluasi kemampuan *bridging agent* dalam menutup pori maupun permeabilitas formasi. Dalam uji PPT kondisi tekanan diatur sebanyak 500 psi dan *ceramic disc* yang digunakan berukuran pori 10 mikron, dengan pertimbangan ukuran median partikel (D_{50}) bubuk tulang sotong lebih besar dari ukuran pori *ceramic disc*, sehingga memungkinkan partikel bubuk tulang sotong dapat membentuk *mud cake* yang kompak.

Table 1. Formulasi Lumpur

Material	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Satuan
Air	333,6	333,6	333,6	333,6	gram
KOH	0,4	0,4	0,4	0,4	gram
Strach	3,2	3,2	3,2	3,2	gram
KCL	19,9	19,9	19,9	19,9	gram
XCD	3,3	3,3	3,3	3,3	gram
Barite	8,4	8,4	8,4	8,4	gram
CaCO ₃ -Tulang Sotong	0	5	10	15	gram

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengukuran ukuran partikel melalui uji *Particle Size Distribution* (PSD) yang ditunjukkan pada Gambar 1, diperoleh ukuran median partikel (D_{50}) sebesar 13,4 mikron. Hasil ini memberikan informasi awal bahwa ukuran pori yang mampu ditutup oleh *bridging agent* CaCO₃ berbahan dasar tulang sotong berukuran setidaknya kurang dari 13,4 mikron.



Gambar 1. Hasil Pengukuran Partikel Tulang Sotong menggunakan PSD

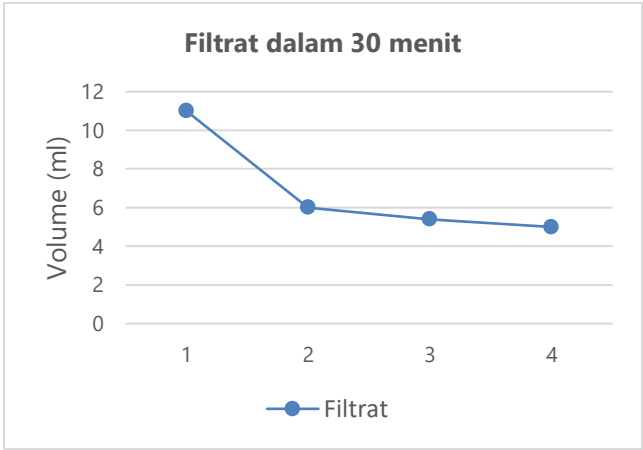
Berdasarkan hasil pengukuran *mud weight* dan pH serta pengujian *rheology* lumpur pada Sampel 1 hingga Sampel 4 yang tercantum pada Tabel 2, terjadi peningkatan berat lumpur (*mud weight*) di mana ini merupakan hal yang wajar dikarenakan adanya penambahan bubuk tulang sotong di setiap sampel. Peningkatan *mud weight* dari 8,7 ppg hingga 9,0 ppg tidak menyebabkan gangguan terhadap stabilitas rheologi lumpur pada seluruh sampel, yang ditunjukkan oleh nilai *plastic viscosity* sebesar 11 cp dan *yield point* yang relatif stabil yaitu 44-46 lbs/100ft², begitu juga dengan *gel strength* 30 menit sebesar 23-24 lbs/100ft².

Tabel 2. Hasil Pengukuran *Mud Weight* dan pH serta pengujian *Rheology* Lumpur Pemboran

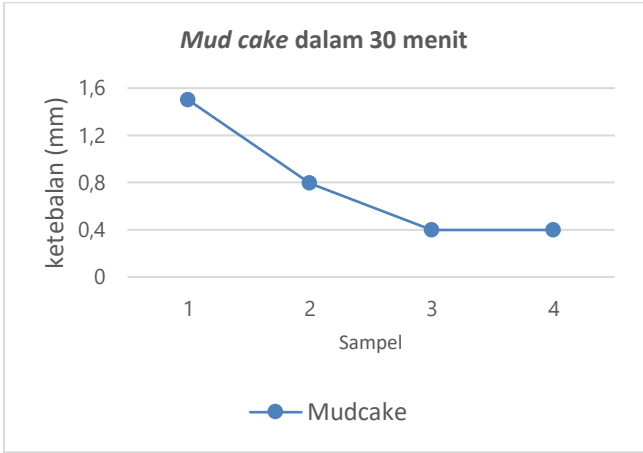
Mud Properties	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	satuan
Mud Weight	8,7	8,8	8,9	9,0	ppg
Plastic Viscosity	11	11	11	11	cp
Yield Point	44	44	45	46	lbs/100ft ²
Gel Strength 30 menit	24	23	23	23	lbs/100ft ²
pH	11,46	11,53	11,53	11,53	

Tabel 3. Hasil Pengujian PPT selama 30 menit pada Lumpur Pemboran

Mud Properties	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	satuan
Filtrat	11	6	5,4	5	ml/30 menit
Mud cake	1,5	0,794	0,398	0,398	mm



Gambar 2. Volume Filtrat dalam 30 menit



Gambar 3. Tebal Mud Cake dalam 30 menit

Tabel 3 menyajikan hasil pengujian *Permeability Plugging Test* (PPT). Berdasarkan hasil pengujian tersebut, lumpur dasar (Sampel 1), menghasilkan volume filtrat sebesar 11 ml selama 30 menit dengan ketebalan *mud cake* 1,5 mm, walaupun nilai ini masih di bawah rentan tidak aman namun, hal tersebut sebaiknya dihindari dikarenakan mendekati batas maksimal filtrat yang dianjurkan oleh API 13B-1. Penambahan bubuk tulang sotong sebanyak 5,

10, dan 15 gram pada masing-masing Sampel 2, 3, dan 4 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3, menghasilkan nilai filtrat sebesar 5-6 ml dengan ketebalan *mud cake* 0,398 hingga 0,794 mm selama 30 menit pengujian.

Nilai filtrat yang rendah (≤ 15 mm/30 menit), serta keberhasilan pembentukan *mud cake* yang tipis (≤ 2 mm), mengindikasikan peran CaCO_3 berbasis dasar tulang sotong sebagai *bridging agent* yang efektif dalam mengendalikan kehilangan filtrat. Jika dilihat dari kondisi ini dapat diperhatikan bahwa setiap penambahan bubuk tulang sotong memperkecil nilai filtrat dan *mud cake* yang terbentuk. Hal tersebut menunjukkan bahwa partikel padat dalam lumpur mampu membentuk lapisan penutup pori formasi reservoir dengan baik dan stabil tanpa mengganggu rheology lumpur. Secara keseluruhan, lumpur pemboran pada seluruh sampel dapat dinyatakan layak digunakan dalam operasi pemboran ketika akan menutup sementara zona produktif di reservoir dan berpotensi meminimalkan risiko *Lost Circulation*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa formasi berpori dan permeabel tinggi berpotensi menyebabkan *fluid loss* apabila tidak dikendalikan dengan baik. Penambahan kalsium karbonat (CaCO_3) yang berasal dari tulang sotong sebagai *bridging agent* terbukti efektif dalam mengendalikan *fluid loss* dan meningkatkan kualitas *mud cake*. Hasil pengujian menunjukkan nilai filtrat yang rendah serta terbentuknya *mud cake* yang tipis dan kompak, yang mengindikasikan keberhasilan mekanisme bridging dan penutupan pori formasi. Dengan demikian, CaCO_3 dari tulang sotong memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai alternatif *bridging agent* dalam lumpur pemboran, khususnya pada kondisi formasi berpori besar seperti reservoir.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada PT. Halliburton Indonesia yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian, serta atas dukungan fasilitas, data, dan bimbingan teknis selama proses penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih juga peneliti sampaikan kepada seluruh karyawan di *Drilling Fluid Laboratory* yang telah membantu, memberikan arahan, serta berbagi pengetahuan dan pengalaman yang sangat berharga bagi penulis.

6. REFERENSI

- API Recommended Practice 13B-1. (2019). *Field Testing Water-based Drilling Fluids*.
- Bourgoyne, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young, F. S. (1986). *Applied Drilling Engineering*. *Society of Petroleum Engineers*.
- Caenn, R., Darley, H. C. H., & Gray, G. R. (2011a). Drilling Problems Related to Drilling Fluids. In *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids* (pp. 389–475). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-383858-2.00009-3>
- Caenn, R., Darley, H. C. H., & Gray, G. R. (2011b). The Filtration Properties of Drilling Fluids. In *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids* (pp. 271–306). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-383858-2.00006-8>
- Caenn, R., Darley[†], H. C. H., & Gray[†], G. R. (2017). Drilling Problems Related to Drilling Fluids. In *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids* (pp. 367–460). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804751-4.00010-9>
- Cho, M.-L., Heu, M.-S., & Kim, J.-S. (2001). Food Component Characteristics of Cuttle Bone as a Mineral Source. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 34(5), 478–482.
- Darley, H. C. H., & Gray, G. R. (1988). Drilling Problems Related to Drilling Fluids. In *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids* (5th ed., pp. 401–490). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-050241-0.50013-8>
- Islam, M. R., & Hossain, M. E. (2021). Advances in horizontal well drilling. *Drilling Engineering*, 317–382. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820193-0.00004-6>

- Ismail, N. I., Lawrence, E., Naz, M. Y., Shukrullah, S., & Sulaiman, S. A. (2021). Role of particle size distribution of bridging agent for drilling mud on formation damage near wellbore. *Materials Today: Proceedings*, 47, S13–S17. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.04.371>
- Rubiandini, R. (2010). *Teknik Operasi Pemboran 1* (Vol. 1). Institut Teknologi Bandung.
- Yao, R., Jiang, G., Li, W., Deng, T., & Zhang, H. (2014). Effect of Water-based Drilling Fluid Components on Filter Cake Structure. *Powder Technology*, 262, 51–61. <https://doi.org/10.1016/J.POWTEC.2014.04.060>
- Zhao, X., Yu, Q., Zhang, X., Yang, Z., Wang, S., & Qiu, Z. (2026). Optimization of particle packing design in drilling fluid sealing agents for gas influx prevention in fractured formations. *Geoenergy Science and Engineering Journal*, 257, 214274. <https://doi.org/10.1016/J.GEOEN.2025.214274>