



## Analisis Pengaruh Karbon Aktif Serbuk Gergaji Kayu Jati terhadap *Filtration Loss* dan *Rheology* Lumpur Pemboran

Meilyana Angriani<sup>1</sup>, Novrianti<sup>1\*</sup>, Neneng Purnamawati<sup>1</sup>, Ayyi Husbani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik Universitas Islam Riau

Jl. Kaharuddin Nst no 113 Pekanbaru, Riau , 28284

email : meilyanaangriani@student.uir.ac.id

\*email : novrianti@eng.uir.ac.id (Penulis Korespondensi)

Received: <sup>5</sup>th Oct 2023; Revised: <sup>6</sup>th Nov 2023; Accepted: <sup>7</sup>th Dec 2023

### Abstrak

*Rheology* lumpur dan *filtration loss* merupakan sifat fisik yang harus yang harus dikontrol karena dapat membantu mengontrol tekanan formasi, mengetahui kemampuan lumpur dalam serpih bor pada saat pemboran dihentikan dan mengangkat padatan bor. Untuk mendapatkan hasil *filtration loss* dan *rheology* yang sesuai, perlu ditambahkan *additive* didalam lumpur pemboran. Salah satu *additive* yang dipergunakan adalah karbon aktif. Serbuk gergaji kayu jati merupakan limbah dari hasil pemotongan *furniture* atau mebel yang jarang digunakan dan kemudian dimanfaatkan menjadi karbon aktif. Kayu jati memiliki kandungan selulosa 40,26 - 43,12%, Hemicelulosa 27,07 - 31,97% dan lignin 24,74 - 28,07%. Tahap pembuatan karbon aktif serbuk gergaji kayu jati meliputi proses dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi. Kemudian ditambahkan pada lumpur pemboran dengan komposisi 2 gr, 4 gr, 6 gr, 8 gr dan 10 gr karbon aktif untuk mengetahui nilai *filtration loss* dan *rheology* lumpur pemboran. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa nilai *filtration loss* dan *mud cake* memenuhi standar API 13A, nilai *plastic viscosity* yang memenuhi standar API 13A pada penambahan karbon aktif serbuk gergaji kayu jati 8 gr dan 10 gr, nilai *gel strenght* dengan penambahan 2 gr, 4 gr, 6 gr, 8 gr dan 10 gr tidak memenuhi standar API 13 A.

**Kata kunci** : *Rheology*, *Filtration Loss*, Karbon aktif, Serbuk Gergaji Kayu Jati

### Abstract

The *rheology* of drilling mud and *filtration loss* are physical properties that must be controlled, as they can help regulate formation pressure, assess the mud's capability to hold cuttings when drilling stops, and lift drill solids. To achieve suitable *filtration loss* and *rheology*, additives need to be added to the drilling mud. One such additive used is activated carbon. Sawdust from teak wood is a by-product of furniture cutting, rarely used and repurposed into activated carbon. Teak wood comprises cellulose content of 40.26 - 43.12%, hemicellulose 27.07 - 31.97%, and lignin 24.74 - 28.07%. The production stages of activated carbon from teak sawdust involve dehydration, carbonization, and activation. Then, it's added to the drilling mud with compositions of 2 gr, 4 gr, 6 gr, 8 gr, and 10 gr of activated carbon to determine *filtration loss* and drilling mud *rheology* values. Based on test results, the *filtration loss* and *mud cake* values meet API 13A standards, *plastic viscosity* values meet API 13A standards with the addition of 8 gr and 10 gr of teak sawdust activated carbon, but *gel strength* values with additions of 2 gr, 4 gr, 6 gr, 8 gr, and 10 gr do not meet API 13A standards.

**Keywords** : *Rheology*, *Filtration Loss*, Activated carbon, Teak wood sawdust

I. PENDAHULUAN

Perencanaan lumpur pemboran sangat penting dilakukan agar operasi pemboran dapat berjalan sesuai rencana [1]. Komposisi dan sifat lumpur berpengaruh terhadap operasi pemboran sebab berhasil atau tidaknya suatu pemboran adalah tergantung pada lumpur pemboran agar dalam proses pemboran tidak menemui kesulitan-kesulitan yang dapat mengganggu kelancaran kegiatan pemboran itu sendiri [2]. *Rheology* lumpur pemboran harus di pantau untuk mengontrol tekanan formasi, menentukan kemampuan lumpur dalam serpih bor pada saat pemboran dihentikan dan menghilangkan padatan yang dibor. Sedangkan *filtration loss* bertujuan mencegah masalah seperti *pipe sticking, formation damage* atau *swelling*. Untuk mendapatkan hasil *filtration loss* dan *rheology* yang diinginkan, maka ditambahkan *additive* didalam lumpur pemboran. Beberapa *additive* yang digunakan pada lumpur pemboran yaitu CMC (*Carboxymethyl Cellulose*), PAC (*Polyanionic Cellulose*), xanthan gum, KCL, *boetunite, starch, calcium carbonate* (CaCO<sub>3</sub>) dan nano material [3].

*Filtration loss* yaitu hilangnya sebagian fasa cair (*filtrate*) lumpur yang masuk ke dalam formasi *permeable* sedangkan *rheology* lumpur pemboran merupakan suatu kondisi yang di alami oleh fluida pemboran selama proses aliran fluida berlangsung. *Rheology* lumpur pemboran meliputi sifat sirkulasi dan jenis fluida pemboran [4]. *Rheology* lumpur pemboran antara lain adalah viskositas, plastik *viscositas, yield point* dan *gel strenght*. Viskositas menyatakan kekentalan lumpur bor, dimana viskositas lumpur memegang peranan pada pengangkatan serbuk bor atau *cutting*. Jika lumpur tidak cukup kental maka pengangkatan serbuk bor kurang tepat dan akan mengakibatkan serbuk bor tertinggal dalam lobang bor sebagai akibatnya menyebabkan rangkaian pipa bor akan terjepit [5]. Plastik viskositas merupakan tahanan terhadap aliran yang disebabkan oleh gesekan antara sesama benda padat di dalam lubang bor dan merupakan salah satu parameter kenaikan padatan yang ada dalam lumpur [6]. *Yield point* adalah ukuran gaya tarik menarik yang dinamik. *Yield point* merupakan tahanan terhadap aliran yang disebabkan oleh gaya elektrokimia antara padatan – padatan, cairan – cairan dan padatan – cairan. *Gel Strength* menunjukkan kemampuan lumpur didalam menahan serpih bor pada saat tidak dalam proses pemboran [7].

Adapun spesifikasi *rheology* lumpur pemboran yang baik berdasarkan spesifikasi API 2019 terdapat pada tabel 1 [8].

Tabel 1. Spesifikasi API 13 A

| <i>Requirement</i>                           | <i>Standart</i>      |
|--|----------------------|
| <i>Suspension properties</i>                 |                      |
| <i>Yield point / plastic viscosity ratio</i> | Max 3 lbf/(100 ft.c) |
| <i>Filtrate Volume</i>                       | Max 15 ml            |
| <i>Gel Strength 10s</i>                      | 4-8 lbs/100 ft2      |
| <i>Gel Strenth 10m</i>                       | 9-12 lbs/100 ft2     |

Untuk mendapatkan nilai *rheology* lumpur pemboran yang sesuai dengan standar spesifikasi yang telah ditetapkan oleh API 13 A maka beberapa *additive* kimia perlu ditambahkan ke dalam lumpur standar. *Additive* tersebut berfungsi antara lain sebagai pengental, bahan pemberat, bahan pengencer, mengurangi filtrat lumpur

pemboran dan sebagai bahan yang berfungsi untuk mengatasi terjadinya *filtration loss*. Sebagian besar *additive* kimia yang dipergunakan pada saat pemboran adalah bahan anorganik sehingga kurang baik terhadap lingkungan. Oleh karena itu sebagian peneliti saat ini mengembangkan penelitian *additive* berbahan organik yang lebih ramah terhadap lingkungan dan dapat mengurangi limbah lingkungan. Karbon dan karbon aktif merupakan salah satu *additive* yang sudah berhasil diteliti dan hasil penelitian menunjukkan penambahan karbon atau karbon aktif berpengaruh positif terhadap nilai *filtration loss* dan *rheology* lumpur pemboran.

[3] Ukuran partikel *additive* karbon aktif mempengaruhi *filtration loss* pada lumpur pemboran. *Filtration loss* berkurang dari 15,8 ml pada ukuran partikel 150 µm menjadi 12,3 ml pada ukuran 40 µm. Ukuran partikel *additive* karbon aktif juga berpengaruh pada ketebalan *mud cake*, ketebalan *mud cake* berkurang dari 1,26 mm pada ukuran partikel 150 µm menjadi 1 mm pada ukuran partikel 40 µm, ukuran partikel *additive* karbon aktif tidak mempengaruhi nilai *rheology* pada lumpur pemboran.

Sebagai negara tropis Indonesia memiliki beberapa limbah organik yang mengandung karbon yang dapat dipergunakan sebagai *additive* lumpur pemboran. Limbah tersebut antara lain adalah cangkang kelapa sawit, tempurung kelapa, daun dan batang bambu, ampas tebu, jerami padi dan serbuk gergaji kayu. Limbah serbuk gergaji kayu adalah produk samping dari industri kayu. Limbah tersebut jumlahnya sangat banyak di Indonesia, bisa mencapai 0,78 juta m<sup>3</sup> /tahun atau sekitar 15 - 20%. Sebagian besar industri belum menggunakan dan mengelola limbah ini dengan baik. Selama ini limbah serbuk gergaji kayu diolah dengan cara dibakar atau dibuang langsung ke badan sungai. Hal ini menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Berbagai penelitian dan kajian untuk mengolah serbuk kayu menjadi produk yang lebih bernilai ekonomis terus dikembangkan. Salah satunya adalah dengan menjadikan serbuk gergaji menjadi karbon aktif, Karena serbuk gergaji kayu mengandung lignin, selulosa, dan hemiselulosa sehingga dapat digunakan sebagai karbon aktif [9].

Kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin dari kayu jati memiliki presentase bahan yang baik menghasilkan karbon aktif [10]. Karbon aktif atau arang aktif merupakan bahan karbon *amorf* dengan luas permukaan besar yang dibentuk dengan struktur berpori internal selama proses karbonisasi dan aktivasi. Karbon aktif ialah padatan berpori yang mengandung karbon 85 % - 95 %, dibuat dengan pemanasan bahan karbon pada suhu yang tinggi dengan gas, uap, serta bahan kimia sampai pori-porinya terbuka [11]. Aktivasi fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan uap, panas dan CO<sub>2</sub>. Proses aktivasi dengan cara fisika dapat dilaksanakan dengan menggunakan gas nitrogen, gas oksigen, gas karbon dioksida, dan air. Gas-gas tersebut berguna untuk memperbesar struktur rongga yang terdapat pada arang

sehingga dapat meningkatkan luas permukaan arang/karbon [12].

Penelitian ini akan menganalisis pengaruh dari karbon aktif serbuk gergaji kayu jati yang diaktivasi secara fisika terhadap *filtration loss*, *mud cake* dan *rheology* lumpur pemboran.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Persiapan alat dan bahan yang dipergunakan merupakan langkah pertama yang dilakukan sebelum memulai penelitian. Peralatan yang dipergunakan adalah timbangan digital, mixer,

sieve fann VG meter, Gelas ukur, oven, stopwatch, filter press, furnace, jangka sorong, mud balance dan marsh funnel. Bahan yang dipergunakan adalah aquadest, bentonite, serbuk gergaji kayu jati yang diperoleh dari pengetaman kayu Desa Jimbaran, Kecamatan Margorejo, Pati Jawa Tengah. Karbon aktif dari serbuk gergaji kayu jati diperoleh dengan cara pengeringan, karbonisasi dan aktivasi [13]. Proses dehidrasi dengan cara membersihkan serbuk kayu jati dan dimasukkan ke dalam oven pada temperature 100°C selama 1 jam. Proses karbonisasi yaitu dengan memasukkan serbuk kayu jati ke dalam furnace pada 350°C selama 15 menit hingga terbentuk

arang selanjutnya di mesh dengan ukuran 100 mesh selanjutnya karbon hasil dari serbuk kayu jati di aktivasi secara fisika dengan menggunakan furnace pada suhu 500°C selama 1 jam. Gambar 1 merupakan Serbuk gergaji kayu jati dan gambar 2 merupakan karbon aktif kayu jati. Penujian daya serap karbon menggunakan iodine dilakukan untuk mengetahui keberhasilan aktivasi karbon serbuk gergaji kayu jati. Pengujian daya serap dilakukan dengan cara menimbang karbon aktif 2 gram dan campurkan dengan 50 ml larutan Iodium 0,1 N sebanyak 50 selanjutnya aduk selama 15 menit. Setelah itu pindahkan ke dalam tabung sentrifugal sampai karbon aktif turun kemudian

mengambil 10 ml cairan itu dan titrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,1 N. Jika warna kuning pada larutan mulai samar, tambahkan larutan amilum 1 % sebagai indikator. Titrasi kembali warna biru tua hingga menjadi warna bening.



Gambar 1. Serbuk Gergaji kayu Jati



Gambar 2. Karbon Aktif Kayu Jati

Pembuatan lumpur standar dilakukan dengan cara mencampurkan bentonite dan air ke dalam mixer dan di mix selama 20 menit. Diamkan sampel hingga 16 jam dengan keadaan wadah tertutup dalam suhu ruangan yang konstan

selanjutnya mix selama 5 menit. Langkah ke-2 sampai ke- 5 dengan penambahan 2 gr, 4 gr, 6 gr, 8 gr dan 10 gr karbon aktif serbuk gergaji kayu jati.

Pengujian filtration loss dengan menggunakan alat Filter Press, pengujian viskositas dengan menggunakan peralatan marsh funnel, pengujian plastic viscosity, yield point dan gel strenght dengan menggunakan peralatan Fann VG Meter. Adapun sampel yang dipergunakan pada penelitian ini adalah seperti yang terdapat pada tabel 1

Tabel 1. Sampel Penelitian

| No | Sampel                  |
|----|-------------------------|
| 1  | Lumpur Standart         |
| 2  | Lumpur Standart + 2 gr  |
| 3  | Lumpur Standart + 4 gr  |
| 4  | Lumpur Standart + 6 gr  |
| 5  | Lumpur Standart + 8 gr  |
| 6  | Lumpur Standart + 10 gr |

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

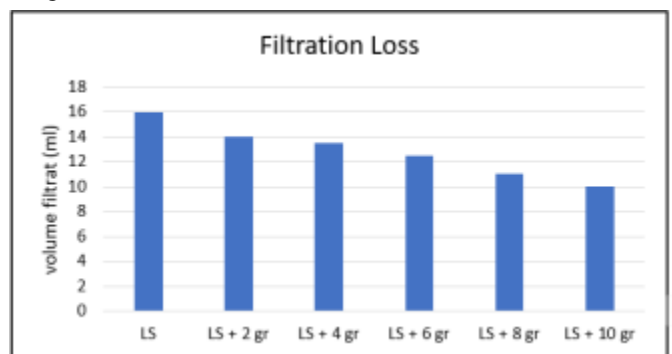
Karakterisasi karbon aktif serbuk gergaji kayu jati setelah diaktivasi secara fisika terdapat pada tabel 2.

Tabel 2. Karakterisasi karbon aktif serbuk gergaji kayu jati

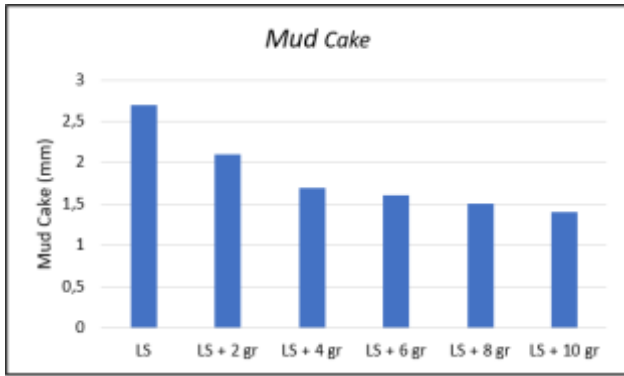
| No | Karakteristik karbon aktif | Karbon aktif serbuk gergaji kayu jati |
|----|----------------------------|---------------------------------------|
| 1  | Kadar air                  | 1,3686                                |
| 2  | Kadar abu                  | 13,8700                               |
| 3  | Daya serap iodine          | 355,1779                              |

- a. Pengaruh Karbon aktif serbuk gergaji kayu jati terhadap Filtration Loss dan Mud Cake

Hasil uji filtration loss dan *mud cake* terdapat pada gambar 3 dan gambar 4 berikut



Gambar 3. Filtration Loss



Gambar 4. Mud cake

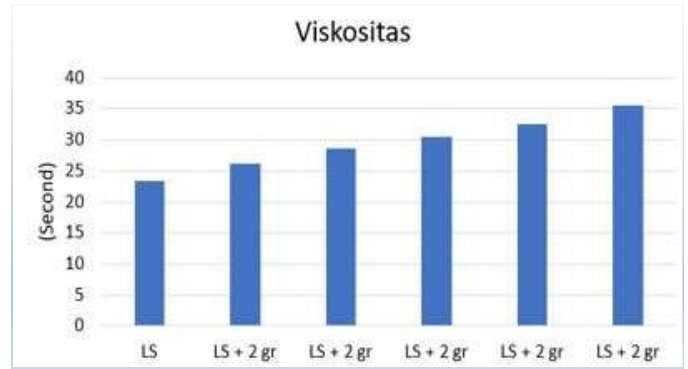
Berdasarkan gambar 3 diperoleh setiap penambahan massa additive karbon aktif serbuk gergaji kayu jati mempengaruhi nilai filtrat yang dihasilkan karena mengalami penurunan yaitu 16 ml – 10 ml. Berdasarkan Spesifikasi API 13A pada tabel 2.1 batas maksimum volume filtrat yaitu 15 ml. Namun pada Lumpur standart dengan nilai volume filtrat 16 ml tidak memenuhi standart API. Sedangkan penambahan 2 gr – 10 gr additive karbon aktif serbuk gergaji kayu jati memenuhi standart API. Sehingga additive karbon aktif ini berpengaruh baik terhadap filtration loss sesuai standart API.

Setiap penambahan massa 2 gr – 10 gr karbon aktif serbuk gergaji kayu jati menghasilkan ukuran *mud cake* yang semakin berkurang. Batas maksimum ideal untuk ketebalan *mud cake* adalah 3/8 atau 9.525 mm [3] Sehingga setiap penambahan 2 gr – 10 gr karbon aktif pada pengujian ini memenuhi batas ideal. Pentingnya ketebalan *mud cake* yang ideal adalah karena jika ketebalan *mud cake* yang dihasilkan terlalu tebal akan menyebabkan jepitan terhadap pipa pemboran ataupun pahat, sedangkan jika ketebalan *mud cake* terlalu tipis akan menyebabkan fluida masuk ke formasi dan menyebabkan ketidakstabilan pada formasi.

Turunnya nilai *filtration Loss* dan *mud cake* disebabkan karena Karbon aktif dapat mengikat komponen pembuat lumpur yang terdiri dari bentonite dan air Dimana karbon aktif memiliki daya serap pada permukaanya sehingga dapat mengurangi hilangnya *filtrate* masuk ke dalam formasi dan mengurangi ketebalan *mud cake* yang dihasilkan [3].

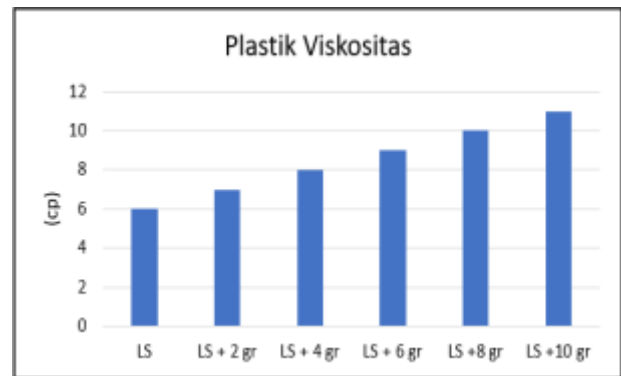
b. Pengaruh Karbon Aktif Serbuk Gergaji Kayu Jati Terhadap Rheology Lumpur Pemboran

Berikut pengaruh karbon aktif serbuk gergaji kayu jati terhadap rheology lumpur pemboran. Gambar 5 merupakan pengaruh karbon aktif serbuk gergaji kayu jati terhadap nilai viskositas. Gambar 6 merupakan pengaruh karbon aktif serbuk gergaji kayu jati terhadap plastic viskosity. Gambar 7 merupakan pengaruh karbon aktif serbuk gergaji kayu jati terhadap nilai yield point. Gambar 8 merupakan pengaruh karbon aktif serbuk gergaji kayu jati terhadap nilai gel strenght.



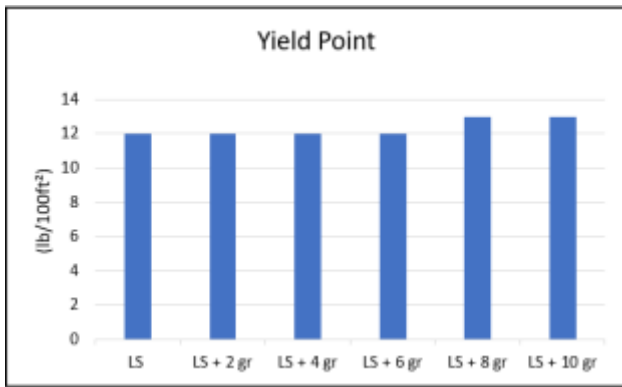
Gambar 5 Viskositas

Gambar 5 menunjukkan bahwa setiap penambahan massa karbon aktif serbuk gergaji kayu jati menghasilkan nilai viskositas meningkat. Pada lumpur standar waktu alir lumpur yaitu 23.42 *second* sedangkan waktu alir lumpur disetiap penambahan massa karbon aktif 2 gr - 10 gr memiliki waktu alir yaitu 26.10 *second* – 35.48 *second*. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa karbon aktif serbuk gergaji kayu jatidapat menaikkan nilai viskositas lumpur pemboran dan sebagai *additive* yang berperan dalam kekentalan atau viskosifier.



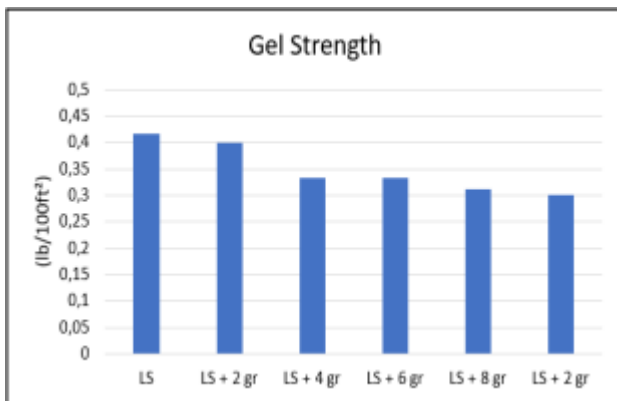
Gambar 6. Plastic Viskositas

Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan penambahan karbon aktif serbuk gergaji kayu jati menghasilkan nilai plastik viskositas meningkat. Untuk nilai lumpur standar 6 cp sedangkan penambahan karbon aktif menghasilkan nilai 7 cp untuk massa 2 gr, 8 cp untuk massa 4 gr, 9 cp untuk massa 6 gr, 10 cp untuk massa 8 gr dan 11 cp untuk massa 10 gr karbon aktif serbuk gergaji kayu jati. Harga plastik viskositas yang sesuai dengan spesifikasi adalah 10 – 15 cp [7]. Hasil pengujian ini yang sesuai dengan spesifikasi yaitu pada massa karbon aktif 8 gr dan 10 gr dengan nilai 10 cp dan 11 cp. Nilai plastic viskositas meningkat seiring bertambahnya massa karbon aktif dan pengaruh dari ukuran partikel oleh karena itu permukaan ukuran partikel yang lebih besar dapat menyebabkan gesekan antara alat dengan partikel menjadilebih besar sehingga dial reading yang terbaca pada alat juga menjadi lebih besar [3].



Gambar 7. Yield Point

Berdasarkan gambar 7 diketahui bahwa setiap penambahan massa karbon aktif serbuk gergaji kayu jati menghasilkan nilai *yield point* yang meningkat. Setiap penambahan massa 2 – 10 gr karbon aktif mendapatkan nilai 12 – 13 lb/100ft<sup>2</sup>. Harga *yield point* yang sesuai dengan spesifikasi adalah 15 – 25 lb/100ft<sup>2</sup> [7]. Hasil pengujian ini tidak ada yang sesuai dengan spesifikasi. Hal ini dikarenakan permukaan partikel karbon aktif yang cukup besar dapat mengakibatkan pembacaan *yieldpoint* cukup tinggi [3].



Gambar 8. Gel Strength

Gambar 8 menunjukkan bahwa setiap penambahan massa karbon aktif serbuk gergaji kayu jati mengalami penurunan nilai *gel strength* yaitu pada lumpur standar dengan nilai 0.416 lb/100ft<sup>2</sup>, 0.4 lb/100ft<sup>2</sup> untuk massa 2 gr, 0.333 lb/100ft<sup>2</sup> untuk massa 4 gr, 0.333 untuk massa 6 gr, 0.3125 lb/100ft<sup>2</sup> untuk massa 8 gr dan 0.3 lb/100ft<sup>2</sup> untuk massa 10 gr. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan karbon aktif serbuk gergaji kayu jati nilai *gel strength* menurun.

#### IV. KESIMPULAN

Penambahan karbon aktif serbuk gergaji kayu jati ke dalam lumpur standar berpengaruh terhadap nilai *filtration loss* dan *rheology* lumpur pemboran. Dengan penambahan karbon aktif serbuk gergaji kayu jati sebanyak 2 gram, 4 gram 6 gram, 8

gram dan 10 gram diperoleh hasil bahwa nilai *filtration loss* dan *mud cake* memenuhi standar API 13A, nilai *plastic viscosity* yang memenuhi standar API 13A pada penambahan karbon aktif serbuk gergaji kayu jati 8 gr dan 10 gr, nilai *gel strenght* dengan penambahan 2 gr, 4 gr, 6 gr, 8 gr dan 10 gr tidak memenuhi standar API 13 A.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Laboratorium Teknik Pemboran Program Studi Teknik Perminyakan yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian di laboratorium Teknik Pemboran

#### REFERENSI (APP MENDELEY)

- [1] A. S. Fadillah Widiatna, Bayu Satyawira, "ANALISIS PENGGUNAAN LUMPUR PEMBORAN PADA FORMASI GUMAI SHALE SUMUR K-13, S-14 DAN Y-6 TRAYEK 12 ¼" CNOOC SES Ltd.," *Pap. Knowl. Towar. a Media Hist. Doc.*, pp. 12–26, 2013.
- [2] A. Hamid, "EVALUASI PENGGUNAAN SISTEM LUMPUR SYNTHETIC OIL BASE MUD DAN KCL POLYMER PADA PEMBORAN SUMUR X LAPANGAN Y," vol. v, 2016.
- [3] N. Mursyidah, Hadziqoh, R. Septian, and I. Khalid, "Pengaruh Ukuran Partikel Aditif Biomass Activated Carbon Terhadap Filtration Loss Lumpur Pemboran," *Pros. SNFUR-4*, no. September, pp. 978–979, 2019.
- [4] M. I. R. Novrianti1, Mursyidah1, "Optimasi Hidrolika Lumpur Pemboran Menggunakan Api Modified Power Law Pada Hole 8½ Sumur X Lapangan Mir," vol. 4, no. 2, pp. 15–28, 2015.
- [5] P. Grahadiwin, L. Zabidi, and C. Rosyidan, "Studi Laboratorium Pengujian Fiber Mat Sebagai Loss Circulation Materials Dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Rheologi Lumpur Berbahasan Dasar Minyak," pp. 1–11, 2016.
- [6] A. H. Ryan Raharja, Sugiatmo Kasmungin, "Analisis Rheologi Lumpur Lignosulfonat Dengan," *J. OFFSHORE*, vol. 2, no. 2, pp. 33–42, 2018.
- [7] B. Satiyawira, "Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Fisik Sistem Low Solid Mud Dengan Penambahan Aditif Biopolimer Dan Bentonite Extender," *PETROJurnal Ilm. Tek. Perminyakan*, vol. 7, no. 4, pp. 144–151, 2019, doi: 10.25105/petro.v7i4.4282.
- [8] API Specification 13A, "API SPEC 13A Drilling Fluids Materials," *Am. Pet. Inst.*, vol. Nineteenth, no. October 2019, pp. 1–108, 2019.
- [9] K. Sa'diyah, P. H. Suharti, N. Hendrawati, F. A. Pratamasari, and O. M. Rahayu, "Pemanfaatan Serbuk Gergaji Kayu sebagai Karbon Aktif melalui Proses Pirolisis dan Aktivasi Kimia," *CHEESA Chem. Eng. Res. Artic.*, vol. 4, no. 2, p. 91, 2021, doi: 10.25273/cheesa.v4i2.8589.91-99.
- [10] E. Erawati and E. R. Helmy, "Pembuatan Karbon Aktif dari Serbuk Gergaji Kayu Jati (Tectona grandis L.f.) (Suhu dan Waktu Karbonasi)," *Urecol (University Res. Colloquium)*, pp. 105–112, 2018.
- [11] L. Maulinda, Z. Nasrul, and D. N. Sari, "Jurnal Teknologi Kimia Unimal Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 4, no. 2, pp. 11–19, 2015.
- [12] L. F. Ramadhani, Imaya M. Nurjannah, Ratna Yulistiani, and Erwan A. Saputro, "Review: teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa," *J. Tek. Kim.*, vol. 26, no. 2, pp. 42–53, 2020, doi: 10.36706/jtk.v26i2.518.
- [13] E. Erawati and A. Fernando, "Pengaruh Jenis Aktivator Dan Ukuran Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent Dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (Paraserianthes Falcataria)," *J. Integr. Proses*, vol. 7, no. 2, p. 58, 2018, doi: 10.36055/jip.v7i2.3808.