

Perilaku Pengendapan *Sedimen Sphere Particles* yang Mengandung *Fiber* dalam Aliran Sungai Ciasem yang Terkontaminasi Limbah Industri

Muhammad Isnaeni^{1*}, Hiwasyul Buhyatil Kubra², Sukadi³, Sopandi³,
Triyadi³ dan Chairunnisa⁴

^{1*} Program Doktor Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung

² Tenaga Ahli Mekanika Tanah – Konsultan Individu

³ Laboratorium Fluida, FTSL, Institut Teknologi Bandung

⁴ Laboratorium Hidraulika, Teknik Sipil, Unjani - Cimahi

*m_isnaeni@students.itb.ac.id

Pemasukan: 3 Nopember 2022 Perbaikan: 22 Nopember 2022 Diterima: 24 Nopember 2022

Intisari

Fluida yang mengandung *fiber* pada aliran sungai yang terkontaminasi oleh buangan limbah industri pada hulu Sungai Ciasem, akan mempengaruhi perhitungan kecepatan jatuh partikel sedimen. Sungai ini dibendung untuk keperluan air irigasi pada Bendung Macan yang melayani 9,640 Ha. Kemudian sedimen ini akan diendapkan melalui perangkat sedimen dan partikel yang >0.07mm tidak diijinkan masuk pada sistem irigasi yang akan mengurangi penampang basah saluran dan merugikan produksi padi. Pengendapan partikel padat pada sedimen yang diangkut oleh fluida pada aliran sungai ini sangat tergantung pada perilaku pengendapan partikel tersuspensi. Penelitian ini menyajikan hasil investigasi eksperimental dan teoritis yang dilakukan pada perilaku pengendapan partikel 0.04 mm hingga 0.1 mm pada massa fluida yang mengandung *fiber*. Metode Eksperimen dilakukan pada silinder transparan (*settling tube*) setinggi 40 cm berdiameter 5cm dan perangkat kamera digital untuk merekam perbedaan kecepatan. Rekaman kamera digunakan untuk menentukan kecepatan pengendapan setiap partikel sebagai fungsi waktu. Konsentrasi *fiber* bervariasi dari 0,001% hingga 0,04% dari berat partikel. Hasilnya, korelasi yang dikembangkan untuk kecepatan pengendapan statis dapat digunakan untuk memprediksi data pengendapan dinamis. Plot log-log C_{Dv}^{-n} terhadap bilangan *Reynolds* (Re), di mana C_{Dv} adalah *drag coefficient* menghasilkan garis lurus, dari mana parameter fitted dapat diperoleh dengan regresi. Korelasi ini berlaku untuk fluida dasar *Newtonian* dan *non-Newtonian* yang memiliki konsentrasi rendah, dan *fiber* yang tersebar penuh dengan panjang dan diameter masing-masing 3mm dan 0.07mm.

Kata kunci : *fiber*, *fiber drag coefficient*, pengendapan, *sphere particle*, Sungai Ciasem dan viskositas

Latar Belakang

Jumlah sedimen yang diangkut oleh air yang mengalir di atas dasar tanpa kohesi tergantung pada banyak faktor seperti karakteristik dari sedimen (*gradation*, *density*, dan *shapes*) dan aliran penggerak (*steady/unsteady*, *laminar/turbulence*). Gaya seret *fiber* adalah *redefined* agar cocok untuk *sphere* dengan kepadatan

berbeda. Efek panjang *fiber* dan konsentrasi *fiber* pada viskositas fluida dan pengendapan partikel diselidiki. Hubungan antara *fiber drag coefficient* dan partikel *Reynolds* angka diperoleh berdasarkan data eksperimen. Persamaan kecepatan pengendapan eksplisit yang secara langsung memprediksi kecepatan pengendapan *sphere* dalam *fiber* yang mengandung fluida Newtonian diusulkan dengan menghubungkan total *drag coefficient* dengan diameter *sphere* tanpa dimensi. Selain itu, prosedur *trial-and-error* dan contoh ilustratif disajikan untuk menunjukkan cara menghitung *fiber drag coefficient* dan kecepatan pengendapan dalam *fiber* yang mengandung fluida. Hasil penelitian ini dapat memberikan beberapa dasar untuk aplikasi lapangan yang lebih baik dari *fiber* yang mengandung fluida (Xu dkk. 2017). Kemampuan untuk mengevaluasi tingkat transportasi sedimen sering diteliti dalam rekayasa pesisir dan fluvial dan peneliti transportasi sedimen. Nilai ambang batas terkait dengan tegangan geser minimum yang diperlukan untuk simulasi, yaitu digerakkan, sedimen dari permukaan bawah (Avgeris, dkk., 2022).

Kemudian perbedaan dibuat antara sedimen yang bergerak di sekitar permukaan bawah, di mana efek kontak antar partikel signifikan, dan gerakan sedimen tercemar oleh aliran massal menjauh dari bawah. Atas dasar ini, moda transportasi sebelumnya, yang disebut *bed load*, diasumsikan tergantung pada tegangan geser bawah rata-rata dan pada nilai ambang batasnya, serta pada sifat sedimen, sedangkan mode yang terakhir, yaitu beban tersuspensi, dicirikan juga oleh kecepatan pengendapan partikel sedimen dan oleh karakteristik turbulen. Mengikuti pendekatan deterministik, beberapa model yang paling dikenal dan saat ini digunakan untuk memperkirakan transportasi *bed load* dikembangkan baik secara stabil atau kondisi yang tidak stabil (Vittori, dkk., 2020). Partikel *fiber* yang dihasilkan dari pabrik yang lembahnya masuk pada sungai dapat mempengaruhi lingkungan kerja dan kesehatan manusia. Sifat pengendapan partikel *fiber* tunggal, yang bersifat higroskopis dan ramping (Yang, dkk., 2022).

Perilaku reologis suspensi *fiber* sangat kompleks. Pengenalan *fiber* dapat mengubah reologi pada fluida. mengembangkan model reologi untuk suspensi polimer yang mengandung *fiber*. Model ini mencakup interaksi *fiber-fiber* dan *fiber-polimer*. Studi lain tentang suspensi *fiber* menunjukkan keuntungan kecil dalam viskositas karena konsentrasi *fiber* meningkat secara bertahap dari suspensi yang awalnya encer. Namun, pada konsentrasi *fiber* yang lebih tinggi, viskositas menunjukkan sensitivitas yang lebih besar terhadap konsentrasi *fiber* (Elgaddafi dkk. 2012). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dalam kondisi eksperimental, partikel *fiber* tidak berubah bentuk selama pengendapan; namun, morfologi yang tidak seragam dapat mengakibatkan perpindahan horizontal dan rotasi partikel. Selain itu, kecepatan pengendapan meningkat dengan diameter partikel dan tingkat kelengkungan ke berbagai tingkat. Berdasarkan analisis gaya dan verifikasi eksperimental, dihasilkan pendekatan asumsi metode yang paling tepat untuk menghitung diameter yang setara ditentukan untuk partikel *fiber*.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk: i) menganalisis perilaku pengendapan partikel padat dalam suspensi *fiber*; dan ii) menentukan kontribusi *fiber drag* terhadap gaya drag total.

Metodologi Penelitian

Lokasi penelitian ini mengambil kasus dan kajian pada Bendung Macan, di Kabupaten Subang. Layanan bendung ini merupakan teknis irigasi seluas 9.670 ha, dimana kondisi luas ruas perimeter saat ini berkurang $\pm 35\%$, yang disebabkan oleh sedimentasi. Kasus ini adalah poin yang menarik untuk memperbaiki bentuk perangkat sedimen. Dalam penelitian ini, sebagai langkah awal dalam menentukan persamaan yang tepat dalam laju pengendapan sedimen, beberapa data investigasi tanah telah diperoleh sebagai acuan dan untuk memilih kondisi sedimen yang ada dan tersementasi di bagian bawah saluran utama dalam setelah bangunan *intake* bendung (Isnaeni, 2021).



(sumber: Isnaeni, 2021)

Gambar 1. Lokasi Penelitian, Bendung Macan, Kab.Subang

Dalam pengambilan bahan uji, selanjutnya diuji di laboratorium, terindikasi terdapat lapisan *fiber* (*fiber layer*) pada gradasi sedimen yang sudah terendap pada bagian dasar saluran. Pengukuran *insitu* sampel lumpur yang digunakan dalam tes laboratorium seringkali sangat terganggu. Oleh karena itu, struktur mikro sampel lumpur dalam tes laboratorium mungkin berbeda secara signifikan dari lumpur alami yang disimpan di dasar saluran. Dalam studi laboratorium, sampel lapangan diuji dengan hati-hati untuk menjaga kondisi pengujian sedekat mungkin dengan kondisi alam. Faktor-faktor yang perlu kita pertimbangkan termasuk salinitas air laut, konsentrasi sedimen, waktu konsolidasi, dan suhu.

Fluida Newtonian dapat dicirikan oleh koefisien viskositas tunggal pada suhu air di saluran ini. Meskipun viskositas dapat berubah dengan perubahan suhu, cairan Newtonian tidak mengalami perubahan dalam regangan rata-rata. Hanya sebagian kecil cairan yang menunjukkan sifat-sifat viskositas konstan, seperti cairan Newtonian. Sebagian besar cairan, yang disebut cairan non-Newtonian, menunjukkan perubahan viskositas karena perubahan regangan rata-rata (Xu dkk. 2017).



Gambar 2. Lokasi pengambilan bahan uji pada saluran dekat intake Bendung

Sudah diketahui bahwa parameter terpenting yang menggambarkan partikel yang bergerak dalam cairan adalah kecepatan pengendapannya, yang merupakan fungsi dari sifat fisik partikel dan perilaku reologi fluida. Sangat berguna untuk menyatakan kecepatan ini sebagai fungsi dari dua angka tanpa dimensi, D_c koefisien drag dan bilangan *Reynolds* Re_c . Akibatnya, sedimen yang disemen pada kanal utama yang masuk melalui gerbang intake akan sulit untuk dihancurkan dan mengurangi bagian perimeter basah di kanal utama. Sedimen semen pada aliran laminar ini akan dihubungkan berdasarkan data primer yang diperoleh dari transportasi sedimen. Studi ini juga memberikan informasi kepada petugas operasional untuk mengetahui dalam satuan waktu tertentu, dan sedimen disemen sangat sulit di saluran outlet .

Penelitian ini diawali dengan mengambil data sifat sedimen yang diperoleh dari data primer yang diambil pada 23 Septembr 2019 yang telah diuji di Laboratorium Teknik Geologi Universitas Padjajaran, dengan diketahui sifat sedimentasi dan sifat fisik yang terkandung di dalamnya. Gradasi sedimen diambil dengan membandingkan data di sekitar lokasi penelitian, seperti di Sungai Cibeet dan Sungai Ciasem, sifat sedimen dalam perangkap sedimen Bendung Macan diambil di titik pengambilan sampel hulu (3 sampel) dan hilir (3 sampel), dengan hasil uji laboratorium pada suhu air 20°C (lihat Gambar 2) yang dirangkum dalam Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Hasil uji sampel sedimen

No	Kode Sampel	Density Total $\rho_s = \text{kg/m}^3$	Sieve Analyzed #200 = <0.007mm (%)	Mass Concentration S (kg/m^3)	Waktu Konsolidasi (Menit)	Volume Konsentrasi C_v	Densiti Lumpur $\rho_s = \text{kg/m}^3$
1	u/s S1	2672	33.1	910	5	0.37	1498
2	u/s S2	2681	34.3	654	5.10	0.29	1543
3	u/s S3	2699	34.5	577	5	0.22	1511
4	d/s S1	2710	35.6	1011	5	0.34	1412
5	d/s S2	2716	36.5	674	5	0.24	1432
6	d/s S3	2739	39.4	593	5	0.19	1411

(sumber: Laboratorium Geologi Unpad, 2019)

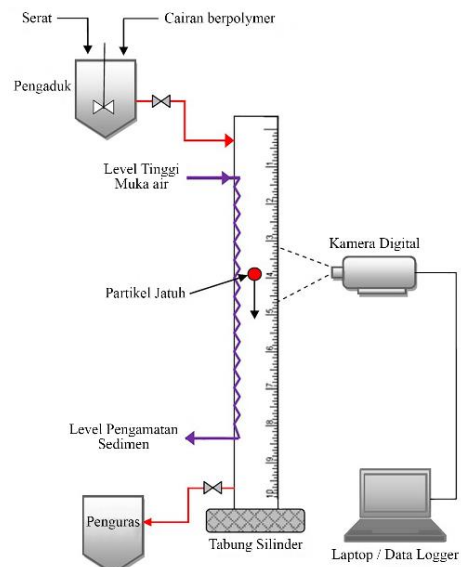
Pengaturan Uji Laboratorium

Uji laboratorium untuk mengetahui lebih rinci dengan pengamatan dan analisis teori yang pernah dikaji oleh peneliti sebelumnya. Percobaan pengendapan dilakukan dalam tabung silinder Plexiglas berdiameter dalam 100 mm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pergerakan *sphere* direkam oleh kamera berkecepatan tinggi (Canon D6, Sony HD500 dan Logitech 3100hd) dengan kecepatan perekaman 100 frame per detik, yang terhubung langsung ke komputer untuk penyimpanan dan analisis data. Zona tampilan kamera berkecepatan tinggi ditetapkan antara 70 mm di bawah bagian atas kolom dan 30 mm di atas bagian bawah kolom untuk memastikan bahwa *sphere* mencapai kecepatan pengendapannya di zona tampilan dan menghindari efek akhir. Menurut studi Arsenijevic, dkk (2010), efek *retarding* karena adanya dinding adalah penting ketika rasio diameter partikel dengan diameter tabung lebih tinggi dari sekitar 0.05. Dalam penelitian ini, rasio terbesar diameter partikel terhadap diameter tabung adalah 0.05 dan efek *retarding* dapat diabaikan.

Pengujian dilakukan pada laboratorium fluida – Teknik Sipil ITB pada 22 Juni sampai dengan 12 Juli 2022. Sebagai bahan uji, partikel *fiber sphere* yang terbuat serbuk besi (St) mulai dari ukuran 0.011 mm hingga 0.010 mm digunakan sehingga mencakup berbagai jumlah partikel *Reynolds*. Menurut studi (George dan Amin 2003), konsentrasi *fiber* lebih dari 0,06 wt% tidak dianjurkan di lapangan karena *fiber* dapat mempengaruhi pengamatan pada tabung ukur. Namun dalam penelitian ini, konsentrasi *fiber* (C_f) dalam cairan basa berkisar antara 0,001 wt% hingga 0,10 wt% untuk kelengkapan. Matriks uji terperinci ditunjukkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hasil uji Steel Fiber (St)

No	Densiti Partikel $\rho_p = \text{kg/m}^3$	Diameter <i>Sphere</i> (mm)	Konsentrasi <i>Fiber</i> (berdasarkan berat)
1	2672	0.07	0.01%
2	4467	0.05	0.02%
3	7960	0.08	0.04%



Gambar 3. Skematik Pengaturan Pengujian di Laboratorium



Gambar 4. Proses pengujian pengendapan pada tabung uji

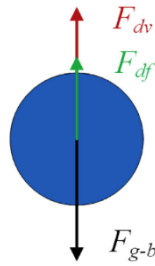


Gambar 5. Proses penimbangan bahan uji.

Hasil dan Pembahasan

Analisis Empirik

Ketika sebuah partikel mengendap dalam fluida yang homogen, partikel tersebut mengalami beberapa gaya. Gaya utama yang bekerja pada partikel ketika mencapai kecepatan maksimum (terminal) adalah gravitasi (F_g), daya apung (F_b), dan hambatan hidrodinamik – *hydrodynamic drag* (F_{Dv}) (Elgaddafi dkk. 2012).



(sumber: Zhengming Xu, 2017)

Gambar 6. *Viscous drag force, fiber drag force dan net gravitational force* untuk partikel yang mengandung serat dalam aliran fluida Newtonian

Mempertimbangkan gaya-gaya ini, keseimbangan momentum untuk partikel pengendapan dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$m \frac{dv}{dt} = F_g - F_B - F_{DV} \quad (1)$$

Gaya *hydrodynamic drag* dinyatakan (Xu, dkk., 2017):

$$F_{DV} = \frac{1}{2} C_{DV} V^2 \rho_f A_p \quad (2)$$

Persamaan di atas tidak termasuk efek partikel *fiber*. Setelah memasukkan ekspresi untuk gravitasi ($F_g = mg$), daya apung (*buoyancy*) ($F_b = mg \rho_f / \rho_p$) dan gaya seret ke persamaan (1), diperoleh persamaan berikut untuk percepatan partikel:

$$\frac{dv}{dt} = g \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p} - \frac{C_{DV} V^2 A_p \rho_f}{2m} \quad (3)$$

Dimana, m adalah massa partikel; C_{DV} adalah *viscous drag coefficient* yang dapat diperkirakan dari korelasi yang tersedia (Chadwick, dkk., 2013); dan A_p adalah area yang diproyeksikan dari partikel di bidang tegak lurus terhadap arah aliran. Pada kecepatan terminal, percepatan partikel menjadi nol, $dv/dt = 0$. Dengan demikian, persamaan di atas disederhanakan menjadi:

$$g \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p} - \frac{C_{DV} V^2 A_p \rho_f}{2m} = 0 \quad (4)$$

Ketika *fiber* ditambahkan ke fluida, gaya seret tambahan (yaitu *fiber drag*) yang menghalangi gerakan partikel diperoleh oleh interaksi mekanis dan hidrodinamik antara *fiber* dan partikel pengendapan. Dalam hal ini, gaya seret total (F_{DT}) yang bekerja pada partikel adalah jumlah dari viskositas dan *fiber drag*. Menerapkan keseimbangan momentum untuk kondisi kondisi kondisi stabil, total drag adalah:

$$F_{Df} = F_{DT} - F_{DV} \quad (5)$$

Penting untuk dicatat bahwa drag total dan drag viskos harus ditentukan pada kondisi pengendapan yang identik, yaitu pada kecepatan pengendapan yang sama. Pada konsentrasi *fiber* rendah atau dengan partikel *fiber* kecil, jaringan *fiber* mungkin tidak terbentuk; oleh karena itu, komponen utama dari dua gaya berasal dari efek hidrodinamik. Mempertimbangkan kesamaan ini, *fiber drag* dapat

dimodelkan dengan cara yang sama seperti drag kental di bawah kedua kondisi tersebut, menghasilkan:

$$F_{Df} = \frac{1}{2} C_{Df} V^2 (\rho_p - \rho_f) A_p \quad (6)$$

Dimana, C_{Df} adalah *fiber drag coefficient*. Perbedaan utama antara persamaan *fiber drag* dan *drag* viskos adalah penggunaan perbedaan densitas dalam Persamaan (6) dibandingkan dengan kerapatan fluida sederhana di Persamaan (2) Formulasi ini didasarkan pada pengamatan eksperimental dan memberikan korelasi terbaik sehubungan dengan pengukuran eksperimen (Qingling dkk. 2018). Dengan menggabungkan Persamaan (4), (5) dan (6), kecepatan pengendapan partikel dalam fluida yang mengandung *fiber* dinyatakan sebagai berikut:

$$V_s^2 = \frac{\frac{4}{3} dg}{[C_{Df} + C_{Dv}]} \quad (7)$$

Dalam kasus fluida yang mengalir tanpa *fiber*, *fiber drag coefficient* di Persamaan (7) menjadi nol ($C_{Df}=0$), dan persamaannya berkurang menjadi *Stokes Law*:

$$V_s^2 = \frac{4}{3} \frac{dg}{C_{Dv}} \left(\frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_f} \right) \quad (8)$$

Hasil Pengujian Laboratorium

Penyelidikan ini difokuskan pada perilaku pengendapan partikel padat dalam suspensi *fiber* dan menentukan kontribusi *fiber drag* terhadap gaya drag total. Sebagai perbandingan, kurva awal dibandingkan dengan hasil pengujian pada Laboratorium (Lakzian, dkk., 2020). Uji kecepatan pengendapan dilakukan dengan menggunakan beberapa fluida murni, yaitu fluida tanpa *fiber*, dan korelasi dikembangkan untuk menentukan *viscous drag coefficients*. Kemudian, percobaan kecepatan pengendapan diulang menggunakan fluida murni dengan berbagai konsentrasi *fiber* (Yang, dkk., 2022).

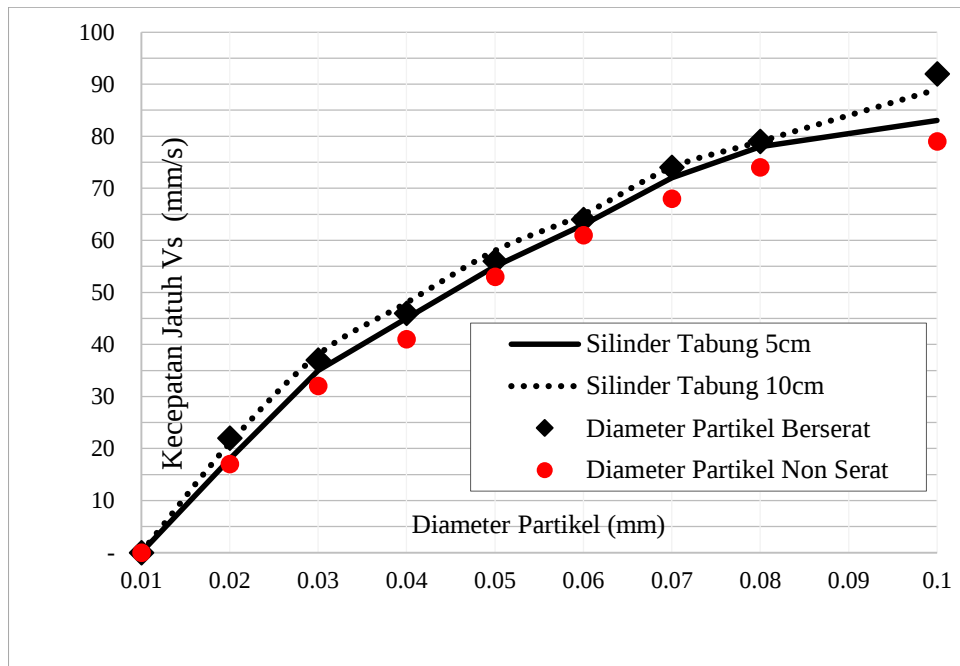
Kecepatan pengendapan terminal yang tercatat dari partikel-partikel dalam suspensi *fiber*, dalam hubungannya dengan korelasi fluida alami, digunakan untuk menentukan bilangan *Reynolds* dan yang sesuai. Selanjutnya, *viscous drag coefficients* ditentukan menggunakan Persamaan (7).

Untuk mengembangkan korelasi umum untuk *fiber drag coefficient*, pengukuran eksperimen yang diperoleh dari fluida alami digunakan untuk membangun korelasi antara *viscous drag coefficients* dan bilangan *Reynolds*, $C_{Dv}=f(R_{ep})$. Untuk hukum fluida, bilangan *Reynolds* adalah dinyatakan sebagai berikut:

$$R_{ep} = \frac{\rho_{fd} v_s^{2-n}}{K} \quad (8)$$

Untuk memastikan bahwa partikel mencapai kecepatan terminal. Rasio diameter partikel dengan diameter tabung dipertahankan sangat rendah untuk mengurangi efek dinding. Untuk memverifikasi dari efek dinding pada pengukuran kecepatan pengendapan, percobaan sedimentasi identik dilakukan dalam silinder dengan diameter berbeda (100 mm dan 50 mm). Hasil pengamatan (Gambar 7) yang

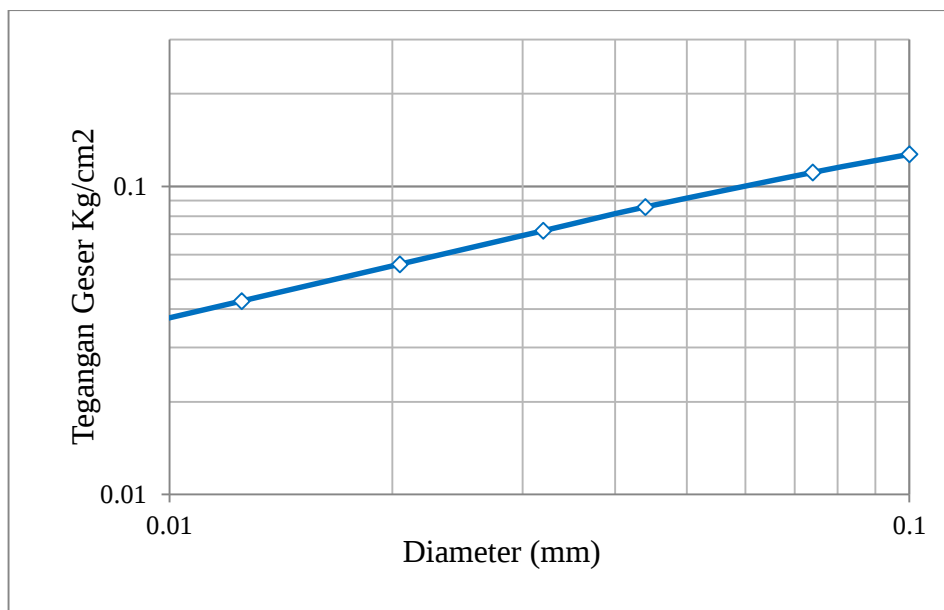
diperoleh dari percobaan ini menunjukkan efek yang dapat diabaikan dari dinding silinder, diameter silinder ukur dapat digunakan kedua dimensi tersebut.



(sumber: Analisis, Isnaeni, 2022)

Gambar 7. Pengukuran kecepatan pengendapan diperoleh dari dua silinder sedimentasi yang berbeda dengan partikel yang mengandung 0,04% fiber.

Fiber dicampur dengan fluida alami agar suspensi dengan konsentrasi fiber 0,02%, 0,04%). Partikel fiber dapat dibuang, mudah tersebar pada fluida, dan memiliki rasio aspek yang relatif tinggi (panjang 3 mm dan diameter 0.07mm).

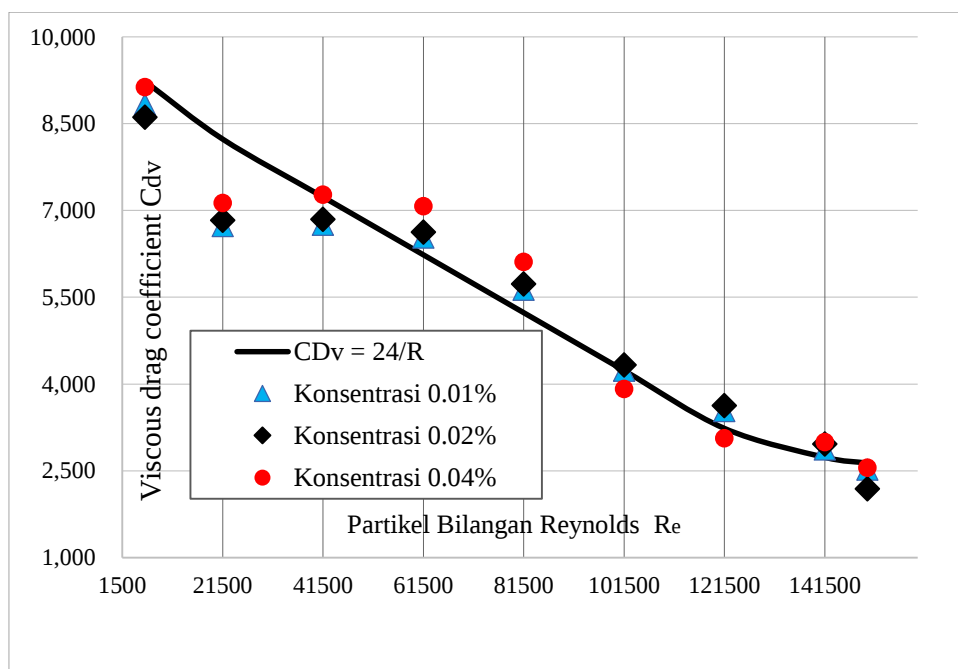


Gambar 8. Reologi fluida non-Newtonian tanpa serat, analisis tegangan geser

Diameter partikel 0.07 mm akan bergeser pada τ 0.098kg/cm² tersebar secara seragam dalam fluida menghambat gerakan dan secara substansial mengurangi kecepatan pengendapan partikel padat tersuspensi.

Dengan mengaplikasikan Persamaan (8), titik data untuk semua fluida terletak kira-kira pada satu garis lurus pada plot log-log (Gambar 9). Menerapkan analisis regresi, korelasi berikut dikembangkan untuk memperkirakan *fiber drag coefficient* pada cairan Newtonian. Pengukuran eksperimental yang diperoleh dari fluida alami dianalisis dan disajikan pada Gambar 9 sebagai *viscous drag coefficient* terhadap partikel bilangan Reynolds (Re)

Eksperimen dengan partikel serat dilakukan pada berbagai suhu untuk mencakup berbagai bilangan Reynolds. Untuk Re_p kurang dari 1500, titik data dari percobaan adalah sangat berkorelasi dengan garis teoritis $CD_v = 24/Re$ seperti halnya data untuk fluida yang terkontaminasi serat.



Gambar 9. Viscous drag coefficient vs. Partikel Bilangan Reynolds terhadap konsentrasi *Fiber*

Kesimpulan

Perilaku pengendapan *shere particle* dalam fluida yang mengandung *fiber* diselidiki dalam beberapa fluida diperlakukan dengan *monofilament fiber* dengan konsentrasi bervariasi dari 0.001% hingga 0.04%. Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis teoritis, dapat disimpulkan: a) Partikel *fiber* yang tersebar secara seragam dalam fluida menghambat gerakan dan secara substansial mengurangi kecepatan pengendapan partikel padat tersuspensi. Namun, ketika konsentrasi *fiber* meningkat, pengurangan inkremental dalam kecepatan pengendapan menurun; b) Konsentrasi *fiber* (hingga 0.08% w/w) memiliki efek yang dapat diabaikan pada sifat reologi minyak mineral dan *polyanionic cellulose-viscosified water*.

Akibatnya, partikel dengan Diameter 0.08 mm dapat ditanggguhkan tanpa memodifikasi perilaku aliran dalam fluida; c) *Drag fiber* sangat terkait dengan konsentrasi *fiber*, kecepatan pengendapan, dan sifat fisik fluida dan partikel; d) Partikel yang tersuspensi dalam fluida bergerak pada dasar (*bed load*) yang mengandung *fiber* menunjukkan gaya seret tambahan dalam kondisi statis dan dinamis (pengendapan), dan e). Korelasi yang dikembangkan dalam penyelidikan ini memberikan kecepatan penyelesaian yang wajar dan prediksi *fiber* yang menggelinding pada aliran dasar (*suspended load*).

Saran

Untuk lebih memahami dana analisis yang detil, perlu dilakukan penelitian pada daerah yang sama dengan metode yang berbeda, misalnya *Induced Polarization (IP)* untuk dibandingkan dengan hasil yang telah dicapai. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat dikaji lebih mendalam mengenai sumber limbah, dampak aliran limbah ke dalam tanah, serta kerugian akibat limbah yang masuk pada sistem irigasi dan merugikan produksi padi dalam setiap tahunnya

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Pembimbing penulisan Disertasi – FTSL KK-Teknik Sumberdaya Air - ITB, yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, masukan konstruktif sehingga kajian ini dapat disajikan.

Daftar Referensi

- Avgeris, Loukas, Konstantinos Kaffas, dan Vlassios Hrissanthou. 2022. Comparison between Calculation and Measurement of Total Sediment Load: Application to Streams of NE Greece. *Geosciences* 12 (2): 91. <https://doi.org/10.3390/geosciences12020091>.
- Chadwick, A. J., J. C. Morfett, dan Martin Borthwick. 2013. *Hydraulics in Civil and Environmental Engineering*. Fifth edition. Boca Raton: Taylor & Francis.
- Elgaddafi, Rida, Ramadan Ahmed, Matthew George, dan Fred Growcock. 2012. Settling Behavior of Spherical Particles in Fiber-Containing Drilling Fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 84–85 (April): 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2012.01.020>.
- George, A. H., dan M. R. Amin. 2003. The Influence of Sidewall Cooling on Boundary Layer Pressure Fluctuations for a Two-Dimensional Supersonic Nozzle. *Experiments in Fluids* 35 (1): 58–69. <https://doi.org/10.1007/s00348-003-0635-8>.
- Isnaeni, Muhammad. 2021. Rheological Relationship to Sediment Deposition Rate In Macan Weir Sediment Traps. *International Journal of GEOMATE* 21 (87). <https://doi.org/10.21660/2021.87.j2370>.
- Lakzian, Esmail, Hassan Saghi, dan Omid Kooshki. 2020. Numerical Simulation of Sediment Deposition and Trapping Efficiency Estimation in Settling Basins, Considering Secondary Flows. *International Journal of Sediment Research* 35 (4): 347–54. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.02.001>.

- Qingling, Liu, Tian Shouceng, Shen Zhonghou, Xu Zhengming, dan Pang Zhaoyu. 2018. A New Equation for Predicting Settling Velocity of Solid Spheres in Fiber Containing Power-Law Fluids. *Powder Technology* 329 (April): 270–81. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.01.076>.
- Vittori, Giovanna, Paolo Blondeaux, Marco Mazzuoli, Julian Simeonov, dan Joseph Calantoni. 2020. Sediment Transport under Oscillatory Flows. *International Journal of Multiphase Flow* 133 (Desember): 103454. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103454>.
- Xu, Zhengming, Xianzhi Song, Gensheng Li, Qingling Liu, Zhaoyu Pang, dan Zhaopeng Zhu. 2017. Predicting Fiber Drag Coefficient and Settling Velocity of Sphere in Fiber Containing Newtonian Fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 159 (November): 409–18. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.09.046>.
- Yang, Xiaoni, Yi Wang, Yunbo Li, Yingxue Cao, Yu Zhou, dan Yanqiu Huang. 2022. Experimental Research on the Settling Property of Slender Fiber Particles under the Influence of Multiple Factors. *Powder Technology* 405 (Juni): 117543. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117543>.