

## Drag Reduction Impact of Slurry by Spiral Pipe Geometry

Yanuar<sup>1,\*</sup> dan Sealtial Mau<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 16424, Depok - Jawa Barat

<sup>2</sup>Prodi Doktor, Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, 16424, Depok - Jawa Barat

\*Corresponding author: yanuar@eng.ui.ac.id

**Abstract.** Indonesia has some locations that have the potential to cause mud-eruption. This moment the potential to be a disaster for the environment and harm the citizens. Large-scale mud-eruption is considered a disaster so necessary to be handled properly so as not have a bad impact for the society. Bursts that occur necessary to be flowed to the right place and the piping system is the best alternative. Through this research the characteristics of slurry through the spiral pipes as a passive control method were carried out. Spiral pipe is used as a solution to the deposition rate that occurs in circular pipe that are often used. A spiral pipe with a three-lobe geometry that is constant to the axis where the working fluid of the slurry is circulated follows the pipe geometry. Shear rate and shear stress are obtained through pressure drop and mass flow rate measurements. Through the rheological results obtained the range of power law index values was 0.72-0.99 for two phase flow of working fluid with the particle concentration 20%, 30% and 40%. The particle diameter tested in this study is 1-5  $\mu\text{m}$  and density is  $2.7 \times 10^3 (\text{kg}/\text{m}^3)$ . Through this study, a spiral pipe with a  $P / Di = 7$  geometry can reduce the friction resistance up to 25.58% with generalized Reynolds number  $5 \times 10^3$ . Through this research it can be seen that the spiral pipe has a good influence on the flow of slurry.

**Abstrak.** Indonesia memiliki beberapa lokasi yang berpotensi terjadi semburan lumpur. Peristiwa ini berpotensi menjadi bencana bagi lingkungan dan merugikan warga. Semburan lumpur dalam skala besar dianggap bencana yang perlu penanganan dengan baik agar tidak berdampak buruk terhadap masyarakat. Semburan yang terjadi perlu disalurkan ke tempat yang tepat dan sistem perpipaan menjadi alternatif terbaik. Melalui penelitian ini karakteristik lumpur melalui pipa spiral sebagai metode kontrol pasif dilakukan. Pipa spiral digunakan sebagai solusi terhadap laju pengendapan yang terjadi pada pipa bulat yang sering digunakan. Pipa spiral dengan geometri tiga lobe yang konstan terhadap sumbu dimana fluida kerja lumpur yang dialirkan berotasi mengikuti geometri pipa. Shear rate dan shear stress diperoleh melalui pengukuran pressure drop dan debit. Melalui hasil rheologi diperoleh kisaran nilai power law index 0.72-0.99 untuk fluida kerja aliran dua phasa dengan konsentrasi partikel 20%, 30% dan 40%. Diameter partikel yang diuji dalam penelitian ini yaitu 1-5  $\mu\text{m}$  dan densitas  $2.7 \times 10^3 (\text{kg}/\text{m}^3)$ . Melalui penelitian ini, pipa spiral dengan geometri  $P/Di = 7$  mampu mereduksi hambatan gesek hingga 25.58% dengan generalized Reynolds number  $5 \times 10^3$ . Melalui penelitian ini dapat dilihat bahwa pipa spiral memberi pengaruh yang baik terhadap aliran lumpur.

**Keywords:** Pipa spiral, aliral lumpur, *pressure drop*, *drag reduction*

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Sistem perpipaan banyak digunakan sebagai alat transportasi untuk mengalirkan berbagai konsentrasi yang diaplikasikan dalam bidang engineering dan industri. Penggunaan di bidang engineering dan industri adalah pengeboran tanah, dinding slurry, penghalang limbah nuklir, dan aplikasi industri lainnya termasuk kosmetik (krim), kimia (cat), produk makanan (anggur dan coklat), *pulp*, fluidished bed (batubara) [1, 2]. Pengujian yang dilakukan terhadap berbagai jenis fluida erat hubungannya dengan pengaruh properties dari fluida tersebut [3-5].

Pengurangan hambatan (*DR*) pada fluida kerja lumpur terjadi ketika jumlah rasio campuran liquid lebih tinggi namun mampu menggerakkan partikel solid sehingga rasio partikel padat terpindahkan bahkan terjadi peningkatan [6]. Pada konsentrasi campuran yang lebih tinggi, sifat-sifat fluida kerja berubah dan mempengaruhi karakteristik aliran. Aplikasi fluida kerja lumpur seperti yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya terbukti bersifat non-Newtonian dimana jenis aliran ini ialah pseudoplastik, dilatan dan bigham. Untuk aliran pseudoplastik, terbukti bahwa semakin tinggi konsentrasi partikel padat semakin tinggi viskositas namun semakin menurun dengan meningkatnya shear rate hingga nilai tertentu [7]. Pengendapan yang terjadi pada aliran lumpur diteliti oleh

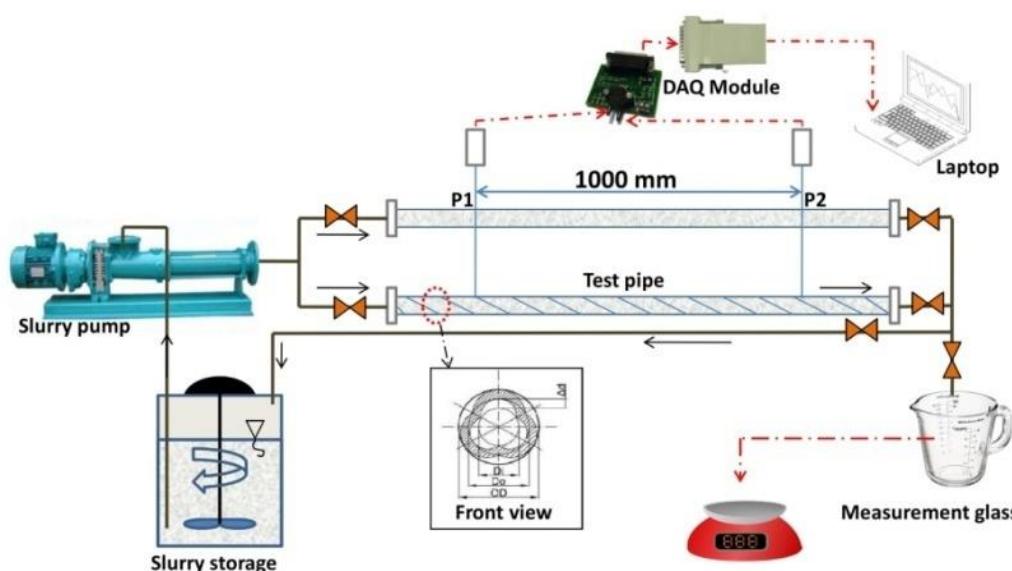
Maruyama dkk. dimana secara visualisasi membuktikan bahwa aliran vorteks sangat berpotensi mencegah terjadinya pengendapan tersebut [8].

Metode yang dikembangkan pada sistem perpipaan untuk menghasilkan aliran yang effisien yaitu metode kontrol aktif dan kontrol pasif [9]. Kontrol aktif dengan menambahkan material pencampur untuk meningkatkan efisiensi aliran serta kontrol pasif yaitu dengan mengubah geometri pipa agar fluida kerja yang mengalir menjadi effisien. Dalam penanganan dampak pencemaran lingkungan, sistem perpipaan yang digunakan untuk menyalurkan limbah industri dikembangkan untuk mendapatkan aliran efektif [10]. Pengujian yang dilakukan terhadap fluida kerja tertentu melalui pipa spiral memberikan keuntungan terhadap efisiensi aliran [11]. Ariyaratne dkk. Melakukan penelitian dengan menggunakan pipa spiral dengan transisi pada saluran masuk dan keluar geometri spiral dan terbukti lebih efisien dibandingan dengan full bergeometri spiral [12]. Yanuar dkk. Melakukan pengujian terhadap aliran lumpur dari hasil semburan Lapindo pada beberapa variasi pipa spiral dan menemukan bahwa pipa spiral dengan ukuran P/D<sub>i</sub> 7 serta konsentrasi 30 Cw terbukti lebih efektif [13]. Dalam penelitian ini, karakteristik aliran lumpur dilakukan untuk mengungkapkan dampak DR terhadap laju aliran masa fluida. Partikel solid yang digunakan dalam peneltian ini diperoleh dari hasil semburan lumpur di Pulau Semau-Kupang, Indonesia.

## Metode Penelitian

**Peralatan Eksperimen.** Peralatan uji yang digunakan dapat dilihat pada gambar 1 yang terdiri dari pipa spiral sebagai pipa uji utama, tanki, pompa, komponen DAQ, komputer, gelas ukur dan timbangan. Fluida kerja lumpur disirkulasikan melalui pipa uji utama dengan ukuran panjang 1000 mm. Fluida kerja yang digunakan merupakan aliran dua phasa, campuran air murni dan juga partikel solid hasil semburan lumpur dengan ukuran partikel 1-5 μm. Terdapat 3 konsentrasi campuran yakni 20%, 30%, dan 40%. Variasi Reynolds diperoleh melalui pengaturan katup masuk pipa uji utama dan setiap perubahan nilai tersebut juga diperoleh data pressure drop. Pengukuran pressure drop dengan menggunakan DAQ different pressure yang dirangkai sehingga setiap data terekam pada komputer. Debit diperoleh melalui fluida kerja yang dialirkan setiap periode (15 detik) selanjutnya masa fluida ditimbang.

Rangkaian alat uji terlebih dahulu divalidasi dengan menggunakan air murni dimana data ini selanjutnya dihitung dan diplot untuk dibandingkan dengan persamaan Hagen Poiseuille ( $f = 64/Re$ ) untuk aliran laminar dan Blasius ( $f = 0.3164 Re^{-0.25}$ ) untuk aliran turbulen. Untuk aliran Newtonian, bilangan Reynolds ( $Re = \rho v D / \mu$ ) dihitung dalam keadaan viskositas konstan dengan temperatur fluida 27 °C. Untuk aliran Newtonian viskositas tidak dipengaruhi oleh shear rate.



Gambar 1. Experimental setup

**Analisa pengujian.** Pengujian dilakukan pada kondisi isothermal dengan suhu ruang sebesar 27 °C. Proses Rheologi yang dilakukan untuk menentukan nilai power law index ( $n$ ) dan consistency coefficient ( $K$ ). Kedua parameter ini diperoleh melalui plot grafik logaritmik nilai shear rate dan shear stress.

$$\tau_w = K \left[ \left( -\frac{du}{dr} \right) \right]^n \quad (1)$$

Dimana  $\tau_w$  adalah shear stress dan  $\frac{du}{dr}$  adalah gradient kecepatan. Faktor kelebihan diperoleh melalui nilai pengukuran pressure drop ( $\Delta P$ ) yaitu sebagai berikut:

$$f = \frac{Dh}{L_P} \frac{\Delta P}{\left(\frac{1}{2}\rho u^2\right)} \quad (2)$$

Dimana  $D_h$  adalah diameter hidrolik pipa uji,  $u$  adalah kecepatan rata-rata,  $L_P$  ialah panjang pipa uji. Nilai faktor gesekan diplot dengan generalized Reynolds number yang digunakan untuk non-Newtonian

$$Re' = \frac{\rho u^{2-n} D^n}{K g^{n-1}} \quad (3)$$

Dimana  $Re'$  adalah generalized Reynolds number. *Drag reduction (DR)* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

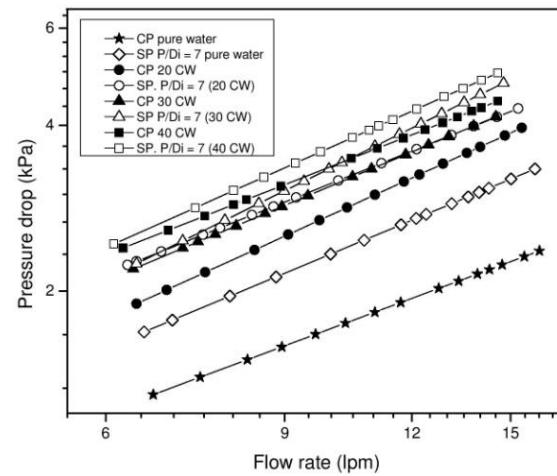
$$DR = \left[ \frac{f_c - f_{sp}}{f_c} \right] \times 100\% \quad (4)$$

Dimana  $f_c$  adalah friction factor pada pioa spiral dan  $f_{sp}$  adalah friction factor dari pipa spiral.

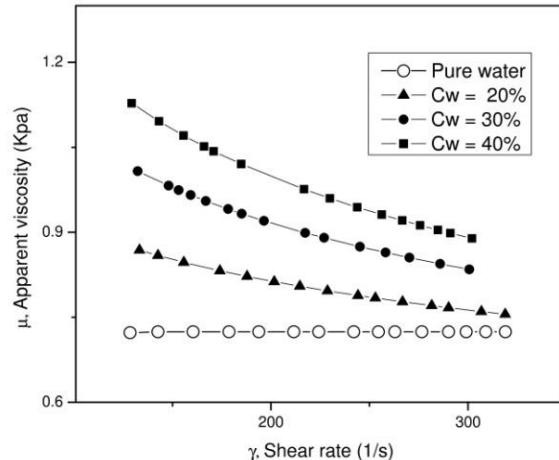
## Pembahasan

Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa peningkatan nilai pressure drop sebanding dengan peningkatan shear rate, ukuran partikel solid dan juga pengaruh geometri pipa spiral. Melalui grafik itu dapat dilihat bahwa pressure drop secara bertahap meningkat dari presentasi konsentrasi 20% CW, 30 % hingga 40% CW. Pengaruh geometri pipa memberikan dampak pada *pressure drop* dimana nilai *pressure drop* tertinggi untuk setiap konsentrasi pada pipa spiral dibandingkan dengan pipa bulat. Untuk debit yang diperoleh, nilai debit terendah rata-rata adalah 6 lpm dan yang tertinggi adalah 15 lpm. Interaksi partikel memainkan peran penting dalam mempengaruhi *pressure drop*.

Pada gambar 3 dapat dilihat perbandingan *apparent viscosity* dan *shear rate*. Pada gambar dapat dilihat bahwa *apparent viscosity*  $\mu$ , berbanding lurus dengan *shear rate*. *Apparent viscosity* meningkat dengan peningkatan kandungan konsentrasi CW. *Apparent viscosity* menurun tajam pada awal *shear rate* hingga cenderung konstan pada nilai tertentu.



Gambar 2. Perbandingan *flow rate* dengan *pressure drop*

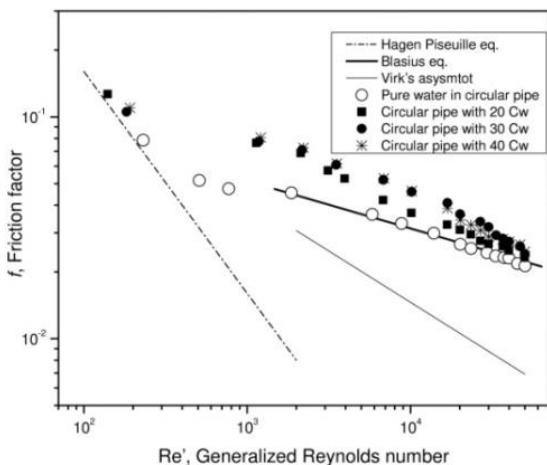


Gambar 3. Perbandingan nilai *shear rate* dengan *apparent viscosity*

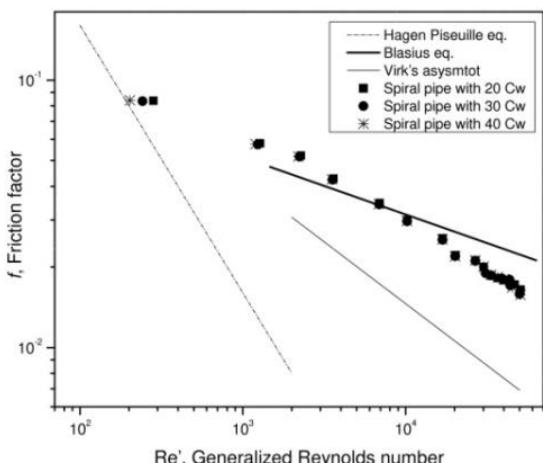
Kondisi ini mirip dengan penelitian sebelumnya untuk menentukan karakteristik fluida kerja pseudoplastik yang mengalir dalam pipa bulat [14]. Pada kondisi ini perilaku fluida kerja lumpur seperti gel yang disebut *shear bending*.

Pada gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa faktor gesekan dari lumpur yang terjadi pada pipa bulat lebih tinggi dari pada air murni. Pada aliran turbulen, nilai *friction factor* cenderung menurun tetapi tidak mencapai tren nilai air murni yang linear dengan persamaan Blasius. Pada pipa spiral, *friction factor* pada zona aliran laminar terjadi jauh lebih tinggi di atas persamaan Hagen-Poiseuille.

Namun pada tren garis turbulen nilai *friction factor* mulai cenderung menurun hingga berada di bawah tren garis Blasius.



**Gambar 4.** Perbandingan *generalized Reynolds number* dengan *friction factor* pada pipa bulat



**Gambar 5.** Perbandingan *generalized Reynolds number* dengan *friction factor* pada pipa spiral

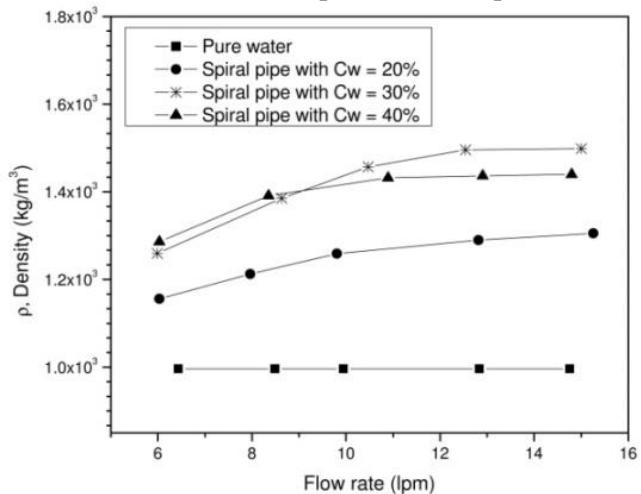
Untuk kontrol pasif, fenomena aliran yang terjadi sangat oleh geometri pipa spiral. Pada  $Re'$  rendah, dampak fluida kerja pada nilai *friction factor* yang relatif tinggi. Intensitas *swirl flow* yang dihasilkan akibat geometri pipa spiral berpotensi untuk mengalirkan lumpur pada  $Re'$  yang lebih rendah dibandingkan pipa bulat. Pada aliran turbulen, *friction factor* secara bertahap menurun sehingga menjadi lebih rendah dari air murni pada sekitar  $Re' 4 \times 10^3$  hingga  $5 \times 10^4$ . Efek ini menghasilkan DR tertinggi pada pipa spiral yang mencapai 25,58% pada  $Re' 5 \times 10^4$ .

### Intensitas Masa Partikel Teralirkan

Gambar 6 menggambarkan hubungan antara debit dan densitas pipa spiral yang berhubungan dengan pengurangan hambatan. Densitas dari masing-masing konsentrasi yang diketahui sebelum

dialirkan adalah  $2333 \text{ kg/m}^3$ ,  $2461,26 \text{ kg/m}^3$ , dan  $2470,14 \text{ kg/m}^3$  untuk konsentrasi  $C_w = 20\%$ ,  $30\%$  dan  $40\%$ . Fenomena yang terjadi dalam lumpur ketika mengalir adalah perubahan densitas seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 di bawah ini.

Data yang dikoleksi selanjutnya dihitung untuk mengetahui nilai perubahan densitas. Perlakuan yang sama dilakukan untuk setiap konsentrasi fluida kerja. Untuk air murni tidak terjadi perubahan densitas sementara pada aliran dua phasa terjadi perubahan dimana densitas fluida yang teralirkan meningkat, seiring meningkatnya debit. Perubahan densitas yang terjadi pada aliran lumpur pada debit rendah lebih drastis hingga cenderung konstan ketika debit mencapai sekitar 15 lpm.



**Gambar 6.** Perbandingan *flow rate* dengan *density* pada fluida kerja lumpur melalui pipa spiral

Pada awal aliran, nilai densitas lumpur terendah adalah pada konsentrasi  $C_w = 20\%$  selanjutnya  $30\%$  dan  $40\%$ . Peningkatan debit aliran hingga mencapai di atas 8 lpm, densitas fluida kerja dengan  $C_w = 30\%$  meningkat hingga melampaui densitas fluida kerja dengan  $C_w = 40\%$  yang tertinggi sebelumnya. Pada debit yang rendah partikel lumpur yang teralirkan masih dimungkinkan seluruhnya dipengaruhi secara merata oleh intensitas gaya tangensial. Namun berbeda dengan fenomena yang terjadi pada debit diatas 8 lpm dimana densitas fluida lumpur dengan  $C_w = 30\%$  meningkat melampaui  $C_w = 40\%$ . Hal ini membuktikan konsentrasi lumpur ideal yang dapat dengan maksimal dipengaruhi oleh gaya tangensial pipa spiral adalah  $C_w = 30\%$  dengan nilai densitas  $2461,26 \text{ kg/m}^3$ .

### Kesimpulan

Fluida kerja dalam setiap konsentrasi adalah bersifat pseudoplastik dengan potensi pengurangan

hambatan *drag*. Fluida kerja dialirkan melalui pipa spiral dengan konsentrasi  $C_w = 30\%$  menghasilkan DR tertinggi 25,58% pada  $Re' \approx 5 \times 10^4$ . Nilai DR yang diperoleh berbanding lurus dengan jumlah massa per satuan volume fluida kerja lumpur yang tersalurkan.

## Peghargaan

Peneliti memberi apresiasi dan ucapan terima kasih kepada KEMENRISTEK DIKTI. Melalui program strategis nasional yang diluncurkan untuk meningkatkan kualifikasi SDM, penelitian ini didukung penuh oleh hibah PMDSU (Program Magister Menuju Doktor Untuk Sarjana Unggulan) tahun 2018.

## Referensi

- [1] Press, F., *Rheological Methods in Food Process Engineering*. 1992.
- [2] Benslimane, A., et al., *Laminar and turbulent pipe flow of bentonite suspensions*. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2016. **139**: p. 85-93.
- [3] Yanuar, I., et al., *The Effect of Calcium Carbonate ( $CaCO_3$ ) Nanoparticles on the Flow through a Pentagon Spiral Pipe*. Mechanical Engineering, 2017. **8**(7).
- [4] Bartosik, A., *Application of rheological models in prediction of turbulent slurry flow*. Flow, turbulence and combustion, 2010. **84**(2): p. 277-293.
- [5] Kristiawan, B. and S. Kamal, *Thermo-Hydraulic Characteristics of Anatase Titania Nanofluids Flowing Through a Circular Conduit*. Journal of nanoscience and nanotechnology, 2016. **16**(6): p. 6078-6085.
- [6] Lin, J. and X. Liang, *A review of research on cylindrical particulate flows*. International Journal of Multiphase Flow, 2010. **36**(2): p. 93-99.
- [7] Chhabra, R.P. and J.F. Richardson, *Non-Newtonian flow in the process industries: fundamentals and engineering applications*. 1999: Butterworth-Heinemann.
- [8] MARUYAMA, T., K. KOJIMA, and T. MIZUSHINA, *The Flow Structure of Slurries in Horizontal Pipes*. Journal of Chemical Engineering of Japan, 1979. **12**(3): p. 177-182.
- [9] Gad-el-Hak, M., A. Pollard, and J.-P. Bonnet, *Flow control: fundamentals and practices*. Vol. 53. 2003: Springer Science & Business Media.
- [10] Senapati, P., B. Mishra, and A. Parida, *Analysis of friction mechanism and homogeneity of suspended load for high concentration fly ash & bottom ash mixture slurry using rheological and pipeline experimental data*. Powder technology, 2013. **250**: p. 154-163.
- [11] Yanuar, Gunawan, and D. Sapjah, *Characteristics of Silica Slurry Flow in a Spiral Pipe*. International Journal of Technology, 2015.
- [12] Ariyaratne, C. and T. Jones, *Design and optimization of swirl pipe geometry for particle-laden liquids*. AIChE journal, 2007. **53**(4): p. 757-768.
- [13] Yanuar, R., Budiarso, Raldi A. Koestoe, *Hydraulics conveyances of mud slurry by a spiral pipe*. Journal of mechanical science and technology, 2009. **23**(7): p. 1835-1839.
- [14] Yanuar, N., I. Gunawan, and M. Baqi, *Characteristics of Drag Reduction by Guar Gum in Spiral Pipes*. Jurnal Teknologi, 2012. **58**(2).