

Karakteristik Larutan CaCO₃ melalui Pipa Bulat

Yanuar^{1,*} dan Sealtial Mau¹

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia - Depok

*Korespondensi: yanuar@eng.co.id

Abstrak. *Heat transfer* merupakan topik yang menarik untuk diteliti dan dikembangkan untuk industri serta pengembangannya di dunia *engineering*. Melalui fluida kerja dalam sistem perpipaan, berbagai metode terus dikembangkan untuk mencapai tingkat yang efisien. Hambatan gesek menjadi bagian yang tak terpisahkan ketika fluida kerja disirkulasikan sehingga sangat mempengaruhi kinerja sistem. Selain dapat meningkatkan *heat transfer*, nanopartikel terbukti mengurangi hambatan gesek (DR). Bubuk *calcium carbonate* (CaCO₃) merupakan material ramah lingkungan yang digunakan dalam penelitian ini untuk meningkatkan DR. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui karakteristik hidrodinamik larutan CaCO₃ yang dialiri melalui pipa bulat. Fluida kerja yang digunakan yaitu air dan etilen glikol dengan perbandingan 40:60, yang didispersikan bubuk CaCO₃ dengan konsentrasi 100 ppm, 300 ppm dan 500 ppm. Fluida kerja dialiri melalui pipa bulat dengan diameter 4 mm dan panjang pipa uji utama 800 mm. *Pressure drop* diukur dengan menggunakan *different pressure data acquisition* dan diolah menggunakan persamaan yang relevan untuk aliran non-Newtonian. Aliran *shear thinning* yang dihasilkan oleh larutan ini menunjukkan perbedaan yang signifikan antara aliran laminar, transisi dan turbulen. Aliran non-Newtonian ini juga menunjukkan nilai DR yang cukup tinggi pada aliran transisi. DR tertinggi yang terjadi sebesar 26.3 % pada *Reynolds number* sekitar 3000. Fenomena ini terjadi akibat fluida kerja yang *delay* ketika sudah berada pada aliran turbulen.

Kata kunci: pressure drop, hambatan gesek, drag reduction, calcium carbonate

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Keberadaan suatu bangsa tidak terlepas dari kebutuhan akan energi untuk menunjang berbagai proses produktifitas. Penyerapan dan pelepasan kalor merupakan fenomena yang terjadi dalam penerapan termodinamika. Pada sistem pendingin mobil, mesin melepaskan kalor dan fluida pendingin menyerap kalor tersebut untuk proses pendinginan. Proses ini tidak terlepas dari pengaruh gesekan di sepanjang aliran yang disirkulasikan. Friction factor merupakan hambatan yang dapat menyebabkan terjadinya kehilangan energi. Fenomena ini perlu dikaji untuk menemukan metode yang tepat dalam penanganannya agar hambatan tersebut dapat dikurangi. Hingga saat ini dua metode yang terus dikembangkan yaitu metode kontrol aktif dan metode kontrol pasif. Metode kontrol aktif dilakukan dengan menambahkan material ke dalam fluida dasar seperti surfaktan, serat, biopolymer dan juga nanopartikel [1-4]. Metode kontrol pasif yaitu dengan membentuk penampang saluran sedemikian rupa sehingga dapat mengurangi hambatan gesek seperti penampang yang berupa spiral, elips, kotak dan lain-lain [1, 5, 6]. Fenomena pengurangan hambatan gesek disebut drag reduction (DR).

Toms merupakan peneliti pertama yang mengungkapkan bahwa penggunaan polimer dapat meningkatkan DR. Fenomena DR menggunakan

polimer terus dikembangkan seperti yang dilakukan oleh Yusuf dkk yang meneliti penggunaan polimer pada aliran fluida oil-water. Pada penelitian ini DR yang diperoleh sebesar 60%. Penggunaan polimer terbukti dalam meningkatkan DR pada sistem perpipaan minyak di Trans-Alaska [7]. Penelitian yang dilakukan oleh Pouranfard dkk, terbukti mengungkapkan salah satu alasan terjadinya DR. Dalam kajiannya, nanopartikel berpotensi melapisi bidang kontak antara fluida kerja dan permukaan pipa sehingga berpotensi terjadi *slip condition* [8].

Penggunaan material sebagai pemicu terjadinya DR, perlu dikembangkan seperti material yang tidak hanya berpotensi menghasilkan efek serupa tapi juga ramah lingkungan dan murah. Beberapa penelitian seperti aliran fluida dengan menambahkan biopolymer dikembangkan untuk menghasilkan DR. *Bacterial cellulose* ketika dilarutkan ke dalam fluida kerja dan dialiri pada aliran yang tinggi nilai Reynoldnya berpotensi menghasilkan DR. dalam penelitiannya Ogata dkk, berhasil mengungkapkan nilai DR akibat *bacterial cellulose* sebesar 11% [9]. Pada penelitian yang berbeda dilakukan oleh Yanuar dkk, meneliti tentang DR akibat guar gum. Biopolymer guar gum dapat menghasilkan nilai DR sebesar 30% pada pipa spiral yang berukuran P/Di 7.0 [10]. Penelitian untuk menghasilkan DR pada sistem perpipaan sebaiknya difokuskan pada penggunaan material yang ramah lingkungan dan murah. Bubuk *calcium*

carbonate akan digunakan sebagai material campuran pada fluida dasar untuk memicu terjadinya DR dalam penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui karakteristik hidrodinamik larutan CaCO₃ yang dialiri melalui pipa bulat.

Metode Penelitian

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah persiapan larutan. Larutan yang digunakan ialah air dan etilen-glikol dengan perbandingan 40 : 60. Larutan kemudian dicampur dengan bubuk CaCO₃ dengan konsentrasi 100 ppm, 300 ppm, dan 500 ppm. Fluida kerja diaduk dengan menggunakan *hand mixer* 2000 rpm selama 30 menit. Fluida kerja kemudian diukur densitasnya untuk mendapatkan nilai masing-masing campuran. Pengukuran dilakukan pada temperatur 27 °C serta nilai yang diperoleh seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Densitas masing-masing fluida kerja

Air murni	100 ppm	300 ppm	500 ppm
996.45 kg/m ³	1263.91 kg/m ³	1264.69 kg/m ³	1265.37 kg/m ³

Fokus utama dalam penelitian ini adalah untuk mengamati karakteristik aliran larutan CaCO₃ yang dialiri melalui pipa bulat dengan variasi bilangan Reynolds. Set-up alat yang dirancang pada posisi horizontal disesuaikan untuk mendapatkan data hasil experiment seperti debit dan juga *pressure drop*. Pipa yang digunakan dengan ukuran diameter dalam yaitu 4 mm dan panjang 800 mm diukur dari *high pressure tap* ke *low pressure tap*. Panjang pipa masuk untuk mencapai *fully develop* yaitu 1000 mm. Fluida kerja dialirkan melalui pipa dengan menggunakan sebuah pompa selanjutnya *flow rate* diukur dengan menggunakan gelas ukur per satuan waktu. *Pressure drop* diukur dengan menggunakan *differential pressure application adaptor for DAQ emant 300 (DAQ component)*. Data nilai perbedaan tekanan yang diukur tersebut direkam oleh kom-

puter. Gambar set-up experiment dapat dilihat seperti pada gambar 1.

Set-up eksperimental harus divalidasi agar benar-benar sesuai dengan standar pengujian pada sistem perpipaan. Pengujian pada sesi ini dilakukan dengan air murni serta data uji diolah menggunakan persamaan yang relevan untuk fluida Newtonian, untuk mengetahui kebenaran alat yang dirancang. Perhitungan data validasi ini kemudian dibandingkan dengan persamaan Hagen-Poiseuille dan aliran turbulen dengan menggunakan persamaan Blasius.

Data yang dihitung pada pengujian ini untuk mendapatkan korelasi *friction factor* dan Reynolds number ialah menggunakan persamaan Fanning untuk aliran Newtonian.

Persamaan Hagen-Poiseuille ialah

$$f = \frac{16}{Re} \tag{1}$$

Persamaan Blasius ialah

$$f = 0.079 Re^{-0.25} \tag{2}$$

dengan

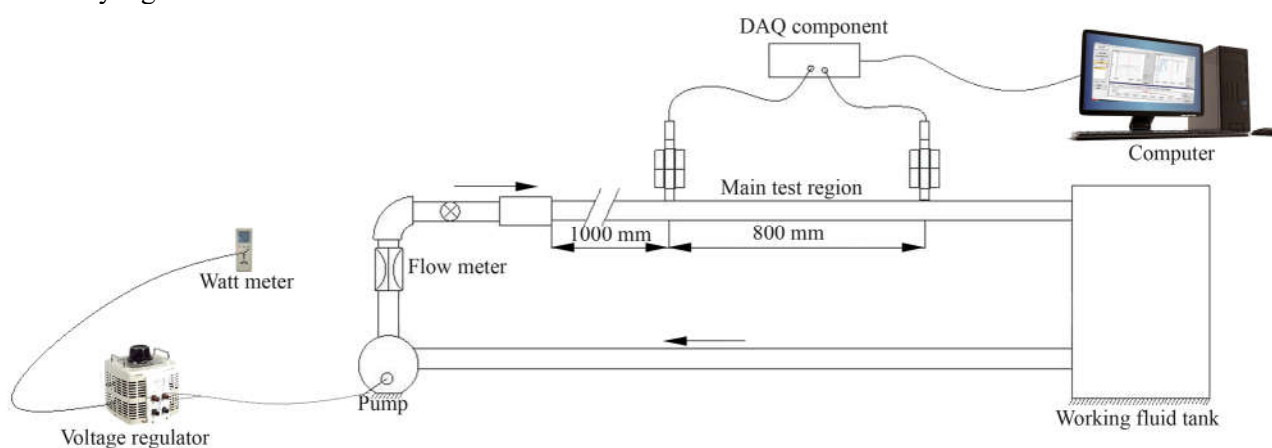
$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \tag{3}$$

dimana *f* dan *Re* masing-masing ialah *friction factor* dan Reynolds number, ρ ialah desitas, *V* ialah kecepatan, *D* ialah diameter dan μ ialah viscositas dinamik. *Friction factor (f)* diketahui jika *Pressure drop*, kecepatan dan desitas fluida kerja sudah diketahui. Persamaan Fanning yang digunakan dalam perhitungan ini yakni untuk aliran laminar sebagai berikut:

$$\frac{-\Delta P}{L} = \frac{2f\rho V^2}{D_h} \tag{4}$$

Persamaan *friction factor* untuk aliran turbulen pada fluida Newtonian dapat dinyatakan dalam persamaan Prandtl-Karman sebagai berikut:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4.0 (Re\sqrt{f}) - 0.4 \tag{5}$$



Gambar 1. Setup experimental

Analisa data experiment

Data hasil eksperimen pertama-tama diolah untuk menentukan jenis fluida melalui nilai power law, n dan koefisien konsistensi, K . hubungan yang sama untuk fluida Newtonian dalam perhitungan non-Newtonian dapat dibuat model reologi sebagai berikut:

$$\tau_w = \mu_a \gamma_w \tag{6}$$

Dimana, μ_a adalah *apparent viscosity*, and γ_w adalah *shear rate wall*.

$$f(\tau_w) = \gamma_w = \left[\left(\frac{3n+1}{4n} \right) \frac{8u}{D} \right] \tag{7}$$

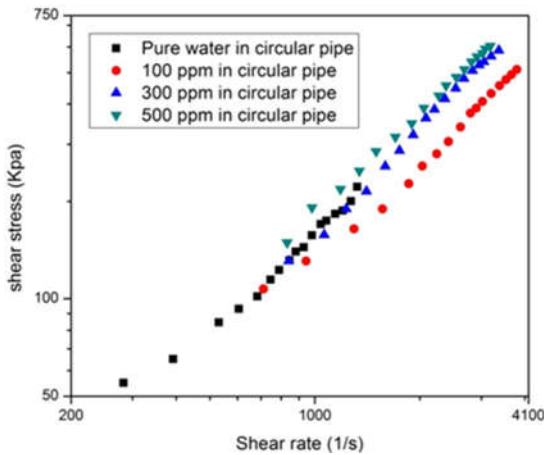
dan,

$$\mu_a = K \gamma_w^{n-1} \tag{1}$$

dimana $\frac{8u}{D}$ adalah *nominal shear rate* (γ_w). Untuk aliran berkembang penuh nilai *shear stress* (τ_w) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\tau_w = \frac{D \Delta P}{4L} \tag{9}$$

Nilai dari masing-masing hasil perhitungan *shear rate* dan *shear stress* diplot ke dalam grafik logaritmik, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.

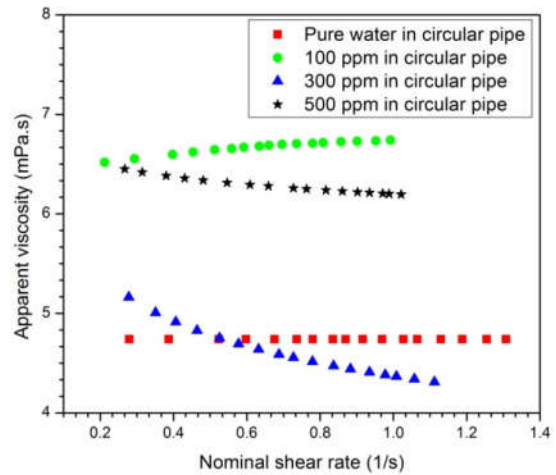


Gambar 2. Perbandingan *shear rate* dan *shear stress*

Nilai power law dan nilai koefisien konsistensi dapat diketahui. Hasil dari plotting dapat dilihat pada gambar 3. Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai *shear stress* pada konsentrasi 100 ppm lebih rendah dari nilai *shear stress* pada air murni namun terus beranjak ke 300 ppm dan pada 500 ppm nilai tersebut lebih tinggi dari air murni. Melalui grafik ini dapat ditentukan nilai n dan nilai K seperti pada tabel 2.

Nilai n dan K pada menunjukkan fungsi yang berbeda. Nilai n dapat dipakai untuk menentukan jenis aliran pada fluida kerja. untuk $n = 1$ ialah fluida Newtonian, $n > 1$ ialah aliran dilatan dan $n < 1$ ialah aliran pseudoplastik. Jika $n = 1$ maka

viskositasnya konstan terhadap *shear rate*, jika $n > 1$ maka nilai viskositasnya semakin meningkat seiring meningkatnya nilai *shear rate*, jika $n < 1$ maka nilai viskositas akan semakin menurun seiring meningkatnya nilai *shear rate*. Melalui grafik pada gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai K menunjukkan tinggi rendahnya nilai *apparent viscosity* dimana semakin tinggi nilai K maka *Apparent viscosity* semakin tinggi.



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

Tabel 2. Nilai power low index dan koefisien konsistensi

Power law parameter	100 ppm	300 ppm	500 ppm
n	1.02	0.87	0.97
K	6.71	7.03	6.2

Fluida kerja yang dialiri melalui pipa bulat dianggap telah standar setelah alat uji divalidasi. Selanjutnya data eksperimen dihitung dengan menggunakan rumus-rumus yang relevan untuk aliran fluida non-Newtonian dalam kaitannya dengan *friction factor*. Penelitian dilakukan pada temperature ruang dengan nilai 27 °C. Persamaan-persamaan yang digunakan merupakan alat bantu untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian ini. Sehubungan dengan jenis fluida kerja pada penelitian ini ialah fluida non-Newtonian maka persamaan-persamaan yang digunakan juga disesuaikan untuk aliran fluida non-Newtonian untuk pipa bulat. Persamaan *generalize Reynolds number* untuk pipa bulat sebagai berikut:

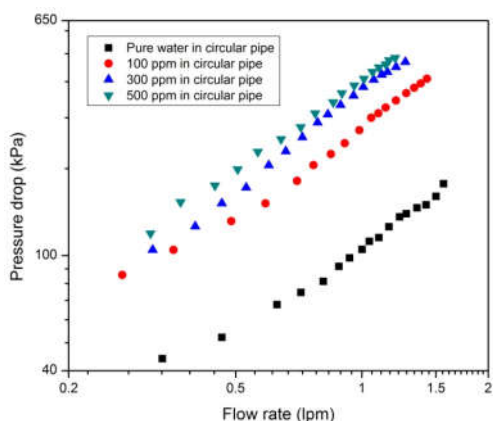
$$Re' = \frac{\rho_n f D^n v^{2-n}}{K 8^{n-1}} \tag{10}$$

Untuk aliran fluida non-Newtonian pada pipa bulat, aliran turbulenta dapat diprediksi melalui persamaan:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{40}{n^{0.75}} \cdot \log_{10} \left[Re' (f_{turb})^{1-\left(\frac{1}{2}\right)} \right] - \frac{0.4}{n^{1.2}} \tag{11}$$

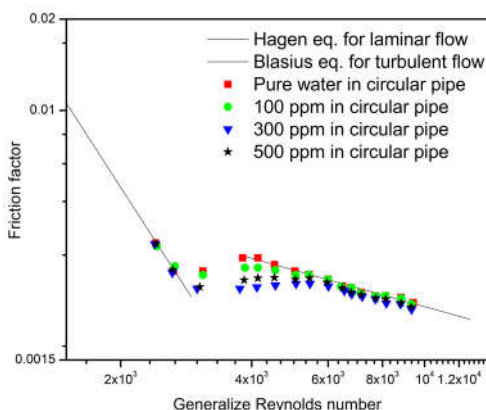
Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini difokuskan pada area pipa uji dengan panjang 800 mm serta pada kedua titik dipasang alat ukur tekanan. Alat ukur tekanan untuk mendapatkan nilai *pressure drop* serta untuk mendapatkan nilai debit aliran, gelas ukur digunakan untuk menampung aliran fluida pada again hilir aliran per 60 menit. pengukuran dilakukan terus menerus selama pengujian dilakukan untuk setiap fluida kerja. Pada Gambar 4. Perbandingan nilai *pressure drop* dan *flow rate* dapat dilihat perbandingan nilai *pressure drop* dan *flow rate*.

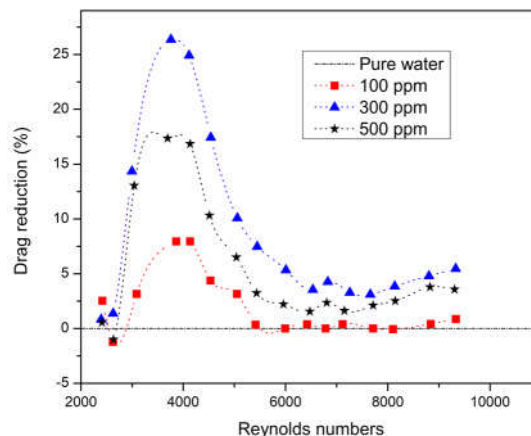


Gambar 4. Perbandingan nilai *pressure drop* dan *flow rate*

Gambar 5 yang menunjukkan perbandingan *pressure drop* dan *flow rate*. Dimana pada grafik terlihat bahwa semakin tinggi nilai konsentrasi bubuk $CaCO_3$ maka *pressure drop* semakin tinggi. Hal ini dapat juga dikatakan bahwa peningkatan nilai *pressure drop* berbanding lurus dengan peningkatan nilai *flow rate*. Tren garis ini sesuai dengan referensi aliran fluida yang mengaplikasikan nanopartikel pada jurnal yang direview [11, 12]. Melalui pengamatan ini, penggunaan nanopartikel pada konsentrasi yang terlalu tinggi tidak efektif karena dengan jumlah konsentrasi yang semakin tinggi *pressure drop* juga akan semakin tinggi.



Gambar 5. Perbandingan *friction factor* dengan *generalize Reynolds number*



Gambar 6. Perbandingan nilai DR dengan generalize Reynolds number

Pada gambar 5 dapat dilihat perbandingan nilai *friction factor* dan *generalize Reynolds number*. Pada grafik, data yang diperoleh berkisar pada aliran transisi hingga bilangan Reynolds dengan turbulen yang rendah yakni 9300. Pada gambar dapat dilihat bahwa terjadi delay pada aliran transisi dimana perhitungan nilai data eksperimen untuk nilai *friction factor* tidak berada pada *trend line* Hagen Poizeuille ataupun Blasius. Nilai *friction factor* yang berada pada zona transisi terjadi *delay* ketika akan memasuki zona turbulen sementara nilai bilangan Re' sudah mencapai 4000. Fenomena aliran yang terjadi di termasuk posisi *delay* yang terjadi dipengaruhi oleh gerak Brownian powder. Gerakan pseudo-acak pada powder untuk fluida kerja dengan konsentrasi 300 ppm paling rendah nilai koefisien geseknya diikuti dengan 500 ppm dan 100 ppm pada zona transisi. Pada *trend line* aliran turbulen, nilai koefisien gesek pada masing-masing fluida kerja cenderung untuk mengikuti *trend line* *gari* Blasius. Pada gambar 6 menunjukkan presentasi nilai DR dari fluida kerja dengan peningkatan nilai Re' . Pada gambar dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan nilai persentasi DR yang cukup ekstrim pada nilai Re' transisi dan turbulen. Nilai DR tertinggi terjadi pada fluida kerja 300 ppm sebesar 26.3 % pada Reynolds sekitar 3000. Persentasi nilai DR merupakan interpretasi dari nilai *friction* pada gambar 5.

Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan ini untuk mengetahui karakteristik aliran hidrodinamika nanopartikel *calcium carbonate* terhadap peningkatan efisiensi aliran dalam pipa. Pengaruh konsentrasi nano partikel mengakibatkan nilai *friction factor* bervariasi. Nilai DR tertinggi terjadi pada fluida kerja 300 ppm sebesar 26.3 % pada Reynolds sekitar 3000 akibat fluida kerja yang delay sesaat berada pada posisi transisi. *Pressure drop* terjadi seiring

peningkatan jumlah konsentrasi bubuk CaCO_3 sehingga jumlah konsentrasi pada perbandingan yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan kerugian pada aliran fluida kerja.

Referensi

- [1] Watanabe, K., *Drag Reduction by Fluid Slip*.
- [2] Karami, H. and Mowla, D., 2012. *Investigation of the effects of various parameters on pressure drop reduction in crude oil pipelines by drag reducing agents*, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 177: p. 37-45.
- [3] Kapal, G., Baqi, M. and Fathernas, S., 2013. *Drag Reduction of Bamboo and Abaca Fiber Suspensions in Circular Pipe*, in *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publ.
- [4] Tamano, S., et al., 2015. *Drag reduction and degradation of nonionic surfactant solutions with organic acid in turbulent pipe flow*, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 215: p. 1-7.
- [5] Watanabe, K., et al., 1984. *Flow in a Spiral Tube: 1st Report, Velocity Distribution and Pressure Drop*. Bulletin of JSME, 27(228): p. 1105-1111.
- [6] Escudier, M., Nickson, A., and Poole, R., 2009. *Turbulent flow of viscoelastic shear-thinning liquids through a rectangular duct: Quantification of turbulence anisotropy*, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 160(1): p. 2-10.
- [7] Yusuf, N., et al., 2012. *Experimental study on the effect of drag reducing polymer on flow patterns and drag reduction in a horizontal oil-water flow*. International Journal of Heat and Fluid Flow, 37: p. 74-80.
- [8] Pouranfard, A., Mowla, D. and Esmailzadeh, F., 2014. *An experimental study of drag reduction by nanofluids through horizontal pipe turbulent flow of a Newtonian liquid*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 20(2): p. 633-637.
- [9] Ogata, S., Numakawa, T. and Kubo, T., 2011. *Drag reduction of bacterial cellulose suspensions*. Advances in Mechanical Engineering, 3: p. 528373.
- [10] Yanuar, N., Gunawan, I. and Baqi, M., 2012. *Characteristics of Drag Reduction by Guar Gum in Spiral Pipes*, Jurnal Teknologi, 58(2).
- [11] Kumar, S., Sokhal, G.S. and Singh, J., *Effect Of Cuo-Distilled Water Based Nanofluids On Heat Transfer Characteristics And Pressure Drop Characteristics*. Int. Journal of Engineering Research and Applications ISSN: p. 2248-9622.
- [12] Kristiawan, B. and Kamal, S., 2015. *A Modified Power Law Approach for Rheological Titania Nanofluids Flow Behavior in a Circular Conduit*, Journal of Nanofluids, 4(2): p. 187-195.