

## Karakteristik Aliran Turbulen Melalui Pipa Spiral dengan Penambahan Partikel $TiO_2$

Sealtial Mau<sup>1,\*</sup>, Rifqi Hanif<sup>2</sup>, Okky A. Putra<sup>2</sup>, Kurniawan T<sup>3</sup>, Yanuar<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Pasca Sarjana Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Kampus UI, Depok 16424, Indonesia

<sup>2</sup>Mahasiswa Program Sarjana Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Kampus UI, Depok 16424, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Kampus UI, Depok 16424, Indonesia

\*email. sealtialmau@gmail.com

### Abstrak

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik pengurangan hambatan pada aliran turbulen yang mengalir melalui pipa spiral segi lima. Fluida kerja yang digunakan yaitu nanofluid  $TiO_2$  dengan perbandingan konsentrasi 100 ppm, 200 ppm dan 300 ppm serta variasi lama pencampuran yaitu 30 menit dan 90 menit. Pipa spiral dengan aspek rasio,  $Pi/D = 10,8$  digunakan dalam pengujian ini, serta sebuah pipa pembanding yang berpenampang lingkaran dengan diameter dalam 3 mm. Pengujian ini dilakukan pada aliran turbulen dengan  $Re$  dari 4.000 sampai 15.000 serta karakteristik aliran pseudoplastik. Pengaruh dari konsentrasi campuran nanofluid, geometri dan waktu pencampuran yang dianalisis menunjukkan bahwa *drag reduction* tertinggi terjadi pada pipa spiral sebesar 31 % dengan konsentrasi dan lama pencampuran 300 ppm dan 90 menit. Melalui pengujian ini, geometri dan lama pencampuran serta persentasi konsentrasi campuran menjadi faktor yang penting dalam fenomena *drag reduction*.

**Kata kunci:** *Drag reduction*, pipa spiral, nanofluida, non-Newtonian, titania

### Pendahuluan

Sistem transportasi fluida dengan menggunakan pipa merupakan alat transportasi yang cukup efisien dan ramah lingkungan. Berbagai cara terus dikembangkan baik secara teori maupun eksperimental agar semakin meningkatkan performa alat transportasi ini [1]. Kerugian yang timbul dalam aliran fluida yaitu kerugian tinggi tekanan (*pressure drop*), dimana dibutuhkan energi dari aliran itu sendiri yang mengakibatkan kerugian. *Pressure drop* dapat dikurangi dengan mengurangi hambatan yang terjadi di sepanjang aliran fluida kerja. Dengan demikian penggunaan energi untuk memindahkan fluida dapat dihemat.

Penghematan konsumsi energi dapat dilakukan dengan menggunakan dua metode yakni kontrol aktif dan kontrol pasif. Metode kontrol pasif diterapkan dengan memodifikasi atau merubah struktur dari permukaan alat transportasi

sendiri, sementara kontrol aktif yaitu memodifikasi dengan menambahkan sejumlah partikel atau aditif ke dalam fluida kerja untuk dapat mereduksi pengurangan hambatan. Kontrol aktif yang dilakukan dengan penambahan partikel nano yang lebih kecil dari 100 nm yang didispersikan ke dalam fluida kerja seperti air, etilen glikol, oli mesin dan fluida dasar lainnya disebut fluida nano [2].

Dalam kajian yang telah dilakukan beberapa dekade terakhir ini telah dikaji tentang pengurangan hambatan (*drag reduction*) dalam pipa. Beberapa artikel mengkaji tentang nano partikel [3,4] dan ada beberapa artikel mengkaji tentang polimer dan surfaktan [5-9]. Pengurangan hambatan dengan menggunakan nano partikel dapat mengubah karakteristik fluida kerja seperti densitas, viskositas dan hambatan drag tanpa mengakibatkan pengendapan dalam aliran. Penambahan jumlah konsentrasi nanopartikel ke dalam

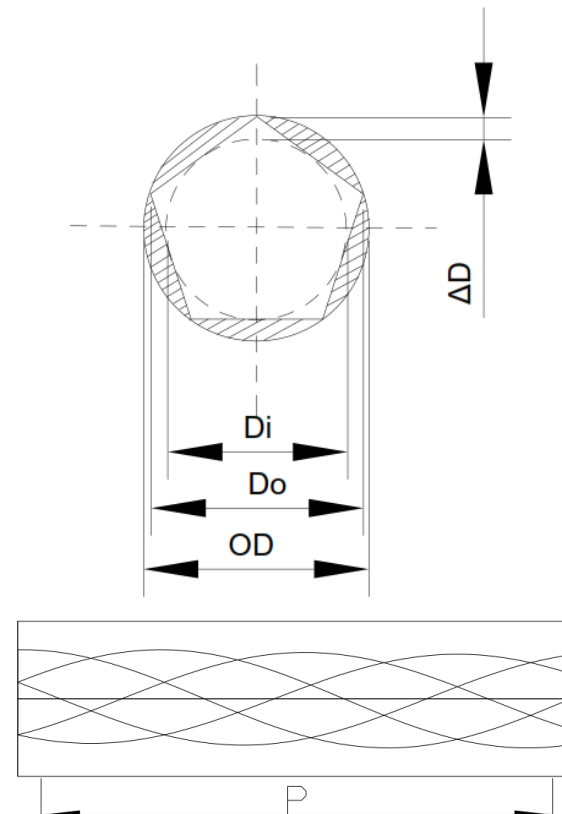
fluida kerja dapat meningkatkan terjadinya viskositas, sedangkan *pressure drop* tidak [2].

Pengurangan hambatan (*drag reduction*) didefinisikan sebagai pengurangan koefisien hambatan gesek yang terjadi di sepanjang gradien kecepatan fluida atau hambatan drag untuk aliran luar. Gradien kecepatan ini terjadi dimana kecepatan aliran pada dinding pipa itu nol dan berangsur meningkat hingga kecepatan paling maksimal pada bagian tengah atau sumbu pipa. Penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan *drag reduction* dengan mengaplikasikan nanopartikel terbukti berhasil. Nanopartikel memodifikasi permukaan dinding pipa yang kasar sehingga aliran pada dinding pipa terjadi slip dan mengakibatkan hambatan gesek berkurang [3].

#### Setup Experimental

**Instalasi pengujian.** Gambar instalasi penelitian ditunjukkan pada gambar 2. Sebuah pipa spiral dengan aspek rasio  $Pi/D = 10,8$  digunakan, serta panjang bagian yang akan diuji yaitu 900 mm, dimana pada kedua sisi dipasang alat ukur tekanan yaitu *pressure gauge*. Jarak dari ujung pipa masuk ke *high pressure tap* yaitu 1000 mm dengan asumsi sudah *fluid development* di lokasi tersebut. Sebuah pompa dipakai untuk mensirkulasikan nanofluida selama pengambilan data, dimana pompa yang dipakai yaitu pompa sentrifugal dengan kapasitas 30 l/menit. Agar dapat mengatur debit aliran sesuai dengan kebutuhan maka dipakai sebuah volt regulator untuk mengatur pompa sehingga volume air yang

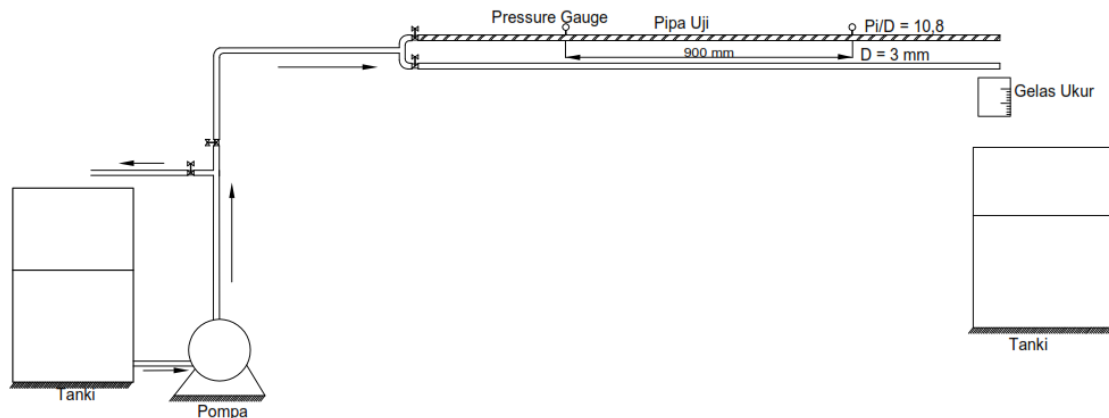
mengalir per satuan waktu terukur. Panjang bagian uji yaitu jarak antar dua *pressure tap* sebesar 900 mm. Sebagai pembanding sebuah pipa bulat dengan diameter dalam 3 mm dengan ukuran panjang yang sama dengan pipa spiral digunakan.



Gambar 1. Geometri pipa spiral

Tabel 1. Spesifikasi pipa uji

Pipa uji	Di (mm)	Do (mm)	$\Delta D$ (mm)	P (Pitch)	P/Di
Spiral	3	6,3	3,3	$\infty$	$\infty$
Bulat	5,25	8,55	3,3	56,7	10,8



Gambar 2. Skema alat penelitian

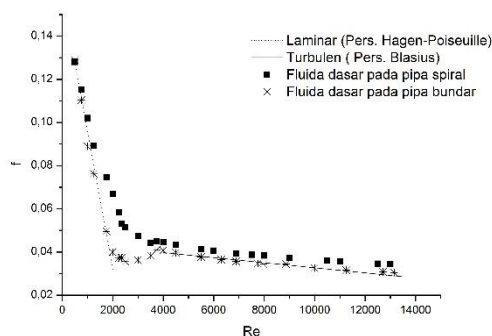
**Validasi alat uji.** Instalasi pengujian yang dibuat divalidasi keakurasiannya dengan melakukan pengambilan data awal dan melakukan pendekatan dengan menggunakan persamaan Hagen-Poiseuille untuk laminar dan persamaan Blasius untuk aliran turbulen.

$$f = 64/Re \quad (1)$$

$$f = 0,3164 Re^{-0,25} \quad (2)$$

Kedua persamaan ini dipakai karena dalam kondisi aliran Newtonian. Untuk aliran Newtonian, bilangan Reynolds dihitung dengan viskositas konstan tanpa bergantung pada pengaruh dari shear rate.

$$(Re = \rho \bar{u} D / \mu) \quad (3)$$



Gambar 3. Nilai validasi faktor gesekan untuk fluida dasar

### Persiapan Nanofluida

Dalam penelitian ini partikel nano yang didispersikan ke dalam fluida kerja yaitu  $TiO_2$ . Perbandingan campuran partikel nano dengan fluida dasar yaitu 100 ppm, 200

ppm dan 300 ppm. Nanopartikel didispersikan ke dalam fluida dasar dengan menggunakan *metode simple mechanical steering* yaitu diblender dengan waktu yang divariasikan. Kecepatan putaran blender yang digunakan yaitu 20.000 rpm dengan variasi waktu yaitu 30 menit dan 90 menit.

Tabel 2. Karakteristik fluida dasar dan

Properties	$TiO_2$	Aquades
dasar		
$\rho [Kg.m^{-3}]$	4250	997,1
$\mu [Pa.s]$	-	$0,883 \times 10^{-3}$

### Karakteristik reologi nanofluida.

Pengukuran reologi dilakukan pada kondisi aliran yang temperaturnya dijaga konstan yaitu  $27^\circ C$  dengan menggunakan peralatan uji seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Teknis perhitungan proses reologi dapat dilakukan dengan menentukan parameter *power law model* seperti *power law index* (n) dan konsistensi koefisien (K).

$$n = \frac{\log(\frac{\tau_1}{\tau_2})}{\log(\frac{\gamma_1}{\gamma_2})} \quad (4)$$

$Re^*$  merupakan bilangan *Reynolds generalize* yang bisa diperoleh dari persamaan:

$$Re^* = \frac{\rho_n \bar{u}^{2-n} D^n}{K' 8^{n-1}} \quad (6)$$

Dimana  $\bar{u}$  adalah kecepatan, D adalah diameter dalam dan  $\rho$  adalah densitas.

Koefisien gesek,  $f$  dapat diperoleh dengan persamaan Darcy:

$$f = \left( \frac{D}{L} \frac{\Delta P}{(1/2)\rho \bar{u}^2} \right) \quad (7)$$

Dimana  $f$  adalah koefisien gesek dan  $\Delta P$  adalah *pressure drop*. DR di dalam pipa dapat ditentukan dengan persamaan:

$$DR = \left| \frac{f - f_{nf}}{f} \right| \times 100\% \quad (8)$$

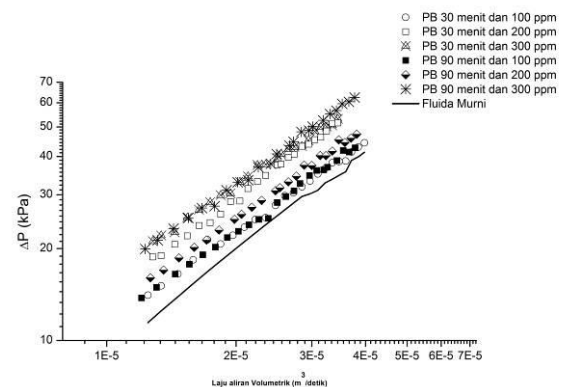
Dimana  $f_{nf}$  adalah koefisien gesek nanofluid.

### Hasil dan Analisis

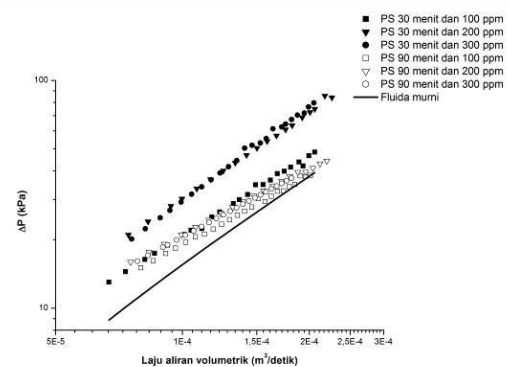
**Pengaruh fluida kerja terhadap *pressure drop*.** Aliran dalam pipa tidak terlepas dari pengaruh *pressure drop*. Faktor yang mengakibatkan terjadinya penurunan tekanan itu seperti faktor gesekan, ukuran diameter dan panjang serta kecepatan fluida dan kekasaran permukaan pipa. Melalui pengujian yang dilakukan maka hubungan antara *pressure drop* dan laju aliran volumetrik direpresentasikan dalam grafik di gambar 4 dan 5:

Pengaruh konsentrasi partikel dan lama pencampuran terhadap fluida disajikan pada gambar 4 dan 5. Pada grafik terlihat bahwa bentuk penampang pipa maupun lama pencampuran berpengaruh pada aliran yang berdampak pada fenomena *pressure drop*. Dari grafik terlihat bahwa *pressure drop* tertinggi terjadi pada fluida dengan konsentrasi campuran tertinggi dan lama waktu pencampuran terendah. Fenomena ini terjadi pada pipa spiral dan juga pipa bulat. Tingginya *apparent viscosity* nanofluid terjadi karena molekul air dan partikel nano belum homogen jika dibandingkan dengan fluida dengan lama pencampuran 90 menit. Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa konsentrasi dan lama pencampuran serta geometri pipa berpengaruh terhadap *pressure drop*.

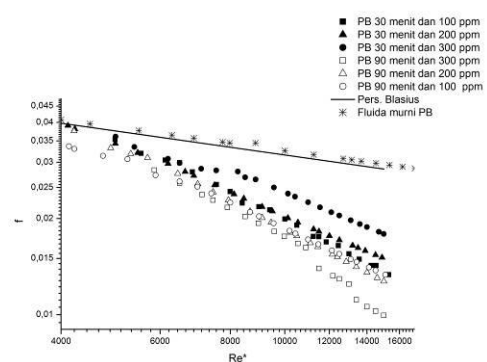
**Faktor gesekan.** Melalui penelitian ini analisa faktor gesekan difokuskan pada aliran turbulen. Hubungan antara bilangan *Reynolds generalize* dengan Faktor gesekan Darcy di tunjukkan pada grafik 6 - 8.



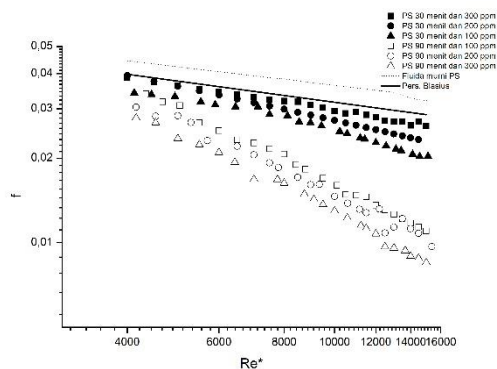
Gambar 4. Hubungan antara *pressure drop* dengan laju aliran volumetrik pada pipa bulat (PB)



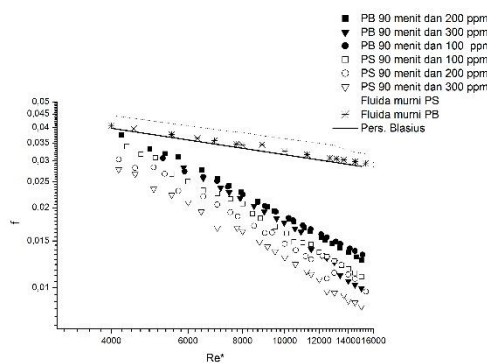
Gambar 5. Hubungan antara *pressure drop* dengan laju aliran volumetrik pada pipa spiral (PS)



Gambar 6. Hubungan antara *Reynolds generalize* dengan faktor gesekan pada pipa bundar (PB)



Gambar 7. Hubungan antara *Reynolds generalized* dengan faktor gesekan pada pipa spiral (PS)

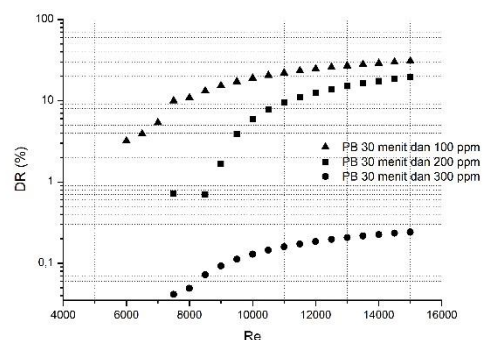


Gambar 8. Hubungan antara *Reynolds generalized* dan faktor gesekan untuk PB dan PS

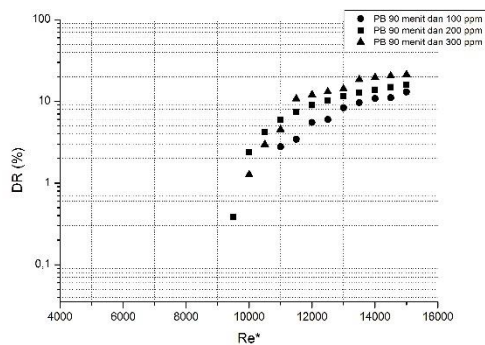
Berdasarkan gambar 6 - 8 dapat dilihat bahwa terjadi pengaruh pada nilai koefisien gesek seiring meningkatnya nilai  $Re^*$ . Geometri pipa, lama waktu pencampuran dan perbandingan fraksi volume menjadi faktor penting terhadap faktor gesekan yang ditunjukkan melalui grafik ini. Jumlah perbandingan fraksi volume nano partikel 300 ppm dengan lama waktu pencampuran 30 menit pada pipa spiral paling kecil menghasilkan persentase *drag reduction* yakni 9 %. Nanofluid dengan campuran 300 ppm dan 30 menit waktu pencampuran ini, air dan partikel nano belum menyatu dengan baik atau belum homogen sehingga terjadi fluktuasi partikel air dan partikel  $TiO_2$  di sepanjang aliran sehingga mengakibatkan *pressure drop*.

Nilai *drag reduction* tertinggi terjadi pada nanofluid dengan perbandingan fraksi volumenya sebesar 300 ppm dan lama pencampuran 90 menit pada pipa spiral. Persentase *drag reduction* sebesar 31 % pada Reynolds 15.000. Nanofluid pada pengujian ini dianggap telah homogen dan sesuai dengan prinsip aliran pseudoplastic. Dengan meningkatnya nilai Reynolds maka nilai koefisien geseknya semakin berkurang. Disatu sisi geometri pipa juga mempengaruhi karakteristik aliran fluida yang mengalir sehingga pipa spiral menjadi lebih tinggi persentase nilai drag. Sebagaimana hasil riset peneliti sebelumnya yang mengatakan *drag reduction* akibat nanofluid terjadi paling efektif pada aliran turbulen. Geometri pipa spiral dapat menjadikan *drag reduction* menjadi lebih optimal.

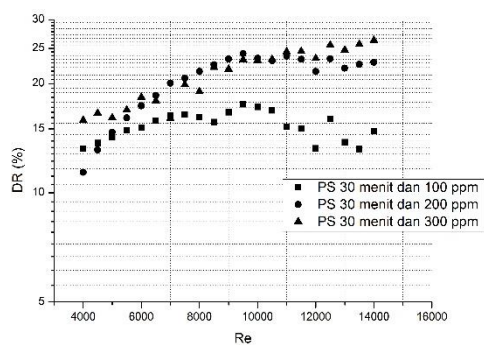
**Drag reduction.** Hubungan DR dengan bilangan  $Re^*$  ditunjukkan pada grafik 9-12. Untuk pipa bulat DR tertinggi terjadi pada nanofluid dengan lama pencampuran 90 menit dengan konsentrasi campuran 300 ppm. Sementara DR terendah terjadi pada nanofluid dengan lama pencampuran 30 menit dan persentase konsentrasi partikel terhadap fluida sebesar 300 ppm. DR masing-masing yang tertinggi 26 % dan terendah 13 %. Sementara pada pipa spiral DR tertinggi terjadi pada nanofluid dengan lama pencampuran 90 menit dan juga jumlah konsentrasi partikel nano 300 ppm sebesar 31 %. DR terendah terjadi pada nanofluid dengan lama waktu pencampuran 30 menit dengan perbandingan konsentrasi 300 ppm yaitu sebesar 9 %.



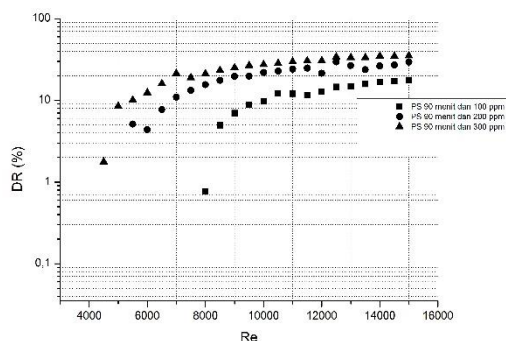
Gambar 9. Hubungan DR terhadap  $Re^*$  untuk PB dengan lama pencampuran 30 menit



Gambar 10. Hubungan DR terhadap  $Re^*$  untuk PB dengan lama pencampuran 90 menit



Gambar 11. Hubungan DR terhadap  $Re^*$  untuk PS dengan lama pencampuran 30 menit



Gambar 12. Hubungan DR terhadap  $Re^*$  untuk PS dengan lama pencampuran 90 menit.

Perbandingan persentasi DR tertinggi untuk kedua pipa ini terjadi pada pipa spiral dan nilai DR terendah juga terjadi pada pipa spiral. Fenomena DR terendah yang terjadi pada pipa spiral ini akibat partikel nano yang belum terdispersi homogen dengan partikel air. Campuran nanofluid seperti ini ketika dialiri dalam pipa akan terjadi fluktuasi partikel nano dengan fluida kerja dan juga terhadap permukaan pipa bagian dalam. Persentasi jumlah partikel yang lebih tinggi mengakibatkan semakin banyaknya partikel yang berfluktuasi selama fluida dialiri di sepanjang pipa uji. Fenomena inilah yang menyebabkan terjadinya *pressure drop* lebih tinggi dibandingkan yang lainnya.

Persentasi DR yang tertinggi terjadi pada pipa spiral dengan lama pencampuran 90 menit serta jumlah konsentrasi campuran 300 ppm. Hal ini terjadi akibat nanofluid sudah benar-benar homogen antara fluida dan partikel nano. DR pada pipa spiral juga terjadi karena geometri bagian dalam pipa uji yang tampak seperti ulir, dimana hal ini dapat menyempurnakan partikel nano yang sudah terdispersi tersebut menjadi lebih baik. Partikel nano tetap tersebar merata dan mencegah terjadinya penggumpalan selama fluida melintasi pipa uji. Sementara pada pipa bulat fluida yang mengalir cenderung stagnan dan pengaruh DR tergantung pada *shear rate*.

Persentasi DR terendah yang terjadi pada pipa spiral juga terjadi akibat fluktuasi aliran dengan partikel yang tidak terdispersi dengan baik. Geometri permukaan pipa bagian dalam yang berulir ini mengakibatkan fluktuasi yang lebih tinggi dari pada pipa bulat yang cenderung lebih rendah. Melalui penelitian ini nilai DR pada pipa bulat dan pipa spiral berbeda dan juga karakteristik nanofluid sehubungan dengan lama pencampuran menjadi faktor yang penting untuk mencapai DR yang maksimum.

Pengaruh konsentrasi partikel terhadap DR, ketika nanopartikel semakin tinggi



konsentrasinya dengan lama pencampuran 90 menit dapat meningkatkan DR sedangkan dengan meningkatkan jumlah konsentrasi partikel disertai dengan lama pencampuran 30 menit yang mengakibatkan campuran nanofluid tidak tercampur secara homogen mengakibatkan DR yang rendah. Fenomena ini terjadi pada pipa spiral maupun pipa bulat.

#### Kesimpulan

Melalui eksperimen yang dilakukan ini dapat disimpulkan beberapa hal sehubungan dengan fenomena *drag reduction* yang terjadi pada aliran dalam pipa.

1. *Drag reduction* tertinggi terjadi pada pipa spiral yakni sebesar 31 %. Lama waktu pencampuran mempengaruhi persentase DR. Dimana dengan jumlah persentase 300 ppm dan lama pencampuran 30 menit dan 90 menit menghasilkan perbedaan DR yang signifikan yakni 9 % pada pipa bulat dan 31 % pada pipa spiral.
2. DR pada pipa bulat dan pipa spiral berbeda serta karakteristik nanofluid sehubungan dengan lama pencampuran menjadi faktor yang penting untuk mencapai DR yang maksimum

#### Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dilakukan dengan dana hibah riset DRPM Universitas Indonesia.

#### Referensi

- [1] F. R. Cunha., M. Andreotti., A Study of the Effect of Polymer Solution in Promoting Friction Reduction in Turbulent Channel Flow, 2007. Journal of Fluids Engineering, Vol. 129, pp.491-505
- [2] Kristiawan B., Kamal S., Suhanan., Yanuar, A Modified Power Law Approach

for Rheological Titania Nanofluids Flow Behavior in a Circular conduit, 2015. Journal of Nanofluids, Vol. 4, pp.1-9

- [3] A.R. Pouranfard., D. Mowla., F. Esmaeilzadeh., An Experimental Study of drag Reduction by Nanofluids Through Horizontal Pipe Turbulent Flow of a Newtonian Liquid, 2014. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 20, pp.033-037

- [4] A.R. Pouranfard., D. Mowla., F. Esmaeilzadeh., An Experimental Study of Drag Reduction by Nanofluids in Slug Two-Phase Flow of Air And Water Through Horizontal Pipes, 2015. Chinese Journal of Chemical Engineering, Vol. 23, pp.471-475

- [5] Anees A. Khadom., Ali A. Abdul-Hadi., Performance of polyacrylamide as drag reduction polymer of crude petroleum flow, 2014. Ain Shams Engineering Journal, Vol. 5, pp.861-865

- [6] M. Al-Yaari., A. Soleimani., Abu-Sharkh., U. Al-Mubaiyedh., A. Al-sarkhi, 2009. International Journal of Multiphase Flow, Vol. 35, pp.516-524

- [7] Shinji Tamano., Hiroki Ikarashi., Yohei Morinishi., Keihiro Taga., Drag reduction and degradation of nonionic surfactant solutions with organic acid in turbulent pipe flow, 2015. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Vol.215, pp.107

- [8] Yanuar., Gunawan., M.Baqi., Characteristic of Drag Reduction by Guar Gum in Spiral pipes, 2012. Jurnal Teknologi, Vol. 58, pp.95-99

- [9] Ogata S., Gunawan., Warashina J., Yanuar., Drag Reduction of a Pipe Flow Using Nata de Coco Suspension, 2014. Advances in Mechanical Engineering, pp.8