

Penurunan Kerugian Jatuh Tekanan Pada Pipa Kasar k/D 0,04 pada Larutan Biopolimer *Xanthan Gum*

Yanuar, Gunawan, M. Baqi dan Fanny Putu Saputra

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia,
Kampus UI Depok, 16424, Indonesia
Email : yanuar@eng.ui.ac.id

Abstrak

Penelitian tentang pengurangan energi dalam aliran semakin berkembang. Para peneliti terus menerus mencari cara agar kerugian tekanan dapat diminimalkan. Kerugian jatuh tekanan aliran dalam pipa sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut karena berkaitan dengan penggunaan energi. Pengurangan nilai kerugian jatuh tekanan dengan penambahan biopolimer xanthan gum dalam larutan air telah dipelajari sebagai fungsi konsentrasi dengan menggunakan pipa acrylic. Percobaan dilakukan dengan mengukur pressure drop. Tujuan penelitian ini untuk menyelidiki pengurangan kerugian jatuh tekanan dalam pipa dengan penambahan biopolimer xanthan gum. Pipa acrylic dengan diameter 10 mm digunakan dalam penelitian ini. Variasi konsentrasi larutan xanthan gum yaitu 150 ppm, 300 ppm dan 400 ppm. Percobaan dilakukan dari bilangan Reynolds rendah hingga mencapai $4,5 \times 10^4$. Pipa Acrylic tersebut diberi kekasaran khusus dengan penempelan pasir sehingga memiliki rasio kekasaran $k/D = 0,04$. Hasil menunjukkan terjadi pengurangan nilai koefisien gesek pada larutan xanthan gum. Nilai drag reduction maksimum sekitar 25% pada bilangan Reynolds 20.000. Semakin besar konsentrasi xanthan gum akan semakin besar pula nilai pengurangan hambatannya.

Keywords: efisiensi energi, kerugian jatuh tekanan, xanthan gum, k/D, bilangan Reynolds.

Pendahuluan

Penghematan pemakaian energi atau pengurangan kerugian pada fluida dalam sistem perpipaan sangat penting untuk dikaji atau dikembangkan. Ilmu mekanika fluida sangat berperan penting dalam mengetahui karakteristik fluida saat mengalir. Fluida dapat mengalir di dalam pipa dengan kecepatan yang diinginkan bila gaya hambat yang terjadi di dalam pipa tersebut dapat diatasi. Kerugian energi yang dibutuhkan untuk memindahkan fluida disebut kerugian jatuh tekan.

Metode pengurangan hambatan dapat diklasifikasikan menjadi aktif kontrol dan pasif konyrol. Metode aktif dapat dilakukan dengan cara penambahan sejumlah kecil larutan aditif seperti polimer, surfaktan dan serat alami kedalam aliran turbulen fluida Newtonian dapat mengurangi hambatan gesek dengan bilangan Reynold tertentu. Fenomena ini telah diuji sebelumnya oleh Toms [1] dengan menggunakan surfaktan yang terbukti dapat mengurangi hambatan gesek dengan degradasi mekanik rendah. Akan tetapi surfaktan merupakan zat kimia sintetis yang berbahaya bagi lingkungan. Pengujian dengan menggunakan polimer juga telah dilakukan [1] dan terbukti memiliki efek yang sama, namun polimer memiliki degradasi mekanik yang tinggi.

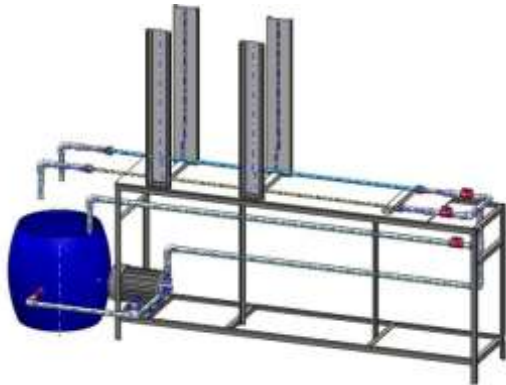
Pengujian menggunakan larutan biopolimer terhadap aliran dalam dan luar pipa juga telah diuji oleh Yanuar [2,3,4]. Penelitiannya menunjukkan larutan biopolimer dapat mengurangi hambatan gesek hingga 30%.

Xanthan gum merupakan polisakarida yang dihasilkan dari fermentasi aerobik karbohidrat dengan bakteri *xanthomonas campestris*. *Xanthan gum* termasuk biopolimer atau polimer alam karena bakteri *xanthomonas campestris* sendiri bisa ditemukan pada tanaman kubis [5]. Untuk mengetahui pengaruh larutan *xanthan gum* terhadap pengurangan hambatan gesek aliran, maka *xanthan gum* akan diuji dalam pipa *acrylic* yang dikasarkan dengan dilapisi pasir pada dinding diameter dalamnya dengan nilai kekasaran k/D 0,04, diameter dalam 10 mm serta panjang 2 m.

Eksperimental Set-up

Alat uji ini dirancang sebagai alat uji dengan skala laboratorium (kolam uji), yaitu penggunaan alat yang hanya ditunjukkan untuk penelitian dan pengambilan data. Gambar 1 menunjukkan setup alat uji dimana larutan *xanthan gum* dalam tangki dialirkan ke dalam pipa *acrylic* menggunakan pompa sentrifugal berdaya 125 watt. Diameter pipa *acrylic* yaitu 10 mm dan nilai k/D 0,04. Untuk mengukur perbedaan tekanan dalam pipa *acrylic* menggunakan manometer jenis pipa kapiler

dengan diameter pipa kapiler 4 mm dengan jarak antar manometer 600 mm. *Shear stress* dan *shear rate* dapat pula dihitung dengan mengukur gradien jatuh tekanan dan gradien kecepatan. Untuk menghitung debit fluida yang mengalir, fluida dialirkan kemudian ditampung ke dalam gelas ukur, diukur volumenya dan dibagi dengan lama waktu pengisian. Variasi konsentrasi larutan *xanthan gum* yaitu 150 ppm, 300 ppm dan 400 ppm. temperatur fluida adalah 27°C. *Xanthan gum* yang digunakan adalah *xanthan gum* jenis food grade yang berbentuk serbuk.



Gambar 1. Rancangan alat uji

Alat uji kemudian dirakit sesuai dengan rancangan

Analisis

Hubungan koefisien gesek dengan bilangan Re di plot pada diagram Moody, persamaan koefisien gesek untuk aliran laminar di plot sebagai garis lurus dari Hagen-Poiseuille dan Blasius untuk aliran turbulen serta rasio kekasaran pipa.

Hubungan perubahan nilai viskositas pada fluida *non-Newtonian* adalah akibat shear strain, bilangan Reynolds akan digantikan dengan *Generalized Reynolds Number Re'*. Dimana viskositas sesaat berhubungan dengan nilai mutlak tegangan geser dinding τ_w .

Persamaan Model Power Law:

$$(\tau) = K \left(-\frac{du}{dy} \right)^n \quad (1)$$

Power law index, n dihitung dari garis singgung lengkungan kurva yang dibentuk dari tegangan geser dan gradient kecepatan dengan persamaan:

$$n = \frac{\log \left(\frac{\tau_1}{\tau_2} \right)}{\log \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} \right)} \quad (2)$$

Re' adalah generatif bilangan Reynolds didapat dari persamaan:

$$Re' = \frac{8n^n \rho d^n U^{2-n}}{2^n (3n+1)^n K} \quad (3)$$

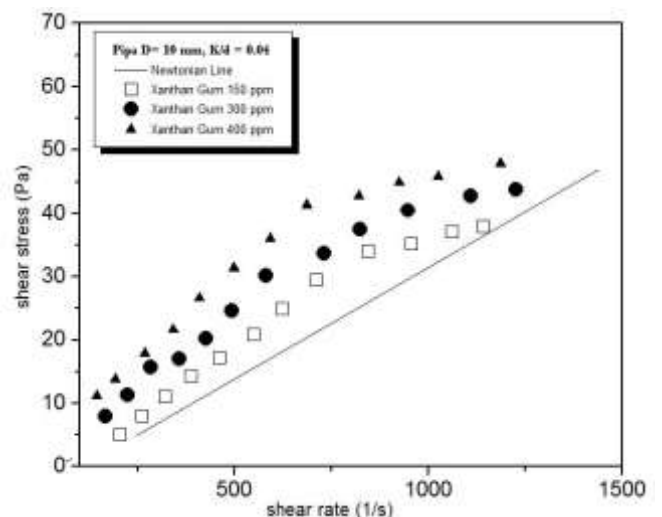
Hubungan koefisien gesek dengan bilangan Re di plot pada diagram Moody, persamaan koefisien gesek untuk aliran laminar di plot sebagai garis lurus dari Hagen-Poiseuille dan Blasius untuk aliran turbulen. Nilai koefisien gesek hasil percobaan dapat diketahui menggunakan formula Darcy sebagai berikut [8]:

$$f = \left(\frac{2D}{\rho L U^2} \right) \Delta P \quad (4)$$

Rasio pengurangan hambatan (*Drag Reduction*) dihitung dengan persamaan:

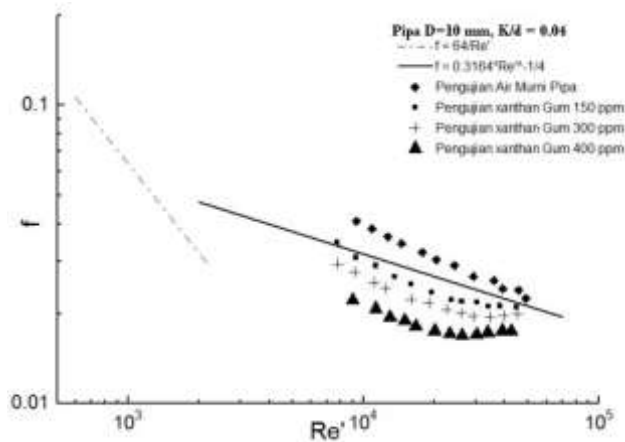
$$DR = \left| \frac{f(air) - f(xg)}{f(air)} \right| \times 100(\%) \quad (5)$$

Hasil dan Pembahasan



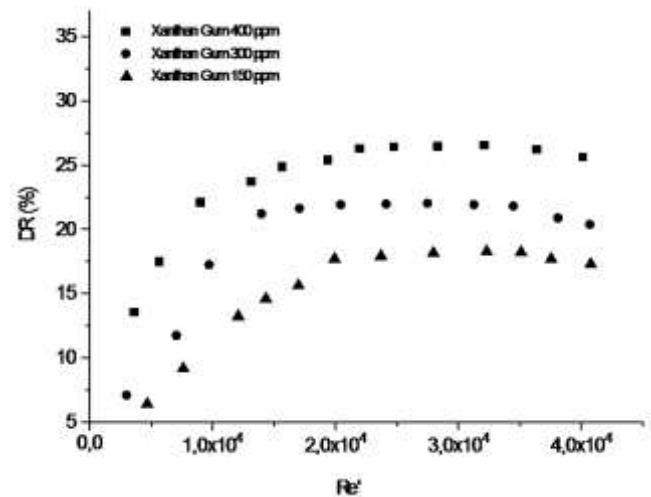
Gambar 2. Kurva perbandingan *shear stress* terhadap *shear rate* pipa acrylic diameter 10 mm

Gambar 2 di atas menunjukkan kurva perbandingan *shear stress* terhadap *shear rate* larutan *xanthan gum* konsentrasi 150 ppm, 300 ppm dan 400 ppm pada pipa acrylic diameter 10 mm. Hasil perhitungan *shear stress* (τ) dan *shear rate* ($\dot{\gamma}$) didapat dari data percobaan. Garis linear pada gambar 4 merupakan garis Newtonian. Data *xanthan gum* dengan konsentrasi 150 ppm, 300 ppm dan 400 ppm menunjukkan hubungan yang tidak linear antara *shear stress* dan *shear rate*. Maka dapat disimpulkan bahwa larutan *xanthan gum* termasuk sebagai fluida Non Newtonian jenis *pseudoplastic*. Nilai derajat sifat *Non-Newtonian* larutan *guar gum* (*degree of Non-Newtonian behavior*) $n = 0,6 - 0,7$.



Gambar 3. Kurva perbandingan bilangan Reynolds dan koefisien gesek air murni dan larutan *xanthan gum* pipa acrylic diameter 10 mm

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara koefisien gesek dengan bilangan Reynolds generalis. Pipa yang digunakan adalah pipa bulat kasar dengan nilai rasio $k/D = 0,04$. Data untuk air murni terlihat lebih tinggi dari persamaan Blasius. Hal ini dikarenakan nilai koefisien gesek untuk air hanya dipengaruhi oleh kekasaran permukaan pipa. Semakin kasar permukaan pipa akan semakin besar pula nilai koefisien gesek yang terjadi. Nilai koefisien gesek larutan *xanthan gum* lebih rendah dari nilai koefisien gesek air pada pipa kasar maupun persamaan Blasius. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan *xanthan gum* dapat mengurangi koefisien gesek atau terjadi drag reduction. Dari gambar di atas juga terlihat bahwa nilai koefisien gesek akan turun seiring bertambahnya bilangan Reynolds. Namun, setelah melewati bilangan Reynolds sekitar 22.000, nilai koefisien gesek cenderung konstan.



Gambar 4. Perbandingan *drag reduction* larutan *xanthan gum* pada pipa acrylic diameter 10 mm

Gambar grafik diatas menunjukkan pengurangan hambatan larutan *xanthan gum*. Dari grafik terlihat bahwa nilai pengurangan hambatan semakin besar seiring bertambahnya bilangan Reynolds. Namun, setelah melewati bilangan Reynolds sekitar 20.000, nilai drag reduction cenderung konstan dan mengecil. Semakin tinggi konsentrasi *xanthan gum* yang digunakan akan semakin besar pula nilai pengurangan hambatan yang terjadi. Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai pengurangan hambatan terbesar terjadi pada bilangan Reynolds 20.000 yaitu sekitar 25% untuk konsentrasi *xanthan gum* 400 ppm. Sedangkan untuk konsentrasi 300 ppm dan 150 ppm masing-masing memiliki maksimum drag reduction sebesar 20% dan 16%.

Kesimpulan

Xanthan gum merupakan biopolimer jenis non-Newtonian dan berlaku sebagai pseudoplastik dengan nilai indeks power law (n) berkisar antara 0,6 hingga 0,7 pada konsentrasi 150 hingga 400 ppm. Penambahan biopolimer *xanthan gum* pada air, dapat mengurangi nilai koefisien gesek. Nilai koefisien gesek pada air dipengaruhi oleh kekasaran permukaan pipa, sehingga data yang dihasilkan berada di atas garis Blasius untuk pengujian air murni. Pada larutan *xanthan gum*, nilai koefisien gesek yang terjadi jauh di bawah nilai koefisien gesek air dan Blasius. Semakin besar konsentrasi *xanthan gum* yang digunakan semakin besar pula nilai drag reduction yang terjadi. Mekanisme pengurangan hambatan dengan penambahan polimer yaitu dengan merubah distribusi kecepatan pada daerah core aliran dalam pipa.

Nomenklatur

D	= diameter pipa, mm
DR	= drag Reduction
k	= tinggi kekasaran, mm
n	= power-law indeks
ΔP	= kerugian jatuh tekanan, N/m ²
Ppm	= konsentrasi, %
Re'	= generatif bilangan Reynolds
Q	= debit, m ³ /detik
f	= koefisien gesek
ν	= viskositas kinematik, m ² /s
ρ	= berat jenis, kg/m ³
τ	= shear stress, Pa
$\dot{\gamma}$	= shear rate, 1/s
U	= kecepatan rata-rata fluida

Ucapan Terimakasih

Riset ini didanai oleh DP2M DIKTI dan DRPM UI melalui Hibah BOPTN-UI Skema Hibah Riset Kolaborasi Internasional 2013.

Referensi

- [1] Toms. B. A. "Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers," International Congress on Rheology, Holland. 1948. Amsterdlam. 1949, Part 11, pp. 135-141.
- [2] Yanuar and Watanabe K. " Drag Reduction of Guar Gum in Crude oil". The 13th International Symposium on Trannsport Phenomena. Victoria Canada. Elsevier 2002. P. 833 – 836.
- [3] Yanuar and Watanabe K. "Tom's effect of guar gum additive for crude oil in flow through square ducts." The 14th International symposium on transport phenomena. Bali Indonesia. Elsevier 2004. P.599 – 603.
- [4] Yanuar, Gunawan and M. Baqi, "Characteristics of Drag Reduction by Guar Gum in Spiral Pipes" Journal Teknologi. Vol.58 2012, pp. 95–99.
- [5] Rowe, R.C., Paul, J.S., Marian, E.Q. "Handbook of Pharmaceutical Excipients Sixth Edition". London: Pharmaceutical Press. Chicago. 2009.
- [6] P.S. Virk and R.H. Chen, "Type B drag reduction by aqueous and saline solutions of two biopolymers at high Reynolds number", in Preceedings of the 2nd International Symposium on Seawater Drag Reduction, pp. 545-558, Busan, Korea, May 2005.